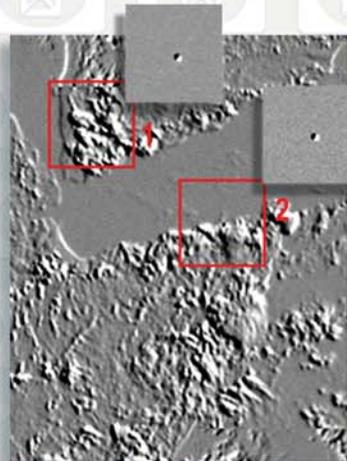
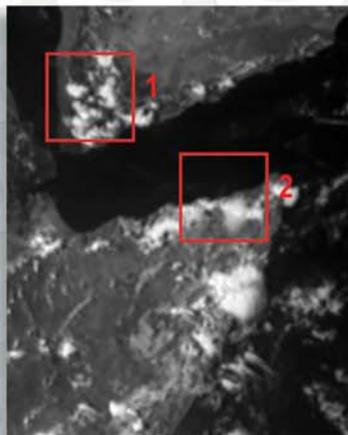
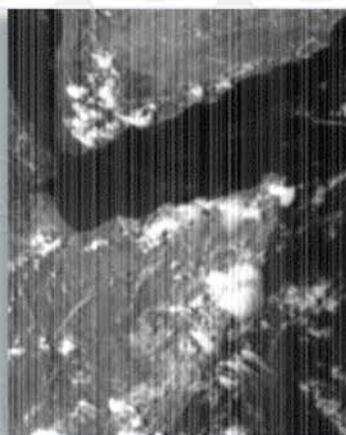
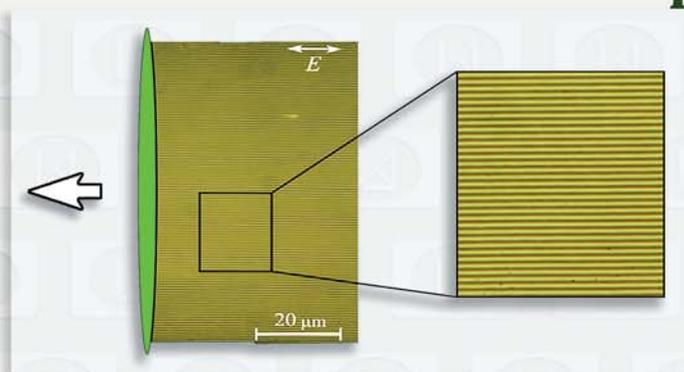


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Сибирское отделение Российской академии наук



# Институт автоматики и электрометрии

в 2019 году



## Отчет о деятельности

Новосибирск

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ  
в 2019 году

Отчет о деятельности

НОВОСИБИРСК  
2020

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  
И.о.ученого секретаря, к.ф.-м.н. С.Р. Абдуллина

ISBN 978-5-7692-1674-9

© ИАиЭ СО РАН, 2020

Новосибирск

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1. НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В 2019 ГОДУ</b> .....	7
<b>2. ПРОЕКТЫ ГОСЗАДАНИЯ ИНСТИТУТА НА 2019–2021 ГОДЫ</b> .....	20
<b>3. ПРОЕКТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СО РАН 2019 г.</b> .....	69
<b>4. РФФИ, РФФИ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ</b> .....	81
<b>5. ПРИКЛАДНЫЕ РАЗРАБОТКИ И ПРОЕКТЫ</b> .....	83
<b>6. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ</b> .....	92
6.1. ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИАиЭ СО РАН .....	92
6.2. СТРУКТУРА НАУЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ .....	92
6.3. РАБОТА УЧЕНОГО СОВЕТА .....	94
6.4. РОСТ И ПОДГОТОВКА НАУЧНЫХ КАДРОВ. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ .....	96
6.5. МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ .....	97
6.6. ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ .....	100
6.7. ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ .....	103
6.8. УЧАСТИЕ В ВЫСТАВКАХ. ИЗДАТЕЛЬСКАЯ И ИНФОРМАЦИОННО-РЕКЛАМНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ .....	105
6.9. НАГРАДЫ .....	114
<b>7. ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИАиЭ СО РАН В 2019 г.</b> .....	116

## **ВВЕДЕНИЕ**

Научные исследования в 2019 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 2019 год в соответствии с Планом НИР Института и разделами «Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы»:

- *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.
- *IV.35.* Когнитивные системы и технологии, нейроинформатика и биоинформатика, системный анализ, искусственный интеллект, системы распознавания образов, принятие решений при многих критериях.
- *IV.36.* Системы автоматизации, CALS-технологии, математические модели и методы исследования сложных управляющих систем и процессов.

Всего по этим направлениям выполнялось 10 базовых проектов госзадания и 7 проектов Комплексной программы фундаментальных исследований Сибирского отделения РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018-2020 гг. Отчетный 2019 год был промежуточным по проектам госзадания и заключительным по проектам Комплексной программы.

Ученые Института в 2019 г. вели работы в рамках 8-ми проектов РФФ, в том числе одного молодёжного, и 17-ти проектов по грантам РФФИ, а также в рамках большого числа договоров и соглашений с российскими и зарубежными организациями.

Ученым советом Института признаны наиболее важными следующие результаты, полученные в 2019 г.:

- Воздействие оптической геометрической фазы на атомарный конденсат (*лаборатория нелинейной спектроскопии газов*);
- Тулиевый волоконный лазер с управляемым самосканированием длины волны для задач спектроскопии атмосферы (*лаборатория оптических сенсорных систем, лаборатория волоконной оптики*);
- Фемтосекундная запись волоконных брэгговских решеток в многосердцевинных волоконных световодах для сенсорных и лазерных применений (*лаборатория волоконной оптики, лаборатория оптических сенсорных систем*);
- Высокопроизводительная запись термохимических лазерно-индуцированных периодических структур на пленках металлов (*лаборатории: спектроскопии конденсированных сред; дифракционной оптики; волоконной оптики; оптических сенсорных систем*);
- Лазерная запись наноразмерных структур на пленках циркония (*лаборатории: дифракционной оптики; физики лазеров, лазерной графики*);
- Теория возмущений в задаче рассеяния света на диэлектрических телах (*лаборатория киберфизических систем; лаборатория фотоники*);
- Обнаружение субнанометровых колебаний поверхности твердого тела подвижных элементов МЕМС (*лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур*);
- Аппаратный ускоритель системы предупреждения об опасности цунами (*лаборатория программных систем машинной графики*);
- Средства процесс-ориентированного программирования микроконтроллеров во встраиваемых системах (*лаборатория киберфизических систем*);
- Программный комплекс для обработки изображений, формируемых крупноформатными фотоприемными устройствами ИК диапазона (*лаборатория цифровых методов обработки изображений, лаборатория информационной оптики*);
- Мобильный многофункциональный комплекс управления беспилотными летательными аппаратами (*лаборатория нечетких технологий*).

По итогам участия в Конкурсе инновационных проектов Петербургской технической ярмарки, проходившего в рамках XXV Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech)» проекты Института: «Многоканальный лазерный сканирующий конфокальный микроскоп» (*лаборатория лазерной графики*), «Установка высокопроизводительной записи волоконных брэгговских решеток (ВБР) в различных типах световодов для сенсорных и лазерных систем» (*лаборатория волоконной оптики*), «Круговая измерительно-диагностическая установка (КИДУ)» (*лаборатория интегрированных информационных систем управления*) стали лауреатами и отмечены наградами в различных номинациях.

Отчет подготовлен на основе материалов, представленных научными лабораториями, планово-финансовыми и другими подразделениями и службами Института, а также отчётных сведений, подаваемых в Минобрнауки РФ. В нем изложены наиболее важные научные и научно-технические результаты, полученные при выполнении исследований в 2019 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 2019 ГОДУ

В 2019 г. Ученым Советом ИАиЭ СО РАН признаны важнейшими 11 результатов. Из них 6 по направлению Отделение физических наук и 5 – Отделение нанотехнологий и информационных технологий.

## Отделение физических наук

### 1.1. Воздействие оптической геометрической фазы на атомарный конденсат

#### Influence of the optical geometric phase on atomic condensate

Авторы: Яковлева Т.С.<sup>1</sup>, Ростом А.М.<sup>2</sup>, Томилин В.А.<sup>1</sup>, Ильичёв Л.В.<sup>1</sup>

Authors: Yakovleva T.S.<sup>1</sup>, Rostom A.M.<sup>2</sup>, Tomilin V.A.<sup>1</sup>, Il'ichov L.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск (IA&E SB RAS, Novosibirsk)

<sup>2</sup> НГУ, г. Новосибирск (NSU, Novosibirsk)

Исследована квантовая система, состоящая из двух локализованных мод конденсата и квантованной моды кольцевого резонатора, формирующей потенциал ловушки для одной из атомарных мод. Оптическая мода контролируется внешним гармоническим источником и необратимой потерей фотонов из резонатора. Возникающее совместное состояние атомов и оптического поля оказывается зацепленным, что позволяет переносить на атомарную моду геометрическую фазу оптической моды. В последней геометрическая фаза формируется обходом замкнутого контура на плоскости «интенсивность–частота» внешнего источника. Экспериментальную регистрацию перенесённой фазы предлагается осуществлять через наблюдение модификации процесса туннелирования атомов между двумя локализациями единого конденсата (рис. 1.1).

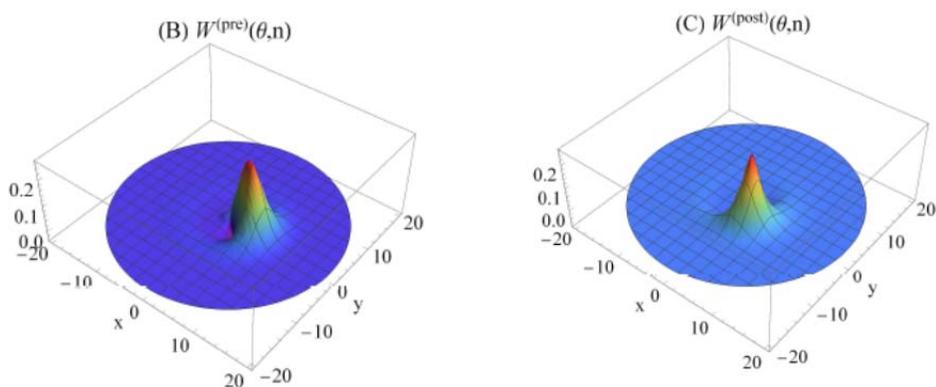


Рис. 1.1. Функции Вигнера для переменных «число атомов–фаза» до и после преобразования

Fig. 1.1. The ‘number–phase’ Wigner functions of the condensate before and after the transformation are depicted below

The process of geometric phase generation in a composite matter-field system is considered. Two atomic modes correspond to different localizations of a unique Bose-Einstein condensate (BEC). One of the trapping localizations is formed by a photonic mode of a ring cavity. The photonic mode is governed by an external harmonic field source, by dissipation, and by the number of localized atoms due to their non-resonant interaction with photons. The last circumstance brings entanglement into the state of the composite system. By varying the intensity and frequency of the source, it is possible to create a geometric phase for the optical mode. Because of the entanglement between the state of atomic and photonic modes, the geometric phase acquired by the latter causes a modification of the BEC state. This modification can be revealed by studying the tunneling between the atomic localizations (fig. 1.1).

### **Публикации/References:**

1. Yakovleva T.S., Tomilin V.A., Rostom A.M., Il'ichov L.V. Geometric phase transferred from photonic mode to atomic BEC // Optics communications. – 2019. – Vol. 436. – P. 52–56. – DOI 10.1016/j.optcom.2018.12.001.

## **1.2. Теория возмущений в задаче рассеяния света на диэлектрических телах**

### **Perturbation theory in the problem of light scattering on dielectric bodies**

*Авторы: Берёза А.С.<sup>1</sup>, Немыкин А.В.<sup>1</sup>, Фруммин Л.Л.<sup>1</sup>, Шапиро Д.А.<sup>1</sup>, Перминов С.В.<sup>2</sup>*

*Authors: Bereza A. S.<sup>1</sup>, Nemykin A. V.<sup>1</sup>, Frumin L. L.<sup>1</sup>, Shapiro D. A.<sup>1</sup>, Perminov S. V.<sup>2</sup>*

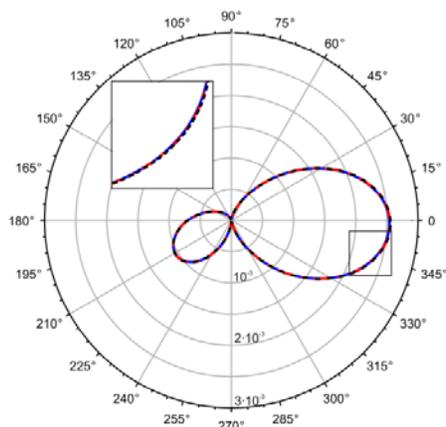
<sup>1</sup>ИИЭ СО РАН, г. Новосибирск (IA&E SB RAS, Novosibirsk)

<sup>2</sup>ИФП СО РАН, г. Новосибирск (ISP SBRAS, Novosibirsk)

Построен ряд теории возмущений для задачи рассеяния плоской электромагнитной волны на параллельных цилиндрах. Выведена система интегральных уравнений, точно учитывающая граничные условия на поверхности. Получен борновский ряд для продольной и поперечной поляризации волны. Установлено, что в случае одного цилиндра при нормальном падении ряд сходится к известному аналитическому решению. Сравнение с численным расчетом для двух цилиндров показало, что в третьем порядке погрешность индикатрисы рассеяния меньше 1 % (рис. 1.2).

A series of the perturbation theory is constructed for the problem of light scattering by nanoparticles. A system of integral equations that precisely take into account the boundary conditions is derived. A Born series for longitudinal and transverse polarizations of the wave is obtained. It is found that the series converges to the known analytical solution in the case of one cylinder with normal incidence of the wave. Comparisons with the numerical calculation for two parallel cylinders show that the error of the indicatrix within the third order is

smaller than 1 % (fig. 1.2). The obtained analytical formulas are important for optical diagnostics of nanostructures.



**Рис. 1.2:** Угловая диаграмма рассеяния на двух стеклянных цилиндрах радиуса 0,1 мкм, длина волны 1,5 мкм: 3-е борновское приближение (черный), ВЕМ (синий), DDA (красный)

**Fig. 1.2:** Angular diagram of scattering by two glass cylinders of radius 0,1  $\mu\text{m}$ , wavelength 1,5  $\mu\text{m}$ : 3rd Born approximation (black), boundary element method (blue), and discrete dipole approximation (red)

### Публикации/References:

1. Bereza A.S., Nemykin A.V., Perminov S.V., Frumin L.L., Shapiro D.A. Light scattering by dielectric bodies in the Born approximation // *Physical Review A*. – 2017. – Vol. 95. – P. 063839.
2. Немыкин А.В., Берёза А.С., Шапиро Д.А. Теория возмущений в задаче рассеяния света на диэлектрическом теле // *Письма в ЖЭТФ* – 2018 – Т. 108, № 9. – С. 613-617.
3. Bereza A.S., Frumin L.L., Nemykin A.V., Perminov S.V., Shapiro D.A. Perturbation series for the scattering of electromagnetic waves by parallel cylinders // *Europhysics letters*. – 2019. – Vol. 127, № 2. – P. 20002 (5 pp.). – DOI 10.1209/0295-5075/127/20002.

### 1.3. Высокопроизводительная запись термохимических лазерно-индуцированных периодических структур на пленках металлов

#### High-performance formation of thermochemical laser-induced periodic structures on metal films

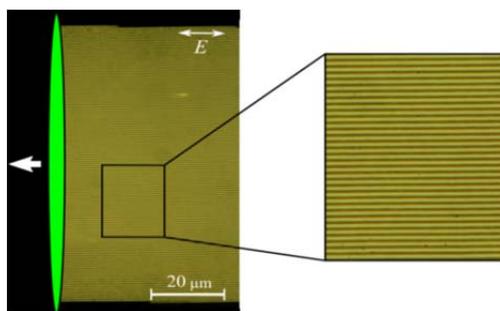
*Авторы: Достовалов А.В., Корольков В.П., Бабин С.А., Терентьев В.С., Окотруб К.А., Бронников К.А., Белоусов Д.А.*

*Authors: Dostovalov A.V., Korolkov V.P., Babin S.A., Terentiev V.S., Okotrub K.A., Bronnikov K.A., Belousov D.A.*

Впервые продемонстрировано формирование высокоупорядоченных термохимических лазерно-индуцированных периодических структур (ТЛИППС) при воздействии сфокусированного астигматического гауссова пучка (рис. 1.3). Период структур в зависимости от условий облучения изменяется с 680 нм до 950 нм при использовании длины волны 1026 нм. Ориентация структур определяется направлением поляризации падающего линейно-поляризованного излучения. Максимальная скорость записи зависит от свойств металла, и в случае гафния составляет 3 мм/с, что при размере пучка 150 мкм дает производительность 0,5 мм<sup>2</sup>/с. Показана возможность практического применения структур для создания элементов защитных голограмм. Исследованный метод формирования ТЛИППС может

быть применен для экономически-эффективного синтеза амплитудных масок периодических структур, дифракционных решеток, для изменения оптических и физических свойств поверхностей (смачиваемость, коэффициент трения, электропроводность).

The formation of high-ordered thermochemical laser-induced periodic structures (TLIPS's) under the impact of a focused astigmatic Gaussian beam (fig. 1.3) is demonstrated for the first time. The period of the structures, depending on the irradiation conditions, varies from 680 nm to 950 nm at a laser wavelength of 1026 nm. The orientation of the structures is determined by the direction of polarization of the incident linearly polarized radiation. The maximum speed of TLIPS formation depends on the properties of the metal and reaches 3 mm/s in the case of Hf, which gives a productivity of 0,5 mm<sup>2</sup>/s with a beam size of 150 μm. The possibility of practical application of structures for creating elements of protective holograms is shown. The investigated method of TLIPS forming can be used for cost-effective synthesis of amplitude masks of periodic structures, diffraction gratings, and for changing the optical and physical properties of surfaces (wettability, friction coefficient, and electrical conductivity).



**Рис. 1.3.** Микроизображение ТЛИПСС, сформированной при воздействии астигматического гауссова пучка (зеленый эллипс). Стрелка на рисунке показывает направление сканирования пучка

**Fig. 1.3.** Image of the TLIPS formed under the action of a focused astigmatic Gaussian beam (green ellipse). The arrow shows the scanning beam direction

### Публикации/References:

1. Dostovalov A.V., Korolkov V.P., Okotrub K.A., Bronnikov K.A., Babin S.A. Oxide composition and period variation of thermochemical LIPSS on chromium films with different thickness // Optics express. – 2018. – Vol. 26. – №. 6. – P. 7712-7723.
2. Dostovalov A.V., Derrien T., Lizunov S.A., Preucil F., Okotrub K.A., Mocek T., Korolkov V.P., Babin S.A., Bulgakova N.M. LIPSS on thin metallic films: New insights from multiplicity of laser-excited electromagnetic modes and efficiency of metal oxidation // Applied Surface Science. – 2019. – Vol. 491. – P. 650–658. – DOI 10.1016/j.apsusc.2019.05.171.
3. Dostovalov A.V., Okotrub K.A., Bronnikov K.A., Terentyev V.S., Korolkov V.P., Babin S.A. Influence of femtosecond laser pulse repetition rate on thermochemical laser-induced periodic surface structures formation by focused astigmatic Gaussian beam // Laser physics letters. – 2019. – Vol. 16, № 2. – P. 026003. – DOI 10.1088/1612-202X/aaf78f.
4. Достовалов А.В., Терентьев В.С., Бронников К.А., Белоусов Д.А., Корольков В.П. Влияние скорости сканирования на формирование ТЛИПСС радиально-

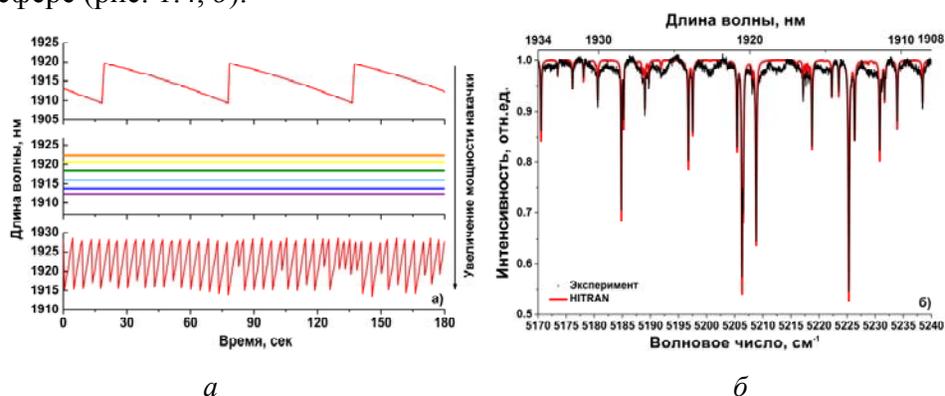
#### 1.4. Тулиевый волоконный лазер с управляемым самосканированием длины волны для задач спектроскопии атмосферы

#### Tm-doped fiber laser with controlled self-sweeping of the wavelength for tasks of atmosphere spectroscopy

Авторы: Бударных А.Е., Владимирская А.Д., Вольф А.А., Лобач И.А., Каблукон С.И.

Authors: Budarnykh A.E., Vladimirskaia A.D., Wolf A.A., Lobach I.A., Kablukov S.I.

Создан импульсный тулиевый лазер с генерацией линейно-поляризованного излучения в области 1920 нм, в котором управление динамикой спектра осуществляется изменением уровня мощности накачки без использования специальных спектрально-селективных элементов. При малых и больших уровнях – инициируется сканирование с уменьшением (ширина линии 30 МГц) и увеличением (ширина линии 150 кГц) длины волны соответственно, а при некотором среднем уровне мощности – сканирование останавливается (рис. 1.4, а). Длина волны остановки определяется предысторией управления спектральной динамикой лазера и может быть зафиксирована в спектральном диапазоне от 1912 до 1923 нм. Показана возможность применения лазера для спектроскопии паров воды в атмосфере (рис. 1.4, б).



**Рис. 1.4:** а – изменение динамики длины волны с увеличением мощности накачки (от верхнего графика к нижнему), б – спектр пропускания воздушного промежутка 40 см, измеренный с помощью самосканирующего лазера (черные точки) и рассчитанный с использованием системы HITRAN (красные линии)

**Fig. 1.4:** a – typical wavelength dynamics with an increase in the pump power (from top to bottom of the graphs), b – transmission spectrum for 40 cm of air measured with the laser (black lines) and simulated by HITRAN (red lines)

A pulsed linearly-polarized thulium-doped fiber laser generating tunable radiation near the wavelength of 1920 nm is demonstrated. The main feature of the laser is the possibility of self-started spectral dynamics control by the pump power level without using any special wavelength selective elements. It is observed that the lasing wavelength repeatedly decreases in time (linewidth of 30 MHz), can be stopped, and repeatedly increases (linewidth of 150 kHz) in time at low, intermediate, and high power levels, respectively (fig. 1.4, *a*). The wavelength can be stopped at an arbitrary value in the range from 1912 to 1923 nm depending on the prehistory of spectral dynamics of the laser. The possibility of practical application of the laser for spectroscopy of water vapor in the atmosphere is demonstrated (fig. 1.4, *b*).

#### Публикации/References:

1. Budarnykh A.E., Vladimirskaya A.D., Lobach I.A., Kablukov S.I. Broad-range self-sweeping single-frequency linearly polarized Tm-doped fiber laser // Optics letters. – 2018. – Vol. 43, № 21. – P. 5307–5310. – DOI 10.1364/OL.43.005307.
2. Budarnykh A.E., Lobach I.A., Kablukov S.I. Self-sweeping Tm-doped fiber laser with wavelength stopping // Laser physics letters. – 2019. – Vol. 16, № 2. – P. 025108 (7 pp.). – DOI 10.1088/1612-202X/aaf804.
3. Budarnykh A.E., Vladimirskaya A.D., Skvortsov M. I., Wolf A.A., Lobach I.A., Kablukov S.I. Tm-doped fiber laser with control of spectral dynamics // Proceedings of SPIE: Vol. 11028: Optical sensors 2019. – 2019. – CT. 110282T. – DOI 10.1117/12.2522437.
4. Budarnykh A.E., Vladimirskaya A.D., Lobach I.A., Kablukov S.I. High-resolution analysis of the wavelength stopping effect in a self-sweeping fiber laser // Laser physics letters. – 2019. – Vol. 16, № 8. – P. 085104 (8 pp.). – DOI 10.1088/1612-202X/ab286a.

### 1.5. Лазерная запись наноразмерных структур на пленках циркония

#### Laser writing of nanoscale structures on zirconium films

*Авторы: Корольков В.П.,<sup>1</sup>, Микерин С.Л.,<sup>1</sup>, Мальшев А.И.<sup>1</sup>, Белоусов Д.А., Куц Р.И.<sup>1,2</sup>, Седухин А.Г.<sup>1</sup>*

*Authors: Korolkov V.P.<sup>1</sup>, Mikerin S.L.<sup>1</sup>, Malyshev A.I.<sup>1</sup>, Belousov D.A.<sup>1</sup>, Kuts R.I.<sup>1,2</sup>, Sedukhin A.G.<sup>1</sup>*

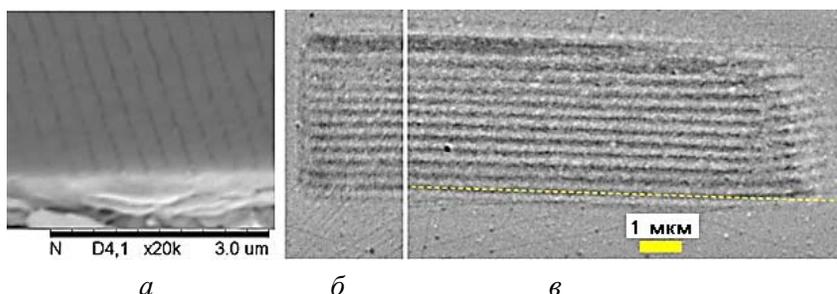
<sup>1</sup>ИИЭ СО РАН, г. Новосибирск (IA&E SB RAS, Novosibirsk)

<sup>2</sup>НГУ, г. Новосибирск (NSU, Novosibirsk)

Показано, что тонкие пленки циркония, напыленные на подложки из плавленного кварца и подвергнутые лазерно-индуцированному окислению, являются перспективной средой для создания нанорешеток с контролируемым периодом. При построчном сканировании сфокусированным лазерным пучком диаметром 700 нм пленок циркония толщиной 80–110 нм, зарегистрировано формирование решеток из дорожек с шириной 70–100 нм (рис. 1.5, *a*) и с периодом, равным шагу сканирования. Экспериментально установлено, что дорожки в виде трещин или деформаций возникают по контуру пространственного распределения температуры, индуцированного пучком непрерывного лазерного излучения (рис. 1.5, *б* и *в*). При включении излучения, этот контур постепенно смещается от центра пятна к пери-

ферии после расширения нагретой области (рис. 1.5, в). Трещины или деформации возникают под действием термомеханических напряжений на границе пленки металла и оксидной дорожки, толщина которой резко растет в процессе окисления металла.

It has been shown that thin zirconium films deposited on fused silica substrates and subjected to laser-induced oxidation are promising media for creating controlled-period nanogratings. The formation of gratings from 70–100 nm wide tracks and with a period equal to the step of line-by-line scanning of the focused laser beam with a diameter of 700 nm was observed at 80–110 nm thickness of the Zr films (fig. 1.5, a). It was experimentally established that tracks in the form of cracks or deformations arise along the contour of the spatial distribution of temperature induced by a continuous laser beam (fig. 1.5, b and c). When the radiation is turned on, this contour is gradually shifted from the spot center to the periphery after expansion of the heated region (fig. 1.5, c). The cracks or deformations occur under the influence of thermomechanical stresses at the boundary between the metal and the oxide whose thickness increases sharply during metal oxidation.



**Рис.1.5.** Решетки, записанные с периодом 300 нм: изображение скола (а) и фрагменты наноструктуры при выключении (б) и включении (в) лазерного пучка, движущегося справа налево

**Fig. 1.5.** SEM images of the gratings recorded with a period of 300 nm: a chip cleavage (a) and fragments of the nanostructure formed with the laser beam moving from right to left being turned off (b) and on (c)

### Публикации/References:

1. Korolkov V.P., Sedukhin A.G., Belousov D.A., Shimansky R.V., Khomutov V.N., Mikerin S.L., Spesivtsev E.V., Kutz R.I. Increasing the spatial resolution of direct laser writing of diffractive structures on thin films of titanium group metals // Proceedings of SPIE: Vol. 11030: Holography: Advances and Modern Trends VI. – 2019. – CT. 110300A. – DOI 10.1117/12.2520978.
2. Korolkov V.P., Sedukhin A.G., Mikerin S.L. Technological and optical methods for increasing the spatial resolution of thermochemical laser writing on thin metal films // Optical and quantum electronics. – 2019. – Vol. 51, is. 12. – P. 389. – DOI 10.1007/s11082-019-2111-6.
3. Korolkov V.P., Mikerin S.L., Okotrub K.A., Sametov A.R., Malyshev A.I. High-resolution laser fabrication of amplitude diffractive structures on thin metal films // SPIE/COS PHOTONICS ASIA. Proceedings of SPIE: Nanophotonics and micro/nano optics IV / Beijing, China (October 11–13, 2018). – Vol. 10823. – 2018. – Paper 108230X. – DOI 10.1117/12.2501246.

## 1.6. Фемтосекундная запись волоконных брэгговских решеток в многосердцевинных волоконных световодах для сенсорных и лазерных применений

### Femtosecond writing of fiber Bragg gratings in multicore fibers for sensor and laser applications

Авторы: Вольф А.А., Достовалов А.В., Скворцов М.И., Бронников К.А., Абдуллина С.Р., Лобач И.А., Власов А.А., Бабин С.А. (совместно с НГУ и НЦВО РАН)

Authors: Wolf A.A., Dostovalov A.V., Skvortsov M.I., Bronnikov K.A., Abdullina S.R., Lobach I.A., Vlasov A.A., Babin S.A. (in cooperation with NSU and FORC RAS)

Разработан метод записи однородных и неоднородных волоконных брэгговских решеток (ВБР) в выбранных сердцевинах многосердцевинных волоконных световодов (МВС) с помощью фемтосекундного (фс) лазерного излучения. На основе массива ВБР в 7-сердцевинном МВС был создан датчик, который позволяет восстановить трехмерную форму волоконного световода с высокой точностью (рис. 1.6). На основе 2-сердцевинного волоконного световода с перекрестной связью между сердцевинами были реализованы новые схемы волоконных ВКР-лазеров. Показано, что в резонаторе с ВБР, записанной в одной из сердцевины, происходит значительное сужение линии лазерной генерации, по сравнению с широкополосным кольцевым зеркалом. В резонаторе с парой ВБР, записанных в разных сердцевинах, получена многоволновая генерация.

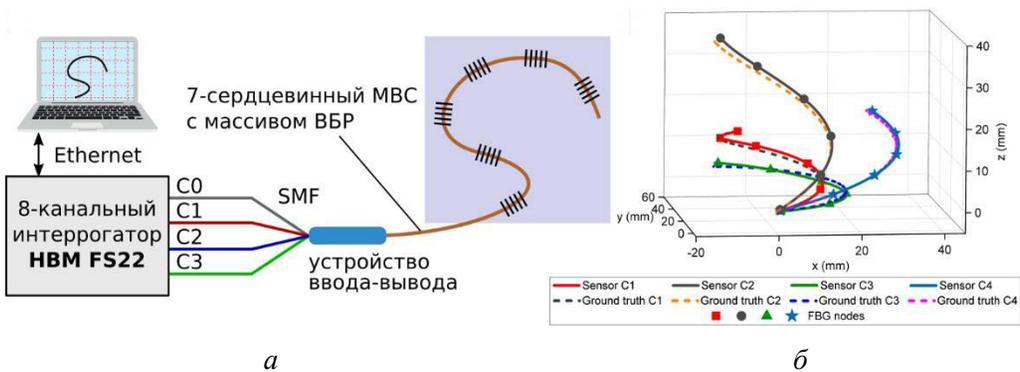


Рис. 1.6: Схема измерения формы МВС с помощью массива ВБР (а) и результат восстановления формы разных форм МВС (б)

Fig. 1.6: Scheme for measuring the MCF shape using an FBG array (a) and result of reconstructing different shapes of the MCF (b)

A method was developed for writing uniform and non-uniform fiber Bragg gratings (FBGs) in selected cores of multicore fibers (MCFs) using femtosecond (fs) laser radiation. Based on the FBG array in a 7-core MCF, a sensor was fabricated, allowing for reconstructing a three-dimensional shape of the optical fiber with high accuracy (fig. 1.6). Based on a 2-core fiber with

cross-coupling between the cores, new schemes of fiber Raman lasers were implemented. It was shown that significant narrowing of the lasing line occurs in a resonator with FBG written in one of the cores, as compared to a broadband ring mirror. In a resonator with a pair of FBGs written in different cores, multiwave lasing was obtained.

### **Публикации:**

1. Yakushin S.S., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Skvortsov M.I., Wabnitz S., Babin S.A. A study of bending effect on the femtosecond-pulse inscribed fiber Bragg gratings in a dual-core fiber // *Optical fiber technology*. – 2018. – Vol. 43. – P 101–105. – DOI 10.1016/j.yofte.2018.04.001.
2. Wolf A.A., Dostovalov A.V., Wabnitz S., Babin S.A. Femtosecond writing of refractive index structures in multimode and multicore fibres // *Quantum Electronics*. – 2018. – Vol. 48, № 12. – P. 1128–1131.
3. Skvortsov M.I., Abdullina S.R., Wolf A.A., Lobach I.A., Dostovalov A.V., Babin S.A. Narrowband Raman fibre laser based on a dual-core optical fibre with FBGs inscribed by femtosecond radiation // *Quantum Electronics*. – 2018. – Vol. 48, № 12. – P. 1089–1094.
4. Wolf A.A., Bronnikov K., Yakushin S., Dostovalov A.V., Zhuravlev S., Salganskii M., Egorova O., Semjonov S., Babin S. A. Femtosecond point-by-point inscription of 3D FBG arrays in 7-core fibers with straight and twisted cores // *Proceedings SPIE: Vol. 11199 : VII European Workshop on Optical Fibre Sensors / Limassol, Cyprus (October 1–4, 2019)*. – 2019. – P. 1119934. – DOI 10.1117/12.2540925.
5. Wolf A.A., Dostovalov A.V., Bronnikov K., Babin S.A. Arrays of fiber Bragg gratings selectively inscribed in different cores of 7-core spun optical fiber by IR femtosecond laser pulses // *Optics Express*. – 2019. – Vol. 27, is. 10. – P. 13978–13990. – DOI 10.1364/OE.27.013978.
6. Wolf A.A., Dostovalov A.V., Bronnikov K.A., Babin S.A. Direct core-selective inscription of Bragg grating structures in seven-core optical fibers by femtosecond laser pulses // *Proceedings of SPIE: Vol. 11029: Micro-structured and specialty optical fibers VI*. – 2019. – P. 11029OE. – DOI 10.1117/12.2522248.
7. Skvortsov M.I., Abdullina S.R., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Vlasov A.A., Lobach I.A., Wabnitz S., Babin S.A. Random Raman fiber laser based on a twin-core fiber with FBGs inscribed by femtosecond radiation // *Optics letters*. – 2019. – Vol. 44, is. 2. – P. 295–298. – DOI 10.1364/OL.44.000295.
8. Вольф А.А., Достовалов А.В., Семенов С.Л., Журавлев С.Г., Салганский М.Ю., Егорова О.Н. Создание однородных и неоднородных ВБР в 7-сердцевинном волоконном световоде методом фемтосекундной поточечной записи // *Прикладная фотоника*. – 2019. – Т. 6, № 1/2. – С. 47–58. – DOI 10.15593/2411–4367/2019.1–2.05.
9. Bronnikov K.A., Wolf A.A., Yakushin S., Dostovalov A.V., Egorova O., Zhuravlev S., Semjonov S., Wabnitz S., Babin S.A. Durable shape sensor based on FBG array inscribed in polyimide-coated multicore optical fiber // *Optics Express*. – 2019. – Vol. 27, is. 26. – P. 38421–38434. – DOI 10.1364/OE.380816.

### ***Отделение нанотехнологий и информационных технологий***

#### **1.7. Средства процесс-ориентированного программирования микроконтроллеров во встраиваемых системах**

#### **Process-oriented microcontroller programming for embedded systems**

*Авторы: Розов А.С., Зюбин В.Е.*

*Authors: Rozov A.S., Zyubin V.E.*

В рамках процесс-ориентированной методологии создания ПО реактивных систем:

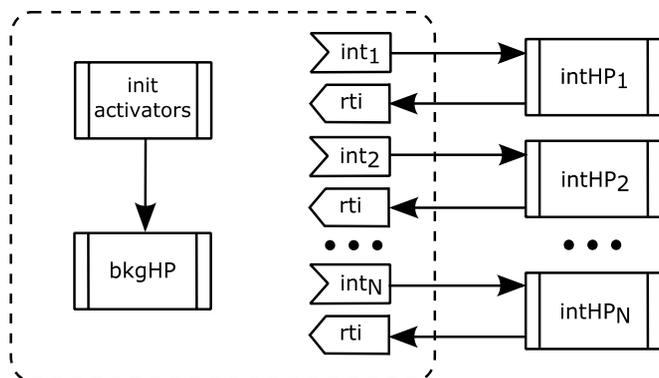
- разработана модель абстрактного управляющего алгоритма встраиваемой системы в виде набора взаимодействующих гиперпроцессов с индивидуальными активаторами;

- предложен вычислительный метод для определения реакции микроконтроллерной встраиваемой системы на внешнее событие, реализующий разработанную модель (рис. 1.7). Метод предполагает в качестве источников активации использовать прерывания как от внешних сигналов, так и от периферийных устройств микроконтроллера;

- для спецификации конкретного алгоритма разработан язык программирования IndustrialC, расширяющий языки Си и Reflex конструкциями для работы с аппаратными прерываниями.

- комплекс программ, реализующий предложенные модель и метод и ориентированный на микроконтроллерные платформы серии AVR, реализован в виде интегрированной среды разработки на базе пакетов Notepad++, Flex/Bison, GCC.

Полученные средства прошли успешную технологическую апробацию на проектах по созданию гаммы микроконтроллерных встраиваемых систем: веб-метеосервер, автоматизированная установка термовакуумного напыления, станция термотренировки образцов SorbiPrep.



**Рис. 1.7.** Вычислительный метод для определения реакции микроконтроллерной встраиваемой системы на внешнее событие на основе фонового гиперпроцесса (bkgHP) и гиперпроцессов прерываний (intHP<sub>*i*</sub>). Гиперпроцессы прерываний, которые технически представляют собой процедуры обработки прерываний, активируются по аппаратным прерываниям (int<sub>*i*</sub>). После завершения цикла активации управление возвращается фоновому гиперпроцессу через механизм ReTurn from Interrupt (rti)

**Fig. 1.7.** Method for computing control reactions in a microcontroller-based embedded system. The figure shows the background hyperprocess (bkgHP) as well as a set of interrupt-activated hyperprocesses (intHP<sub>*i*</sub>) that are implemented within interrupt service routines for the respective hardware interrupts (int<sub>*i*</sub>). Here (rti) depicts the operation that returns control to the background hyperprocess after an interrupt-driven hyperprocess activation

The following research results have been achieved while investigating applications of the process-oriented methodology to reactive systems software design:

– an abstract model of control software for embedded systems, presented as a set of interacting hyperprocesses with multiple activation sources, was developed.

– a computational method for determining the response of an embedded system to an external event was proposed. The method utilizes the abstract control software model (fig. 1.7) and assumes the use of hardware interrupts as activation sources for hyperprocesses.

– a specialized programming language (IndustrialC) intended for developing microcontroller-based embedded systems was developed. The language is based on Reflex, with its syntax shifted towards C and a number of specialized constructs added for explicit support of hardware interrupts.

– a set of programming tools was implemented for the aforementioned method. The tools are primarily targeted for the AVR microcontroller series and form an integrated development environment (IDE) for IndustrialC. The tools utilize Notepad++ extension capabilities along with Flex/Bison lexer/parser generator framework for language translation.

The IndustrialC programming language and its IDE were vigorously tested over a range of embedded projects: standalone weather server, an automation system for thin-film vacuum vapor deposition plant, and SorpiPrep sample preparation unit.

### **Публикации:**

1. Розов А.С., Зюбин В.Е. Адаптация процесс-ориентированного подхода к разработке встраиваемых микроконтроллерных систем // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 114–122. – DOI 10.15372/AUT20190212.
2. Транслятор языка "IndustrialC" версии 1.0. Розов А.С. // Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2018617246, зарег. 21.06.2018.
3. Розов А.С., Зюбин В.Е., Нефедов Д.В. Программирование встраиваемых микроконтроллерных систем на основе гиперпроцессов // Вестник НГУ. Серия: информационные технологии. – 2017. – Т. 15, № 4. – С. 64–73.
4. Розов А.С., Лях Т.В., Краснов Д.В., Санжиев Е.С. Практическая апробация языка IndustrialC на примере автоматизации установки термовакuumного напыления // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2017. – Т. 15, № 3. – С. 90–99.
5. Розов А.С., Зюбин В.Е. Расширенная модель гиперпроцесса для программирования микроконтроллеров // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2016. – № 9. – С. 34–38. – DOI 10.25205/1818-7900-2017-15-3-90-99.

### **1.8. Мобильный многофункциональный комплекс управления беспилотными летательными аппаратами**

#### **Mobile multi-functional control system for unmanned aerial vehicles**

*Авторы: Белоконь С.А., Золотухин Ю.Н., Золотухина М.А., Котов К.Ю., Мальцев А.С., Ян А.П.*

*Authors: Belokon' S.A., Zolotukhin Yu.N., Zolotukhina M.A., Kotov K.Yu., Maltsev A.S., Yan A.P.*

Разработан программно-аппаратный комплекс, отличительными особенностями которого являются встроенные функции поддержки технологии динамически подобно летящих моделей.

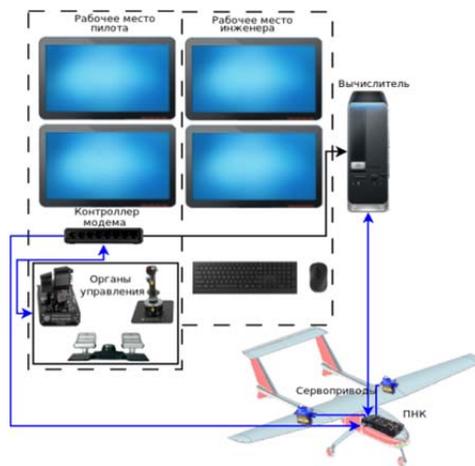
Основные возможности, предоставляемые созданным комплексом: анализ, сравнение и итерационное уточнение математического описания летательного аппарата и системы автоматического управления полетом; разработка алгоритмов и программ бортового радиоэлектронного оборудования и наземного пункта управления; визуализация полета; тренажер летчика-оператора и инженера-оператора; управление беспилотными летательными аппаратами в автоматическом и ручном режимах полета.

A hardware-software complex with built-in support functions for the technology of dynamically-scaled flying models has been developed.

The fundamental functionality provided by the complex includes the analysis, comparison, and iterative refinement of the mathematical description of the aircraft and automatic flight control system; development of algorithms and programs for on-board electronic equipment and ground control station; visualization; flight simulator for the pilot and engineer; control of unmanned aerial vehicles in automatic and manual modes.



*a*



*б*

**Рис. 1.8:** *a* – внешний вид комплекса; *б* – архитектура комплекса

**Fig. 1.8.** *a* – the exterior of the complex; *b* – architecture of the complex

### Публикации:

1. Белоконов С.А., Золотухин Ю.Н., Филиппов М.Н. Архитектура комплекса полунатурного моделирования систем управления летательными аппаратами // Автометрия. – 2017. – Т. 53, № 4. – С. 44-50.
2. Белоконов С.А., Золотухин Ю.Н., Филиппов М.Н. Нечёткая кластеризация в задачах определения аэродинамических характеристик и моделирования динамики летательного аппарата // Автометрия. – 2018. – Т. 54, № 5. – С. 99–107.

3. Белоконь С.А., Деришев Д.С., Золотухин Ю.Н., Ян А.П. Моделирование движения гибридного летательного аппарата // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 4. – С. 49–56. – DOI 10.15372/AUT20190405.

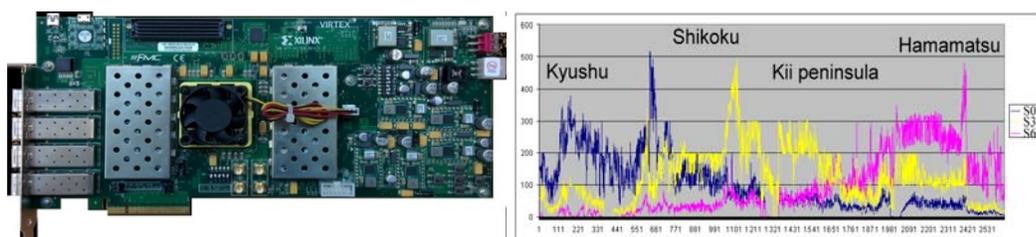
### 1.9. Аппаратный ускоритель системы предупреждения об опасности цунами

#### Hardware Accelerator for the Tsunami Warning System

*Авторы: Лаврентьев М.М., Лысаков К.Ф., Марчук Ан.Г., Облаухов К.К.,  
Шадрин М.Ю.*

*Authors: Lavrentiev M.M., Lysakov K.F., Marchuk An.G., Oblaukhov K.K.,  
Shadrin M.Yu*

Разработан и протестирован спецвычислитель на базе программируемых пользователем вентильных матриц (Field Programmable Gates Array – FPGA), который в составе персонального компьютера позволяет с высокой производительностью численно решать систему уравнений мелкой воды. Моделирование распространения цунами в течение 90 минут на сетке размером 3000x2496 узлов занимает 25 секунд. Достигнутая точность решения не уступает мировому уровню. Высокая производительность достигнута за счет разработки и оптимизации параллельных вычислительных конвейеров, практически полностью использующих потенциал аппаратной части вычислителя. Применение вычислителя при оценке опасности волны цунами позволяет за несколько минут произвести расчет распространения волны цунами по акватории Тихого океана на сетке с разрешением 3,6 км. В случае цунами, так называемой ближней зоны, когда волна цунами доходит до ближайшего побережья примерно за 20 минут, применение вычислителя позволяет говорить о создании системы предупреждения об опасности цунами для данного участка побережья, работающей в режиме реального времени.



**Рис. 1.9.** Общий вид вычислителя на базе кристалла FPGA семейства Xilinx Virtex-7 (слева). Пример расчета распределения высот волны вдоль юго-западного побережья Японии для трёх разных расположений источника цунами (справа)

**Fig. 1.9.** General shape of the calculator based on Xilinx Virtex-7 FPGA (left). Example of the computation of wave height distribution along the South-West coast of Japan for three different locations of the tsunami source (right)

An FPGA (Field Programmable Gates Array) based specialized calculator has been developed and tested. This calculator makes it possible for a regular PC to achieve high-performance numerical solution to the shallow water system. It takes just 25 seconds to simulate 90 minutes tsunami wave propagation at 3000x2496 nodes mesh. Such high performance has been achieved by development and optimization of parallel calculation pipelines, which utilize practically all resources of the hardware platform in use. Using the calculator to evaluate the danger of a tsunami wave, one can compute tsunami wave propagation over the entire Pacific Ocean on a 3,6 km resolution mesh within several minutes. In the case of the so-called near-field tsunami (the wave is approaching the nearest dry land in 20 minutes), the calculator provides a good basis for the real-time-mode tsunami warning system.

#### **Публикации:**

1. Lavrentiev M.M., Romanenko A.A., Oblaukhov K.K., Marchuk An.G., Lysakov K.F., Shadrin M.Yu. FPGA based solution for fast tsunami wave propagation modeling // The 27th International Ocean and Polar Engineering Conference (San Francisco, California, USA, 25–30 June, 2017). International Society of Offshore and Polar Engineers, 2017. P. 924–929.
2. Lysakov K.F., Lavrentiev M.M., Marchuk A., Oblaukhov K., Shadrin M.Yu. FPGA-based modelling of the tsunami wave propagation at South Japan Water Area // Oceans'18 MTS / IEEE Kobe / Techno–Ocean 2018 (OTO'18) / Kobe, Japan (May 28–31, 2018). – 2018.
3. Lavrentiev M.M., Lysakov K., Marchuk A., Oblaukhov K., Shadrin M. Fast evaluation of tsunami waves heights around Kamchatka and Kuril islands // Science of tsunami hazards. – 2019. – Vol. 38, № 1. – P. 1–13.

#### **1.10. Программный комплекс для обработки изображений, формируемых крупноформатными фотоприемными устройствами ИК диапазона**

#### **Software package for processing images formed by large-format infrared photodetector arrays**

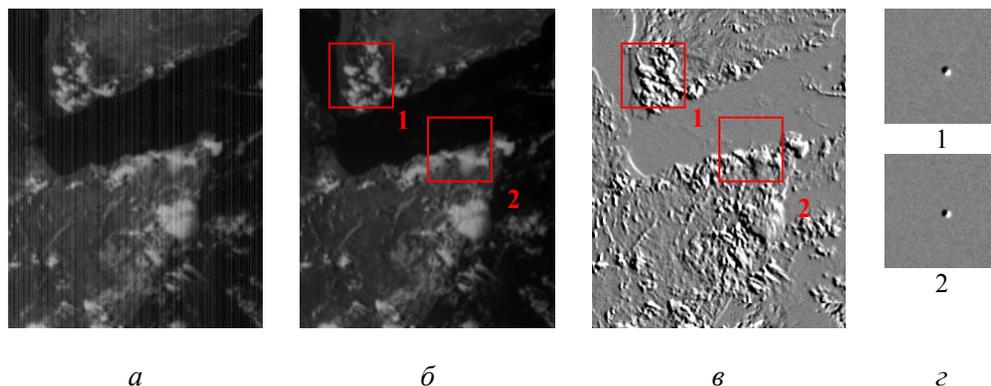
*Авторы: Громили Г.И., Косых В.П., Попов С.А., Борзов С.М., Потатуркин О.И., Узлов С.Б.*

*Authors: Gromilin G.I., Kosykh V.P., Popov S.A., Borzov S.M., Potaturkin O.I., Uzilov S.B.*

В ИАиЭ СО РАН разработан программный комплекс, назначение которого – повышение эксплуатационных характеристик крупноформатных фотоприемных устройств (ФПУ) ИК диапазона в задаче обнаружения малоразмерных динамических объектов на пространственно-неоднородном фоне. Комплекс содержит инструменты моделирования, оценивания и коррекции параметров ФПУ и средства предварительной обработки сигналов ФПУ, обеспечивающие повышение отношения сигнал/помеха. Моделирование позволяет оценить параметры ФПУ на этапе проектирования и изготовления. Предварительная обработка последовательности изображений с малоконтрастными объектами на пространственно-неоднородном фоне уменьшает фоновую составляющую практически

до уровня шума фотоприемника и многократно снижает вероятность ложной тревоги при заданной вероятности обнаружения объектов (рис. 1.10). Комплекс применяется при разработке и испытаниях новых крупноформатных сканирующих ИК ФПУ.

The purpose of the software package developed at IAE SB RAS is to increase the operational characteristics of large-format infrared photodetector arrays (IR PDAs) for the purpose of detecting small-sized dynamic objects against a spatially inhomogeneous background. The package contains tools for modeling, estimating, and correcting PDA parameters and for preprocessing PDA signals, which provide an increase in the signal to noise ratio. Modeling allows one to evaluate the PDA parameters at the design and manufacturing stages. Preprocessing of a sequence of images with low-contrast objects against a spatially inhomogeneous background reduces the background component almost to the noise level of the photodetector and reduces the false alarm probability at a given probability of object detection by many times (fig. 1.10). The package is used in the development and testing of new large-format scanning IR PDAs.



**Рис. 1.10.** Предварительная обработка: *a* – исходный кадр последовательности, *б* – коррекция неоднородности элементов ФПУ, *в*, *г* – этапы межкадровой обработки. Рамками 1 и 2 ограничены фрагменты, содержащие объекты. Среднеквадратичное отклонение (СКО) фона в исходных кадрах равно 20 СКО шума ФПУ, амплитуда объектов – 15 СКО шума. Результатом является ~20-кратное подавление фона

**Fig 1.10.** Preprocessing: *a* – initial image of the sequence, *b* – correction of the nonuniformity of the PDA elements, *c*, *d* – stages of interframe preprocessing. Fragments containing objects are marked by red frames. The root-mean-square (RMS) deviation of the background in the original images is 20 times the noise RMS, the amplitude of the objects is 15 times the noise RMS. The result is ~20x background suppression

### Публикации:

1. Громилин Г.И., Косых В.П., Попов С.А., Стрельцов В.А. Подавление фона с резкими перепадами яркости в последовательности изображений динамических малоразмерных объектов // Автотметрия. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 3–12. – DOI 10.15372/AUT20190301.

2. Громилин Г.И., Косых В.П., Козлов К.В., Васильев В.Н. Оценивание параметров юстировки сканирующего устройства с многоядным фотоприемником // Автометрия. – 2017. – Т. 53, № 6. – С. 42–48.
3. Борзов С.М., Дразников Б.Н., Козик В.И., Потатуркин О.И., Синельщиков В.В. Оценка характеристик и исследования эффективности нелинейной коррекции данных крупноформатных тепловизионных фотоприемников // Вестник НГУ: информационные технологии. – 2016. – Т. 14, № 4. – С. 14-21.

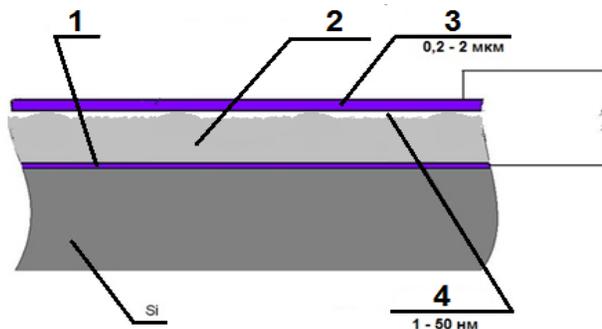
### 1.11. Обнаружение субнанометровых колебаний поверхности твердого тела подвижных элементов МЕМС

#### Subnanometer oscillations of the solid body surface of moving elements of MEMS

Авторы: Косцов Э.Г., Скурлатов А.И., Щербаченко А.М.

Authors: Kostsov E.G., Skurlatov A.I., Scherbachenko A.M.

Экспериментально обнаружены субнанометровые колебания поверхности твердого тела, вызванные электрическим полем. Объектом исследования служила поверхность подвижного электрода МЕМС структуры. Амплитуда колебаний соизмерима с амплитудой колебаний атомов кристаллической решетки твердого тела и составляет 0,2–2 нм. Регистрация проводилась с помощью оптико-электронной системы, основанной на использовании гетеродинного лазерного интерферометра. Достигнута среднеквадратическая погрешность измерения перемещений подвижного элемента менее 0,15 нанометра.



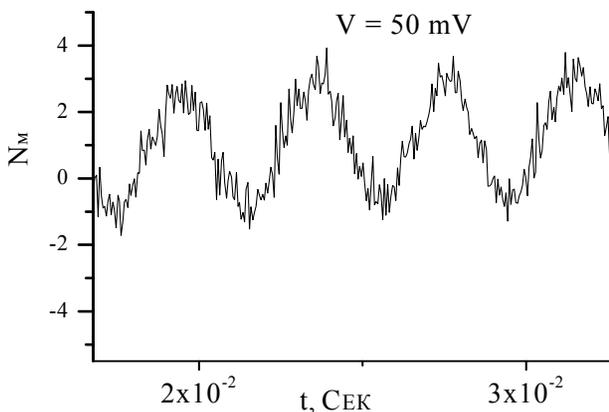
**Рис. 1.11.** Конструкция исследуемой МЕМС – структуры: 1 – неподвижный электрод, 2 – диэлектрик с высоким значением  $\epsilon$ , 3 – подвижный электрод (ПЭ), 4 – воздушный нанозазор между поверхностью диэлектрика и поверхностью ПЭ

**Fig. 1.11.** Structure of the examined MEMS: 1 – stationary electrode, 2 – dielectric with a high  $\epsilon$  value, 3 – moving electrode, ME, 4 – air nanogap between the dielectric and ME surfaces

Subnanometer oscillations of a solid body surface induced by an electric field were experimentally detected. The object of study was the surface of the moving electrode of a MEMS structure. The oscillation amplitude is comparable with the amplitude of vibrations of crystal lattice atoms of a solid body (0,2–2 nm). The registration is carried out by an optoelectronic system based on the

use of a heterodyne laser interferometer. The achieved root-mean-square error of measuring the movements of the moving element is smaller than 0,15 nanometers.

The observed subnanometer oscillations of the solid body surface indicate the possibility of creation of gigahertz clock generators.



**Рис. 1.12.** Развертка амплитуды колебаний подвижного электрода во времени. Амплитуды возбуждающего импульса 50 мВ

**Fig. 1.12.** Change in the moving element displacement in time. The exciting pulse amplitude is 50 mV

#### Публикации:

1. Kostsov E.G., Sokolov A.A. Fast-response electrostatic actuator based on nano-gap // *Micromachines*. – 2017. – Vol. 8(3), № 78. – P. 2-7.
2. Baginsky I.L., Kostsov E.G., Sokolov A.A. Single-capacitor electret impact microgenerator // *Micromachines*. – 2016. – Vol. 7, № 1. – P. 2-11.
3. Косцов Э.Г., Скурлатов А.И., Щербаченко А.М. Оптико–электронная система для исследования наноперемещений подвижных элементов MEMS // *Автометрия*. – 2018. – Т. 54, № 4. – С. 92–100. – DOI 10.15372/AUT20180412.
4. Журавель Ф.А., Скурлатов А.И., Щербаченко А.М. Определение и коррекция ошибок в сигналах квадратурных детекторов лазерных интерферометров // *Автометрия*. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 45–51. – DOI 10.15372/AUT20190306.
5. Журавель Ф.А., Косцов Э.Г., Скурлатов А.И., Щербаченко А.М. Методика измерения наноперемещений подвижных элементов MEMS // XV Международная научно–техническая конференция «Оптические методы исследования потоков»: труды / Москва (24–28 июня 2019). – 2019. – С. 81–89.

## 2. ПРОЕКТЫ ГОСЗАДАНИЯ ИНСТИТУТА НА 2019–2020 ГОДЫ

**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.**

**Проект II.10.2.1. Фотоника микро- и наноструктурированных сред. № гос. рег. АААА–А17–117060810014–9. № темы 0319 2018–0001.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория физики лазеров**

**Лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур**

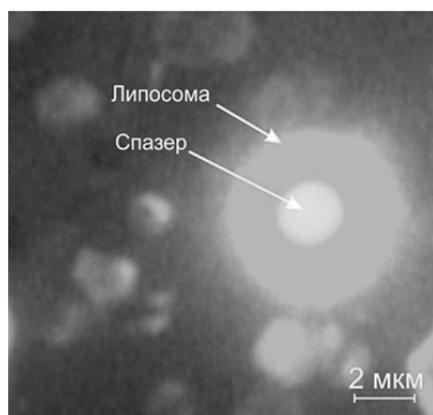
**Лаборатория фотоники**

**Тематическая группа мощных ионных лазеров**

**Тематическая группа нелинейной оптики**

Научный руководитель: **д.ф.-м.н. Шапиро Д.А.**

*Исследование активных плазмонных наноструктур с различным содержанием уранина, флуоресцеина, фталоцианинов в оболочке*



**Рис. 2.1.** Микрофотография липосомы с инкапсулированным эмитирующим спазером

Определены оптимальные уровни допирования красителем пор оболочки активных плазмонных наноструктур на основе золотых наночастиц сферической и цилиндрической форм. Проведены модельные эксперименты для выяснения особенностей работы спазеров при их инкапсуляции в мембранные оболочки (липосомы). Показано, что при искусственном изготовлении липосом спазеры успешно захватываются внутрь их объема, при этом остаются работоспособными [1].

*Исследование взаимодействия квантовых точек и металлических наночастиц со сложными полимерными молекулами с периодической структурой*

Показано, что эволюцией спина электрона, движущегося по оси длинной спиральной молекулы, можно управлять с помощью примесных молекул или квантовых точек. Предсказан перенос модуляции при столкновении солитонов. Показано, что эволюция импульсов поля в спирали двухуровневых атомов критически зависит от направления их распространения или от хиральности среды [2–4].

*Разработка планарных волноводных структур для фазовой модуляции света на основе хромофорсодержащих полимеров*

Разработаны технологические подходы, подобраны УФ-отверждаемые материалы для создания полимерных планарных модуляторов на основе синтезированных в НИОХ СО РАН оригинальных пиразолиновых хромофоров. Синтезированные хромофоры поглощают и демонстрируют электрооптическую активность в ближнем ИК спектре [6]. Предложено использовать оригинальную концепцию вращательной перестройки периода, позволяющую реализовывать её без изменения относительного расположения, как оптических элементов системы, так и экспонируемого элемента [7, 8].

*Исследование рубидиевых резонансных ячеек с парафиновыми покрытиями с целью создания компактных атомных часов*

Предложена математическая модель, описывающая диффузию атомов рубидия в ячейках. Измерены коэффициент диффузии атомов рубидия в парафине, поверхностный потенциал, вероятность адсорбции атома, определена форма ячеек для достижения максимальной плотности поляризованных атомов. Обнаружено новое явление: когерентная суперпозиция возбужденного состояния атома рубидия с одним из подуровней основного состояния [9].

*Разработка мощного суперлюминесцентного пикосекундного перестраиваемого источника излучения в области 620 нм на основе каскадного преобразования частоты суперлюминесцентного параметрического генератора среднего ИК и пикосекундного Nd: YAG лазера. Исследование его генерационных характеристик*

Создан мощный суперлюминесцентный пикосекундный перестраиваемый источник излучения в области 620 нм на основе каскадного преобразования частоты излучений суперлюминесцентного параметрического генератора среднего ИК и пикосекундного Nd: YAG лазера. В его оптической схеме используются дополнительный нелинейный элемент и излучение накачки совместно с излучением сигнальной волны первого каскада. Средняя мощность генерации на длине волны 620 нм составила 40 мВт при частоте следования импульсов 2 кГц; достигнута перестройка длины волны в диапазоне 618–625 нм.

*Разработка и исследование физико-технических принципов функционирования новых микроэлектрооптических устройств на основе быстросдвигающихся элементов ступенчатых отражательных металлических дифракционных решеток, перестраиваемых по длине волны электрическим полем*

Реализован лабораторный образец элемента MEMS дифракционной решетки со структурой электрод – сегнетоэлектрик – задаваемый зазор – подвижный элемент дифракционной решетки. Показано, что при предельно малых толщинах зазора (порядка 0,01 мкм) и полоски элемент разрабо-

танной конструкции может выступать в роли энергоэффективного генератора стабильных по частоте колебаний в гигагерцовом диапазоне [10, 11].

### **Публикации:**

1. Кучьянов А.С., Микерин С.Л., Адищев С.В., Алькаири А.Х.Ш. Спазеры, инкапсулированные в липосомы // в печати.
2. Zabolotskii A.A. Zitterbewegung in a Kerr medium // Physical review A. – 2019. – Vol. 99, is. 2. – P. 023839 (7 pp.). – DOI 10.1103/PhysRevA.99.023839.
3. Заболотский А.А. Невзаимное распространение солитонов в хиральной среде // Письма в ЖЭТФ. – 2019. – Т. 110, вып. 5. – С. 303–306.
4. Заболотский А.А. Солитоны поляризации электрона в спиральной молекуле // ЖЭТФ. – 2019. – Т. 155, вып. 1. – С. 175–183. – DOI 10.1134/S0044451019010140.
5. Заболотский А.А. Солитоны без огибающей в двухуровневой среде, имплантированной в анизотропную матрицу // ЖЭТФ. – 2019. – Т. 156, вып. 11. – С. 890–895.
6. Шелковников В.В., Каргаполова И.Ю., Орлова Н. А., Коротаев С.В., Симанчук А.Э., Микерин С.Л. Синтез и нелинейно–оптические свойства донорно–акцепторных красителей на основе трифенилпиразолинов в качестве донорного блока и дицианоизофорона в качестве акцептора // Известия академии наук. Серия химическая. – 2019. – № 1. – С. 92–98.
7. Угожаев В.Д. Вращательная перестройка периода голографической решетки в беззеркальном интерферометре с неподвижным фотоприемником // в печати.
8. Двухлучевой интерферометр: пат. 2697892 Рос. Федерация на изобретение. Угожаев В.Д.; опубл. 21.08.2019 Бюл. № 24. 2 с.
9. [Atutov S.N.], Sorokin V.A., Bagayev S.N., Skvortsov M.N., Taichenachev A.V. Peculiar long-term fluorescence of Rb atoms in a coated vapor cell // European Physical Journal D. – 2019. – Vol. 73, is. 11. –P. 240. – DOI 10.1140/epjd/e2019-100206-5.
10. Косцов Э.Г., Соколов А.А. Гигагерцовый MEMS–генератор тактовой частоты // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 61–69 – DOI 10.15372/AUT20190207.
11. Журавель Ф.А., Скурлатов А.И., Щербаченко А.М. Определение и коррекция ошибок в сигналах квадратурных детекторов лазерных интерферометров // Автометрия. – 2019, № 3. – С. 45–51.

**Проект II.10.2.2. Нелинейные и когерентные оптические явления в атомах и их конденсатах при внешнем воздействии (статические поля, межатомные столкновения, взаимодействие с поверхностью). № гос. рег.-АААА–А17–117052210003–4. № темы 0319–2018–0002.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория нелинейной спектроскопии газов**

**Лаборатория физики лазеров**

Научный руководитель **ак. Шалагин А.М.**

*Теоретическое и экспериментальное исследование состояний бозе–эйнштейновских конденсатов в оптических потенциалах сложной контролируемой формы*

Операционное определение геометрической фазы в открытых квантовых системах обобщено на квантовую физику с симметрией прошлого и будущего. Использована модификация квантового формализма применительно к системам с пред– и постселекцией состояний. Для рассмотрения используется интерферометр Маха–Цандера с селекцией входного и вы-

ходного состояний и измерением в одном из плеч. В другом плече вносится контролируемый фазовый сдвиг. Показано, что в условиях пост-селекции возникает интерференция исходов измерений. В сдвиге этой интерференционной картины проявляется инвариантный геометрический фактор – геометрическая фаза. Аналогичный эффект имеет место без интерферометра Маха–Цандера, но с парой кубитов в зацепленном состоянии. Работа сделана в контексте задуманного исследования возможных путей воздействия на атомарный бозе–эйнштейновский конденсат через оптическую геометрическую фазу [1–3].

*Сужение линии поглощения легких атомов щелочных металлов в атмосфере тяжелых инертных газов при росте интенсивности излучения*

Исследован эффект сужения линии поглощения легких атомов щелочных металлов  $^7\text{Li}$  и  $^{23}\text{Na}$ , находящихся в атмосфере тяжелого инертного газа  $\text{Xe}$ , при росте интенсивности внешнего излучения. Для атомов  $^7\text{Li}$  при температуре  $T = 300 \text{ K}$  и давлении буферного газа ксенона  $p_{\text{Xe}} = 0,002 \text{ Torr}$  ширина линии на полувысоте уменьшается в 1,20 раза при росте интенсивности излучения от  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  до  $2,5 \text{ mW}/\text{cm}^2$ . Для атомов  $^{23}\text{Na}$  при  $T = 600 \text{ K}$  и  $p_{\text{Xe}} = 0,01 \text{ Torr}$  ширина линии на полувысоте уменьшается в 1,29 раза при росте интенсивности излучения от  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  до  $6 \text{ mW}/\text{cm}^2$ . Эффект полевого сужения линии поглощения обусловлен, во-первых, тем, что столкновительная релаксация скоростей легких резонансных частиц в атмосфере тяжелых буферных частиц разбивается на два существенно различных по продолжительности этапа: релаксация по направлению скорости (быстрый этап) и релаксация по модулю скорости (медленный этап), и во-вторых, отсутствием столкновительных переходов между сверхтонкими компонентами основного состояния [4–6].

*Исследование влияния скорости сканирования частоты лазера на спектр щелочных металлов в ячейках с антирелаксирующим покрытием*

На примере  $\text{Rb}$  была экспериментально и теоретически изучена деформация спектра линии  $\text{D1}$  в ячейке с антирелаксирующим покрытием в зависимости от скорости сканирования частоты лазера. Выяснилось, что при высоких скоростях сканирования деформация пиков спектра обусловлена тем, что после прямого прохода сканирования заселенности уровней  $\text{Rb}$  не успевает прийти к равновесию ко времени обратного хода сканирования. При низких частотах сканирования деформация пиков спектра обусловлена релаксационными процессами во время прохождения частоты лазера внутри самих пиков  $\text{D1}$  линии. При этом нет взаимного влияния прямого и обратного направлений сканирования [7–9].

*Экспериментальное исследование специфики проявления парного эффекта Дике в опытах с магнитным полем, изменяющим частоты атомов коррелирующей пары*

Исследованы результаты экспериментов по выявлению парного эффекта Дике при наличии магнитного поля, изменяющего частоты изотопи-

ческих атомов коррелирующей пары. Выяснено, что в зависимости от расстояния между изотопами они образуют когерентную суперпозиционную пару, которая может находиться в сверхизлучательном или субизлучательном состояниях. То есть в опытах с магнитным полем эффект Дике может проявляться не только в синфазной, но и в противофазной форме. Показано, что при уменьшении концентрации одного из изотопов, оптикомагнитные резонансы пересечения частот (ОМРПЧ) приобретают квадратурную форму, с амплитудой намного превышающей относительную концентрацию примесного изотопа. В опытах с поглощением лазерного излучения в смеси изотопов выяснено, что эффект обусловлен «оптической накачкой» примесного изотопа [10].

### Публикации:

1. Yakovleva T.S., Rostom A.M., Tomilin V.A., Il'ichov L.V. Geometric phase in open quantum system as a function of its history // *Quantum studies: mathematics and foundations*. – 2019. – Vol. 6, is. 2. – P. 217–224. – DOI 10.1007/s40509-018-00179-x.
2. Yakovleva T.S., Rostom A.M., Tomilin V.A., Ilichov L.V. Quantum geometric phase under pre- and post-selection // *Quantum Electronics*. – 2019. – V.49 (5). – P. 439–442. – DOI 10.1070/QEL17014.
3. Yakovleva T.S., Tomilin V.A., Rostom A.M., Il'ichov L.V. Geometric phase transferred from photonic mode to atomic BEC // *Optics communications*. – 2019. – Vol. 436. – P. 52–56. – DOI 10.1016/j.optcom.2018.12.001.
4. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Сужение линии поглощения легких атомов щелочных металлов в атмосфере тяжелых инертных газов при росте интенсивности излучения // *Оптика и спектроскопия*. – 2019. – Т. 127, № 5. – С. 721–729. – DOI 10.21883/OS.2019.11.48505.118–19.
5. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Влияние геометрии накачки на эффективность генерации лазера на парах щелочных металлов // *Квантовая электроника*. – 2019. – Т. 49, № 2. – С. 103–110. – DOI 10.1070/QEL16775.
6. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Повышение чувствительности эффекта светоиндуцированного дрейфа к потенциалам межатомного взаимодействия при использовании смеси двух буферных газов // *Квантовая электроника*. – 2019. – Т. 49, № 7. – С. 683–688. – DOI 10.1070/QEL16856.
7. Nasyrov K.A., Gateva S., Nasyrov R.K., Petrov N., Tsvetkov S., Krasteva A., Cartaleva S. Asymmetric frequency-tuning behavior of the D1 line hyperfine spectrum of Rb vapor contained in high quality paraffin coated optical cell // *Proceedings of SPIE: Vol. 11047: 20th International conference and school on Quantum electronics: laser physics and applications (ICSQE 2018) / Nessebar, Bulgaria (September 17–21, 2018)*. – 2019. – CT. 110470U. – DOI 10.1117/12.2516634.
8. Nasyrov K.A., Gateva S., Tsvetkov S., Nasyrov R.K., Cartaleva S. New behavior of the D1 line hyperfine spectrum of Rb vapor contained in an optical cell with high quality paraffin coating // *AIP Conference Proceedings / 2019*. – Vol. 2075. – CT. 030006 (6 p.). – DOI 10.1063/1.5091150.
9. Nasyrov K.A., Gateva S., Nasyrov R.K., Petrov N., Tsvetkov S., Andreeva C., Leonov N., Cartaleva S. Frequency-tuning behavior of the D1 line hyperfine spectrum of Rb vapor contained in a high-quality paraffin-coated optical cell // *XXI International summer school on vacuum, electron and ion technologies (VEIT): abstracts / Sozopol, Bulgaria (September 23–27, 2019)*. – 2019. – CT. PB–36. – P. 143.
10. Сапрыкин Э.Г. Инверсия вклада изотопа малой относительной концентрации в суммарный коэффициент поглощения смеси изотопов неона на переходе  $3s2-2p4$  // *Оптика и спектроскопия*. – 2019. – Т. 127, № 2. – С. 179–190. – DOI 10.21883/OS.2019.08.48027.122–18.

**Проект П.10.2.3. Оптическая спектроскопия для задач материаловедения, химической и биологической физики. № гос. рег. АААА–А17–117052410033–9. № темы 0319–2018–0003.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория спектроскопии конденсированных сред**

**Лаборатория информационной оптики**

Научный руководитель чл.–корр. РАН Суровцев Н.В.

*Спектроскопия КРС и спектроскопия рассеяния Мандельштама–Бриллюэна для исследования замораживаемых биологических клеток и фосфолипидных мембран*

В результате реализации проекта в 2019 году с использованием методов оптической спектроскопии были получены значимые результаты для ряда задач материаловедения, химической и биологической физики. Так методом комбинационного рассеяния света (КРС) получены спектры, позволяющие определять частоту собственных колебаний молекулярного монослоя в фосфолипидных мембранах двойного и тройного состава с холестерином. Также была определена ширина этого пика, отражающая время жизни колебательной моды [1]. Методика применена для решения проблемы о наличии сосуществующих областей различного состава двух- и трехкомпонентных липидных мембран. Показано, что экспериментальные данные противоречат распространенному предположению о сосуществовании двух фаз различного состава в бинарных мембранах DMPC–Chol и POPC–Chol [2]. Напротив, в случае тройной системы DOPC–DPPC–Chol результаты измерений и анализа [3] показали хорошее согласие между предположением о сосуществовании фаз в этой тройной системе и поведением параметров низкочастотного пика КРС, соответствующего колебательным модам монослоя как целого.

Изучение низкочастотного спектра КРС фосфолипидных мембран в планарных слоях и многослойных везикулах позволило разделить вклады от слоевых мод и от акустоподобных колебательных мод, распространяющихся вдоль слоев. Показано, что для описания температурной зависимости спектров рассеяния Мандельштама–Бриллюэна (РМБ) суспензий многослойных фосфолипидных везикул [4, 5] необходимо учитывать, что нанометровые слои воды в многослойных везикулах имеют более высокий модуль упругости по сравнению с «объемной» водой. При этом позиция пика РМБ испытывает скачок на температуре перехода гель–флюид.

Экспериментально определена концентрационная зависимость позиции пика РМБ в биорелевантных растворах, показано, что она одинакова для большинства биорелевантных веществ. Для объяснения единообразного поведения концентрационной зависимости параметров биорелевантных молекул, включающих и низкомолекулярные вещества, и белки и гель, предложен вариант бифазной модели [6].

Фазовые переходы липидов в эмбрионах домашней кошки и мыши, замораживаемых в присутствии пропиленгликоля и глицерина, исследова-

ны методом КРС [7], что позволило обнаружить перераспределение липидов в разном фазовом состоянии внутри липидных гранул и низкотемпературные изменения в состоянии дыхательной электрон–транспортной цепи [8]. Продемонстрированы возможности метода картирования КРС для выявления и изучения эффектов фазового разделения липидов в замораживаемых эмбрионах и ооцитах. Обнаружены изменения в интенсивностях линий резонансного КРС от цитохромов в охлаждаемых эмбрионах мышей, связанные с фотоиндуцированным окислением и восстановлением.

#### *Исследование кристаллов и композитов методами колебательной спектроскопии*

Развитие представлений о связи бозонного пика, проявляющегося в низкочастотном спектре КРС, с особенностями в терагерцовой плотности состояний, определяемой нанометровой структурой стекол, позволило исследовать модификацию структуры сетки оксида бора – стеклующегося материала [9].

Центральный пик в спектрах КРС, отражающий релаксационный отклик материала, изучен в случае кристаллов SBN– $x$ , проявляющих свойства как обычных сегнетоэлектриков ( $x = 0.5, 0.33$ ), так и релаксоров ( $x = 0.75, 0.61$ ) в широком температурном диапазоне. Определены температурные зависимости амплитуды, ширины и спектральной формы центрального пика в КРС. Показано, что релаксационный отклик в представлении восприимчивости описывается степенной зависимостью с показателем степени, соответствующим широкому распределению времен релаксации. При этом и интегральная амплитуда центрального пика и показатель степени чувствительны к фазовому переходу. Определена взаимосвязь между акустическими аномалиями [10] и особенностями генерации второй оптической гармоники (ГВГ) в параэлектрической фазе сегнетоэлектриков и релаксоров SBN– $x$ . Показано, что в сегнетоэлектрической фазе температурные зависимости сигнала ГВГ и спонтанной поляризации схожи [11]. В параэлектрической фазе температурные зависимости сигнала ГВГ и аномалий упругих модулей также аналогичны и описывают температурную эволюцию случайных электрических полей в полярных нанорегионах.

В рамках проекта изучено влияние остаточных механических напряжений в прессованных порошках сегнетоэлектрического титаната бария [12], и развит метод Монте–Карло для описания сегнетоэлектрического фазового перехода в кристалле KDP [13]. Полученные результаты в методе Монте–Карло подтверждают высокую точность широко используемого аналитического приближения кластеров для описания фазового перехода в этом кристалле. Также в 2019 году в журналах были опубликованы статьи, включающие исследования спектров КРС и генерации второй гармоники различных кристаллических материалов, выполненные совместно с коллегами из других институтов РАН [14–17].

#### *Исследование жидких сред и кристаллов методами терагерцовой спектроскопии*

Изучены диэлектрические спектры кристаллов КТР, которые показали, что поглощение в терагерцовом диапазоне ниже для образца, выращенного гидротермальным методом и обладающего более высоким удельным сопротивлением [18, 19]. На основе измеренных терагерцовых оптических свойств построены кривые фазового согласования для генерации второй гармоники излучения внутри терагерцового диапазона частот.

Получены диэлектрические спектры жидких кристаллов 5СВ в терагерцовом диапазоне, на основе этого материала создан прототип метаструктуры отражательного типа для управления амплитудными и фазовыми характеристиками пучков на частоте 140 ГГц [20]. Предложен и апробирован подход повышения скорости и точности измерений в импульсной терагерцовой спектроскопии, основанный на применении антиалиасных (anti-aliasing) фильтров [21]. Подход апробирован при измерении спектров пропускания эталонных образцов – полосовых пропускающих фильтров с центральными частотами пропускания 156 ГГц и 376 ГГц и шириной полосы ~12 % [22]. В результате показано уменьшение времени измерения спектрометра до 12 раз при повышении точности измерений за счет нивелирования долговременного дрейфа нормировочного сигнала.

#### **Публикации:**

1. Dmitriev A.A., Surovtsev N.V. Vibrational eigenmodes of phospholipid layers in low-wavenumber Raman spectrum of multilamellar vesicles // *Journal of Raman spectroscopy*. – 2019. – Vol. 50, is. 11. – P. 1691–1699. – DOI 10.1002/jrs.5684.
2. Leonov D.V., Adichtchev S.V., Dzuba S.A., Surovtsev N.V. Vibrational layer eigenmodes of binary phospholipid–cholesterol bilayers at low temperatures // *Physical review E*. – 2019. – Vol. 99, is. 2. – P. 022417. – DOI 10.1103/PhysRevE.99.022417.
3. Leonov D.V., Dzuba S.A., Surovtsev N.V. Normal vibrations of ternary DOPC/DPPC/cholesterol lipid bilayers by low-frequency Raman spectroscopy // *RSC Advances*. – 2019. – Vol. 9, is. 59. – P. 34451–34456. – DOI 10.1039/c9ra06114b.
4. Adichtchev S.V., Surovtsev N.V., Duda T.A., Milekhin A.G. Brillouin Scattering From Langmuir–Blodgett Films Doped With CdS and CuS Nanoclusters // *Physica Status Solidi (B) Basic Research*. – 2019. – Vol. 256, is. 2. – P. 1800328 (4 pp.). – DOI 10.1002/pssb.201800328.
5. Adichtchev S.V., Surovtsev N.V. Brillouin study of elastic properties of nanometric phospholipid layers in aqueous suspensions of vesicles // *Ferroelectrics*. – 2019. – Vol. 541 is. 1. – P. 10–16. – DOI 10.1080/00150193.2019.1574635.
6. Adichtchev S.V., Karpagina Yu.A., Okotrub K.A., Surovtseva M.A., Zykova V.A., Surovtsev N.V. Brillouin spectroscopy of biorelevant fluids in relation to viscosity and solute concentration // *Physical review E*. – 2019. – Vol. 99, is. 6. – P. 062410. – DOI 10.1103/PhysRevE.99.062410
7. Sazhina E.A., Okotrub K.A., Amstislavsky S.Ya., Surovtsev N.V. Effect of low temperatures on cytochrome photoresponse in mouse embryos // *Archives of biochemistry and biophysics*. – 2019. – Vol. 669. – P. 32–38. – DOI 10.1016/j.abb.2019.05.017.
8. Kojima S., Novikov V.N., Kofu M., Yamamuro O. Neutron scattering studies of static and dynamic correlation lengths in alkali metal borate glasses // *Journal of non-crystalline solids*. – 2019. – Vol. 518. – P. 18–23. – DOI 10.1016/j.jnoncrysol.2019.05.005.
9. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V., Ivleva L.I., Lykov P.A. Comparison of acoustic and nonlinear optic properties of strontium barium niobate crystals of different compositions // *Ferroelectrics*. – 2019. – Vol. 538, № 1. – P. 126–134. – DOI 10.1080/00150193.2019.1569995.

10. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V., Ivleva L. I., Lykov P. A. Dependence of acoustic anomalies on chemical composition in strontium barium niobate crystals (from conventional ferroelectric to relaxor) probed by Brillouin light scattering // *Ferroelectrics*. – 2019. – Vol. 542 is. 1. – P. 21–27. – DOI 10.1080/00150193.2019.1574657
11. Zaitseva I.V., Okotrub K.A., Surovtsev N.V., Mikerin S.L., Krylov A.S. Residual mechanical stresses in pressure treated BaTiO<sub>3</sub> powder // *Ceramics International*. – 2019. – Vol. 45 is. 9. – P. 12455–12460. – DOI 10.1016/j.ceramint.2019.03.179.
12. Abalmassov V.A. Monte Carlo studies of the ferroelectric phase transition in KDP // *Ferroelectrics*. – 2019. – Vol. 538, is. 1. – P. 1–5. – DOI 10.1080/00150193.2019.1569978.
13. Atuchin V.V., Gavrilova T.A., Kokh K.A., Kuratieva N.V., Pervukhina N.V., Surovtsev N.V., Tereshchenko O.E. Structural and vibrational properties of PVT grown BiTeCl microcrystals // *Materials research express*. – 2019. – Vol. 6, № 4. – P. 045912. – DOI 10.1088/2053–1591/aaf445.
14. Atuchin V.V., Aleksandrovsky A.S., Bazarov B.G., Bazarova J.G., Chimitova O.D., Denisenko Y.G., Gavrilova T.A., Krylov A.S., Maximovskiy E.A., Molochev M.S., Oreshonkov A.S., Pugachev A.M., Surovtsev N.V. Exploration of structural, vibrational and spectroscopic properties of self-activated orthorhombic double molybdate RbEu(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> with isolated MoO<sub>4</sub> units // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2019. – Vol. 785. – P. 692–697. – DOI 10.1016/j.jallcom.2019.01.013.
15. Ehrling S., Senkovska I., Bon V., Evans J.D., Petkov P., Krupskaya Y., Kataev V., Wulf T., Krylov A., Vtyurin A., Krylova S., Adichtchev S.V., Slyusareva E., Weiss M.S., Buchner B., Heine T., Kaskel S. Crystal size: Versus paddle wheel deformability: Selective gated adsorption transitions of the switchable metal–organic frameworks DUT–8(Co) and DUT–8(Ni) // *Journal of Materials Chemistry A*. – 2019. – Vol. 7, is. 37. – P. 21459–21475. – DOI 10.1039/c9ta06781g.
16. Krinitsin P., Yelissev A., Jiang X., Isaenko L., Molochev M., Lin Z., Pugachev A.M. Growth, structure, and optical properties of nonlinear LiGa<sub>0.55</sub>In<sub>0.45</sub>Te<sub>2</sub> single crystals // *Crystal growth and design*. – 2019. – Vol. 19, is. 3. – P. 1805–1814. – DOI 10.1021/acs.cgd.8b01788.
17. Wang C.–R., Pan Q.–K., Chen F., Lanskie G., Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Andreev Y., Meshalkin A. Phase–matching in KTP crystal for THz wave generation at room temperature and 81 K // *Infrared physics and technology*. – 2019. – Vol. 97. – P. 1–5. – DOI 10.1016/j.infrared.2018.12.012.
18. Nikolaev N.A., Lanskie G.V., Mamrashev A.A., Andreev Y. M. Popular nonlinear optical crystals as down–converters of intense laser radiation and materials for millimeter wave applications // *Proceedings of SPIE: Vol. 11322: XIV International Conference on Pulsed Lasers and Laser Applications (AMPL–2019) / Tomsk*. – 2019. – CT. 1132229. – DOI 10.1117/12.2554383.
19. Кузнецов С.А., Николаев Н.А., Трашкеев С.И., Лазорский П.А., Аржанников А.В. Применение концепции ультратонких резонансных поглотителей для управления миллиметровым излучением с помощью жидких кристаллов // *Сибирский физический журнал*. – 2019. – Т. 14, № 2. – С. 86–102. – DOI 10.25205/2541–9447–2019–14–2–86–102.
20. Nikolaev N.A., Rybak A., Kuznetsov S., Yang S.–H. Metasurface–Based Anti–Alias Filters for Improved THz–TDS Measurements // *44th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW–THz) / Maison de la Chimie, Paris, France (September 1–6, 2019)*. – 2019. – CT. 8874107. – DOI 10.1109/IRMMW–THz.2019.8874107.
21. Kuznetsov S.A., Gelfand A.V., Fedorinin V.N., Nikolaev N.A., Lazorskiy P.A., Arzhannikov A.V. High–performance frequency selective surface filters for terahertz applications // *44th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW–THz) / Maison de la Chimie, Paris, France (September 1–6, 2019)*. – 2019. – CT. 8874586. – DOI 10.1109/IRMMW–THz.2019.8874586.

**Проект II.10.2.4. Нелинейные явления при распространении лазерного излучения в волоконных, микрорезонаторных и гибридных системах. № гос. рег. АААА–А17–117062110026–3. № темы 0319–2018–0004.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория нелинейной физики**

**Лаборатория фотоники**

**Лаборатория волоконной оптики**

**Тематическая группа нелинейной оптики**

**Лаборатория оптических сенсорных систем**

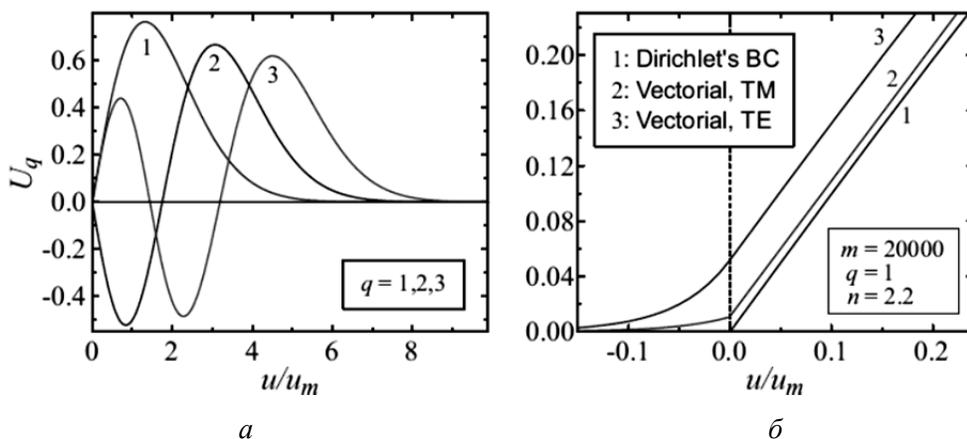
Научный руководитель чл.–корр. РАН **Бабин С.А.**

*Исследование прямоугольных высокоэнергетических импульсов в волоконных лазерах с нормальной дисперсией*

Дан анализ режимов пассивной синхронизации мод волоконных лазеров с целью определения условий генерации световых импульсов с высокой энергией и широкими спектрами излучения. Развитая теория включает режимы диссипативного солитонного резонанса, гибридной синхронизации мод волоконных лазеров и генерации шумовых импульсов. Установлено, что механизм распада прямоугольных высокоэнергетических импульсов в волоконных лазерах с нормальной дисперсией, препятствующий дальнейшему увеличению энергии импульсов с ростом накачки, связан с фазовой модуляцией излучения на краях таких импульсов. Полученные результаты ориентированы на разработку методов формирования высокоэнергетических световых импульсов с широкими спектрами излучения [1–5].

*Развитие теории линейных и нелинейных оптических эффектов в микрорезонаторах типа шепчущей галереи на основе анизотропных  $\chi^2$ -материалов. Применение резонаторов на основе металл–диэлектрических микроструктур в световодах для селекции мод лазера*

Развита векторная теория мод типа шепчущей галереи в аксиально–симметричных оптических микро–резонаторах произвольного сечения на основе анизотропных  $\chi(2)$  оптических материалов. Заложены основы теории генерации оптических комбов в таких микрорезонаторах, что включает в себя предсказание новых антипериодических состояний и новых солитонных решений, учитывающих большую разницу групповых скоростей первой и второй световых гармоник (рис. 2.2). Продемонстрирована высокая лучевая стойкость отражательного интерферометра на основе металл–диэлектрической дифракционной структуры, которая дает возможность внутрирезонаторной селекции мод с быстрой и широкополосной перестройкой частоты генерации. Разработаны основы технологии микро–опто–электромеханической структуры подвижного зеркала интерферометра, которая позволяет создать перестраиваемые фильтры с улучшенными характеристиками [6–7].



**Рис. 2.2:** *a* – первые три радиальные функции для световых мод типа шепчущей галереи; *б* – их модификация на краю резонатора для разных типов полевых граничных условий. Линии слева от вертикали характеризуют эванесцентные эффекты. Азимутальное число моды  $m = 2 \times 10^4$ . Линии 1 и 2 отвечают ТМ и ТЕ поляризациям

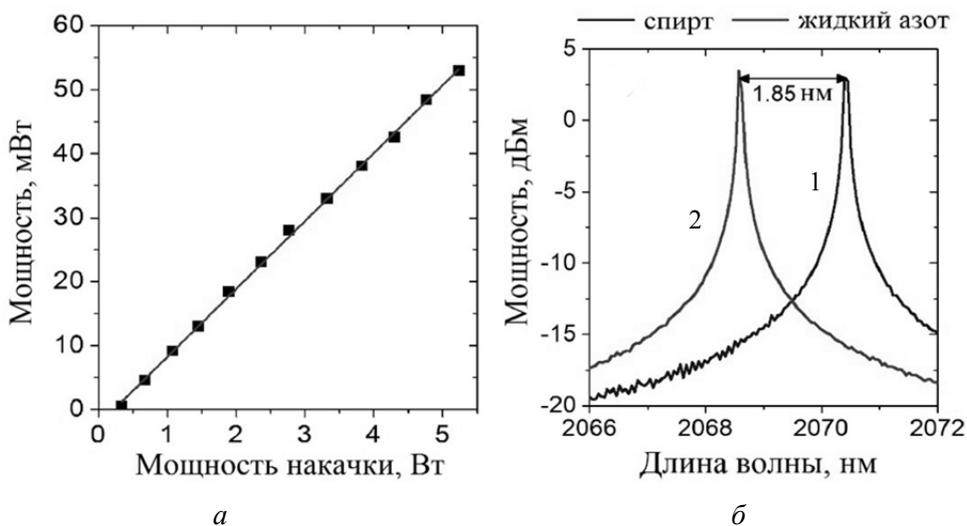
*Исследование пропускной способности оптоволоконных каналов связи с нелинейной памятью*

Исследованы новые режимы нелинейного распространения сигнала по оптоволоконным линиям связи, в частности, рассчитано влияние нелокальности отклика среды на динамику поляризации импульса электрического поля в нелинейной среде с кубической нелинейностью. Разработана методика, пригодная для описания рассеяния в нанооптике и фотонике, которая представляет собой модификацию квантовомеханического борновского приближения, которое само по себе не подходит для описания рассеяния на телах с резкой границей из-за специфических граничных условий. Адаптированное борновское приближение позволяет правильно учесть граничные условия и получить решение в случае, если эти тела вносят слабые возмущения. Предложен новый метод решения задачи рассеяния света на брэгговской решётке [8–11].

*Сравнение характеристик лазеров с распределенной обратной связью на основе регулярных и случайных структур показателя преломления, сформированных с помощью фемтосекундного ИК и непрерывного УФ лазера. Создание и исследование новых схем генерации и нелинейного преобразования с помощью волоконных лазеров со случайной рэлеевской обратной связью*

Методом фемтосекундной записи в сильнолегированном гольмиевом световоде впервые сформирована высококачественная волоконная брэгговская решётка (ВБР) с пи-сдвигом фазы и получена одночастотная генерация лазера с распределенной обратной связью в режиме одной поляризационной моды в области 2,07 мкм мощностью 53 мВт и шириной линии  $\sim 10$  кГц, проведено сравнение характеристик лазера при комнатной и криогенной температуре (рис. 2.3). Помимо регулярных структур исследо-

вались нерегулярные структуры, сформированные в различных пассивных световодах с помощью непрерывного УФ и фемтосекундного ИК лазеров. Проведена оптимизация массива ВБР, записанных со случайными фазами и амплитудами в одномодовом волокне, которая позволила получить одночастотный режим генерации при мощности  $\sim 10$  мВт, при увеличении выходной мощности спектр уширяется до нескольких десятков пм (при  $\sim 3$  Вт). Разработана феноменологическая модель волоконного лазера с распределенной обратной связью на основе случайного набора ВБР. Проведено сравнение такого лазера с различными схемами лазера со случайной обратной связью на основе рэлеевского рассеяния в волокне [12–18].



**Рис. 2.3:** *a* – зависимость мощности выходного излучения от мощности накачки; *б* – спектры генерации для различных конфигураций: 1 – резонатор охлаждался спиртом (комнатная температура), 2 – резонатор помещен в жидкий азот (криогенная температура)

*Исследование возможности применения и оптимизация характеристик лазера с пассивным сканированием частоты для контроля однородности световодов*

Экспериментально продемонстрирована возможность применения волоконного иттербиевого лазера с самосканированием длины волны для оптической частотной рефлектометрии неоднородностей волокна. Реализованная схема демонстрирует возможность работы рефлектометра с тестовыми линиями длиной около 9 метров с пространственной дискретизацией на уровне  $\sim 200$  мкм [19].

### Публикации:

1. Komarov A.K., Dmitriev A., Komarov K.P., Meng Y.C., Semaan G., Sanchez F. Multisoliton hybrid generation of fiber lasers with anomalous dispersion // Physical review A. – 2019. – Vol. 99, is. 5. – P. 053848. – DOI 10.1103/PhysRevA.99.053848.

2. Komarov A.K., Komarov K.P., Zhao L. Mechanism of formation of noiselike pulses in passively mode-locked fiber lasers // *Physical review A*. – 2019. – Vol. 100, is. 3. – P. 033829. DOI 10.1103/PhysRevA.100.033829.
3. Wang X., Komarov A.K., Klimczak M., Su L., Tang D., Shen D., Li L., Zhao L. Generation of noise-like pulses with 203 nm 3-dB bandwidth // *Optics Express*. – 2019. – Vol. 27, is. 17. – P. 24147–24153. – DOI 10.1364/OE.27.024147.
4. Erofeev V.I. A drift of Langmuir waves in a magnetized inhomogeneous plasma // *Journal of plasma physics*. – 2019. – Vol. 85, is. 1. – P. 905850104. – DOI 10.1017/S0022377818001320.
5. Zhao J., Zhou J., Li L., Klimczak M., Komarov A.K., Su L., Tang D., Shen D., Zhao L. Narrow-bandwidth h-shaped pulse generation and evolution in a net normal dispersion thulium-doped fiber laser // *Optics Express*. – 2019. – Vol. 27, is. 21. – P. 29770–29780. – DOI 10.1364/OE.27.029770.
6. Sturman B.I., Podivilov E.V., Werner C.S., Breunig I. Vectorial perturbation theory for axisymmetric whispering gallery resonators // *Physical review A*. – 2019. – Vol. 99, is. 1. – P. 013810. – DOI 10.1103/PhysRevA.99.013810.
7. Терентьев В.С., Симонов В.А., Лобач И.А., Бабин С.А. Метод изготовления волоконного отражательного интерферометра на основе металлодиэлектрической дифракционной структуры // *Квантовая электроника*. – 2019. – Т. 49, № 4. – С. 399–403. – DOI 10.1070/QEL16922.
8. Заболотский А.А. Влияние нелокальности отклика среды на поляризацию солитона // *Автометрия*. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 87–93. – DOI 10.15372/AUT20190611.
9. Горбенко Н.И., Ильин В.П., Фрумин Л.Л. Расчёт рассеяния света на брэгговской решётке рекурсией трансфер-матриц на неравномерной сетке // *Автометрия*. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 40–50. – DOI 10.15372/AUT20190106.
10. Perminov S.V., Frumin L.L., Shapiro D.A. Discrete dipole approximation for lossy plasmonic background // *Optics letters*. – 2019. – Vol. 44, № 13. – P. 3238–3241. – DOI 10.1364/OL.44.003238.
11. Bereza A.S., Frumin L.L., Nemykin A.V., Perminov S.V., Shapiro D.A. Perturbation series for the scattering of electromagnetic waves by parallel cylinders // *Europhysics letters*. – 2019. – Vol. 127, № 2. – P. 20002 (5 pp.). – DOI 10.1209/0295–5075/127/20002.
12. Wolf A.A., Skvortsov M.I., Kamynin V.A., Zhlyukova I.V., Abdullina S.R., Dostovalov A.V., Tsvetkov V.B., Babin S.A. All-fiber holmium distributed feedback laser at 2.07  $\mu\text{m}$  // *Optics letters*. – 2019. – Vol. 44, is. 15. – P. 3781–3784. – DOI 10.1364/OL.44.003781.
13. Bliokh Y., Chaikina E.I., Vatnik I.D., Churkin D.V. Temporal variation of the spectrum of a continuously pumped random fiber laser: phenomenological model // *Journal of the optical society of America B*. – 2019. – Vol. 36, is. 2. – P. 408–414. – DOI 10.1364/JOSAB.36.000408.
14. Vatnik I.D., Gorbunov O.A., Sugavanam S., Churkin D.V., Podivilov E.V. Spatial location of correlations in a random distributed feedback Raman fiber laser // *Optics letters*. – 2019. – Vol. 44, № 6. – P. 1516–1519. – DOI 10.1364/OL.44.001516.
15. Xia J., He J., Xie K., Zhang X., Hu L., Li Y., Chen X., Ma J., Wen J., Chen J., Pan Q., Zhang J., Vatnik I.D., Churkin D., Hu Z. Replica Symmetry Breaking in FRET-Assisted Random Laser Based on Electrospun Polymer Fiber // *Annalen der Physik*. – 2019. – Vol. 531. – P. 1900066 (1–10). – DOI 10.1002/andp.201900066.
16. Kuznetsov A.G., Nemov I.N., Wolf A.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Pulsed generation of multimode diode-pumped graded-index fiber Raman laser // *Proceedings SPIE: Vol. 11181: High-Power Lasers and Applications X “SPIE/COS PHOTONICS ASIA”* / (October 20–23, 2019) Hangzhou, China. – 2019. – CT. 111810K (7 p.). – DOI 10.1117/12.2537769.
17. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Skvortsov M.I., Abdullina S.R., Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Babin S.A. Femtosecond-pulse inscribed FBGs for mode selection in multimode fiber lasers // *Optical fiber technology*. – 2019. – Vol. 52. – P. 101988. – DOI 10.1016/j.yofte.2019.101988.

18. Dostovalov A.V., Derrien T., Lizunov S.A., Preucil F., Okotrub K.A., Mocek T., Korolkov V.P., Babin S.A., Bulgakova N.M. LIPSS on thin metallic films: New insights from multiplicity of laser-excited electromagnetic modes and efficiency of metal oxidation // Applied Surface Science. – 2019. – Vol. 491. – P. 650–658. – DOI 10.1016/j.apsusc.2019.05.171.
19. Tkachenko A.Y., Lobach I.A., Kablukov S.I. Optical frequency domain reflectometry based on self-sweeping fiber laser // Proceedings SPIE: Vol. 11199 : VII European Workshop on Optical Fibre Sensors / Limassol, Cyprus (October 1–4, 2019). – 2019. – СТ. 111992H (4 p.). – DOI 10.1117/12.2541275.

**Проект II.10.2.5. Перспективные оптические методы и инструментальные средства для исследования объемной микроструктуры и элементного состава синтезированных и природных материалов.**

**№ гос. рег. АААА–А17–117053110007–0. № темы 0319–2016–0005.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория оптических информационных систем**

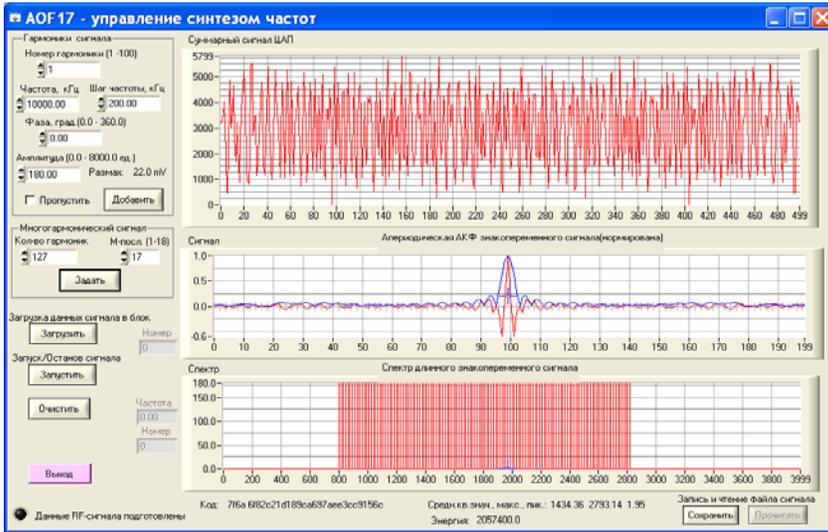
**Тематическая группа многоканальных анализаторов оптического и рентгеновского излучений**

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

*Развитие физических и экспериментальных основ 3D лазерных гетеродинных методов для изучения внутренней структуры объемных оптических сред. Исследование характеристик новых оптических материалов, в том числе светочувствительных, и создание на их основе элементов фотоники*

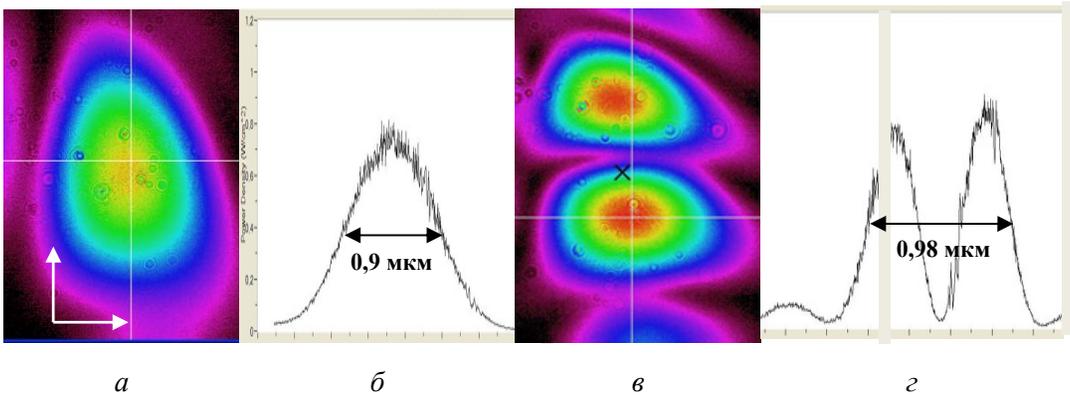
Найдено физико–техническое решение нового метода лазерной гетеродинной томографии, названного параллельным. Принцип работы такого «томографа» предусматривает формирование в исследуемой объемной среде сложной движущейся интерференционной решетки и последующее коллинеарное гетеродинное детектирование каждой из плоских волн, рассеянных средой. А поскольку пространственные гармоники движущегося интерференционного поля «помечены» своими доплеровскими сдвигами частоты света, то временной спектр выходного тока гетеродинного фотодетектора несет полную информацию (об амплитуде и фазе) пространственного спектра детектируемых рассеянных волн света в каждом из слоев среды [1].

Формирование движущейся интерференционной решетки реализовано с помощью акустооптического модулятора света с диапазоном рабочих частот 80–140 МГц и созданного цифрового синтезатора сложных сигналов со «сглаживающей» фазовой маской в виде M–последовательности Хаффмена. Частота дискретизации сигнала – 100 МГц. Пример цифрового синтеза сложного сигнала иллюстрируется рис. 2.4. Благодаря высокому быстродействию предложенный «томограф» ориентирован на решение практических задач с малым допустимым временем анализа (например, при изучении свойств роговицы подвижного глаза).



**Рис. 2.4.** Внешний вид рабочего окна программы управления синтезатором частот

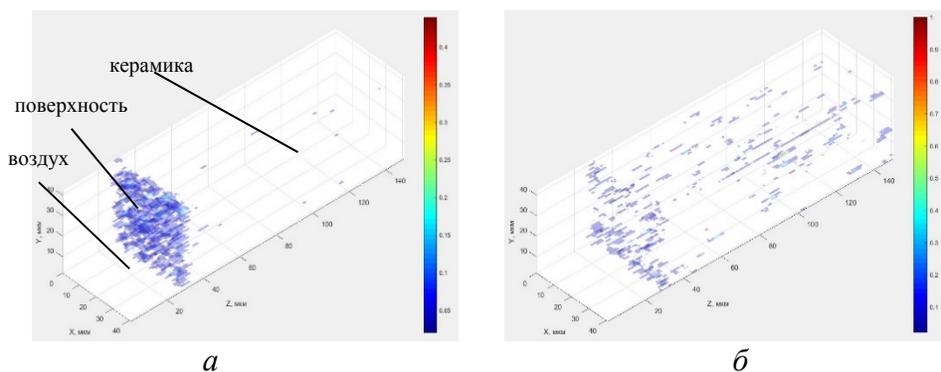
Размеры лазерного гетеродинного микронзонда определяются параметрами объемной микрорешетки, формируемой в исследуемой среде в результате пересечения двух сфокусированных гауссовых пучков света и зависят от длины волны излучения, числовой апертуры микрообъектива NA и показателя преломления среды. На этапе 2019 г. эти размеры были уменьшены за счет применения полупроводникового лазера с длиной волны 0,52 мкм. На рис. 2.5 представлены распределения интенсивности опорного пучка и микрорешетки, сформированных в фокальной плоскости микрообъектива. Показано, что размеры микронзонда на уровне  $\frac{1}{2}$  интенсивности излучения составляют  $\Delta x \times \Delta y \times \Delta z = 0,7 \times 0,98 \times 3,5 \text{ мкм}^3$ .



**Рис. 2.5.** Распределение интенсивностей в фокальной плоскости выходного микрообъектива: *a* – в опорном пучке; *б* – по оси Y опорного пучка; *в* – в микрорешетке; *г* – по оси Y микрорешетки

Объектами экспериментального исследования являлись образцы лазерной керамики, имеющие вид дисков диаметром 10–12 мм и толщиной 1–2 мм, и образцы эпоксидной матрицы толщиной 450–500 нм.

Построение сечений и трехмерных изображений осуществлялось путем пошагового линейного микросканирования образцов по глубине (толщине). В качестве примера на рис. 2.6 приведены 3D изображения области сканирования размером  $40 \times 40 \times 240$  мкм<sup>3</sup> двух образцов различных керамик.



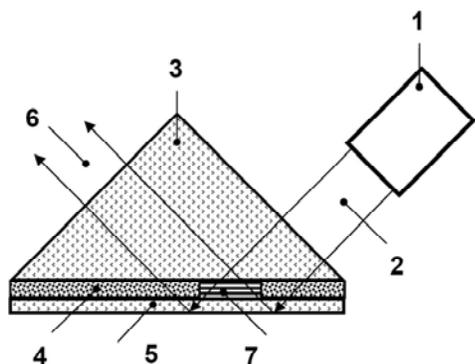
**Рис. 2.6.** 3D изображения распределения фазовых неоднородностей в образцах: *а* – большинство неоднородностей располагается на поверхности среды (что может быть связано с неидеальной полировкой; *б* – неоднородности в объеме образца № 2 распределены случайным образом, что может быть связано с недостатками технологии изготовления керамики)

Получены образцы голографических объёмных отражательных решёток с периодами «штрихов» от 250 до 500 нм, предназначенных для тестирования вышеупомянутого метода лазерной гетеродинной томографии. Для формирования решёток применена оптическая система с призмным вводом излучения в фотополимерный материал [Патент РФ № 181211], которая предусматривает использование одного записывающего пучка света и эффекта полного внутреннего отражения света на границе воздух – стекло (рис. 2.7).

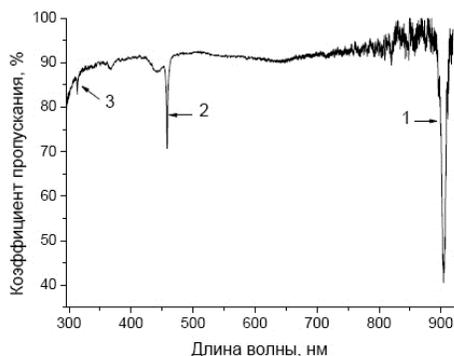
Спектр пропускания одной из объёмных отражательных решёток, записанной на фотополимерном материале (ФПМ), показан на рис. 2.8. Хорошо видны узкие спектральные провалы (рефлексы), обусловленные брэгговским отражением света, причём наряду с рефлексом основной гармоники (1), присутствуют рефлексы второй и третьей гармоникам (2 и 3). Установлено, что длина волны рефлекса первой гармоники  $\lambda_{r1} \sim 904$  нм (период решётки  $\sim 300$  нм), ширина контура  $\Delta\lambda_{r1} \sim 8$  нм (измерена на уровне 50 % от глубины), дифракционная эффективность  $\eta_{r1} \sim 50$  %; для второй гармоники –  $\lambda_{r2} \sim 457$  нм,  $\Delta\lambda_{r2} \sim 4$  нм и  $\eta_{r2} \sim 17$  %; а третьей –  $\lambda_{r3} \sim 313$  нм,  $\Delta\lambda_{r3} \sim 1$  нм и  $\eta_{r3} \sim 3$  % [2].

Подтверждена принципиальная возможность создания на основе халькогенидного стекла состава  $As_2S_3$  дифракционно–рефракционных элементов оптики для ближнего и среднего ИК диапазона [3, 4]. На рис. 2.9 (*а, б*) показан экспериментальный образец линзы из такого материала и полученные фрагменты глубокого фазового профиля. На примере дифракционно–рефракционного объектива из халькогенидного стекла, яв-

ляющегося аналогом линзы Доллонда (рис. 2.9, в), рассмотрена методика снижения его габаритов и хроматических aberrаций.



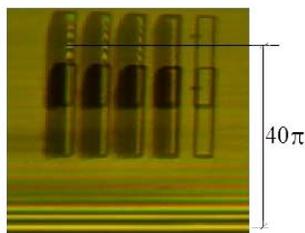
**Рис. 2.7.** Схема установки записи объёмных отрагательных решёток: 1 – лазер, 2 – опорный пучок, 3 – оптическая призма, 4 – ФПМ, 5 – стеклянная подложка, 6 – отраженный пучок, 7 – голографическая отрагательная решётка



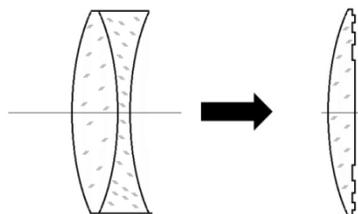
**Рис. 2.8.** Спектр пропускания объёмной отрагательной решётки: 1 – рефлекс основной решётки; 2 и 3 – рефлексы 2-й и 3-й гармоник соответственно



а



б



в

**Рис. 2.9:** а – образец одиночной линзы из стекла  $As_2S_3$ , полученный путем формования; б – треугольные зоны глубиной в  $40\pi$  ( $\lambda = 0,55$  мкм); в – схема дифракционно-рефракционного аналога линзы Доллонда

Ожидаемые параметры гибридного объектива: относительное отверстие – 1:2, фокусное расстояние – 35 мм, масса – 3 г. Хроматизм объектива в диапазоне длин волн 1–5 мкм будет более чем в 2 раза меньше хроматизма одиночной линзы.

*Повышение чувствительности и быстродействия анализатора оптических спектров для сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа*

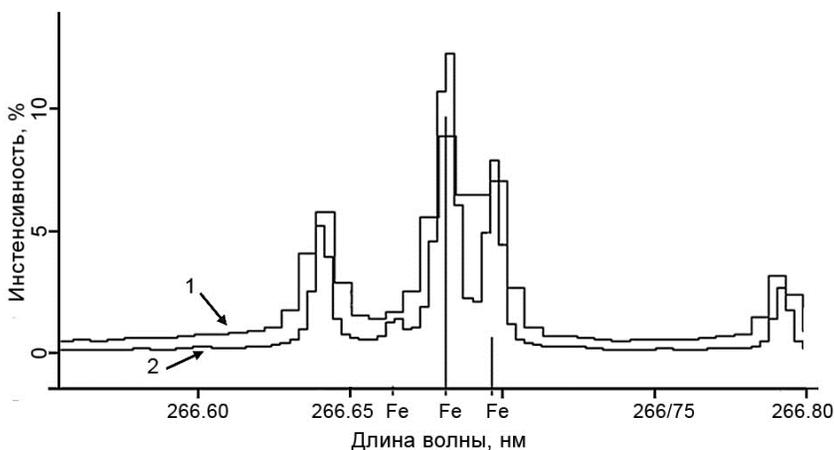
Для решения задачи повышения спектральной разрешающей способности метода сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа и снижения степени наложения на аналитические спектральные линии определяемых элементов линий других элементов был создан макет быстродействующего анализатора МАЭС на основе новой линейки фотодетекторов БЛПП–4000, параметры которой приведены в таблице 2.1, где  $n$  – количество фотоячеек в линейке,  $h$  – высота фотоячеек,  $d$  – шаг их размеще-

ния,  $\sigma_{rd}$  – шум чтения их выходных сигналов,  $N$  – зарядовая ёмкость фотоэлектродов. Для сравнения в таблице приведены параметры линеек БЛПП–2000, уже применяемых в сцинтилляционном атомно–эmissionном анализе.

**Таблица 2.1.** Основные характеристики линеек фотодетекторов БЛПП–2000 и БЛПП–4000

Параметры	Тип линейки фотодетекторов	
	БЛПП–4000	БЛПП–2000
$n$	4096	2048
$h$ , мкм	200	1000
$d$ , мкм	7	14
$\sigma_{rd}$ , $e^-$	16	25
$N$ , $e^-$	80000	200000

Совместное испытание анализаторов МАЭС с линейками БЛПП–2000 и БЛПП–4000 проводилось в составе спектрального комплекса «Гранд–Поток». Для примера на рис. 2.10 показан фрагмент спектра государственного СО флотоконцентрата золотосодержащей руды СЗК–3. Видно, что линии триплета железа, которые сливаются между собой в спектре, полученном с помощью линейки БЛПП–2000 (1), хорошо разрешаются анализатором с линейками БЛПП–4000 (2). Показано также, что значения отношения сигнал/шум спектральных линий линеек БЛПП–2000 в 4–6 раз превышают отношения сигнал/шум линеек БЛПП–4000, что говорит о возможном ухудшении пределов обнаружения [5–9].



**Рис. 2.10.** Фрагмент спектра образца флотоконцентрата золотосодержащей руды СЗК–3 с триплетом железа, зарегистрированного линейками БЛПП–2000 (1) и БЛПП–4000 (2) на спектрометре «Гранд»

Достигнуто практически двукратное увеличение (в сравнении с МАЭС на основе БЛПП–2000) спектральной разрешающей способности, что позволяет существенно уменьшить степень спектральных наложений на аналитические линии определяемых элементов.

## Публикации:

1. Трехмерная лазерная модификация объемных светочувствительных материалов // Отв. редактор Твердохлеб П.Е. Серия «Интеграционные проекты СО РАН». Новосибирск: Изд. СО РАН, 2012. 353 с.
2. Твердохлеб П.Е., Щепеткин Ю.А., Штейнберг И.Ш. Исследование характеристик толстых дифракционных решеток методом лазерной гетеродинной томографии // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 26–34. – DOI 10.15372/AUT20190104.
3. Пен Е.Ф. Энергетическая эффективность фотоэлектрических панелей при использовании голографических решеток в качестве пассивных трекеров солнечного излучения // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 71–81. – DOI 10.15372/AUT20190309.
4. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Оптические решеточно-волноводные сенсоры на основе халькогенидных стекол // Оптика и спектроскопия. – 2019. – Т. 126, вып. 4. – С. 523–526. – DOI 10.21883/OS.2019.04.47523.182–18.
5. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Сравнение характеристик волноводных рефрактометрических сенсоров // Оптика и спектроскопия. – 2019. – Т. 127, вып. 6. – С. 1013–1018. – DOI 10.21883/OS.2019.12.48702.249–19.
6. Дзюба А.А., Лабусов В.А., Бабин С.А. Анализаторы МАЭС с линейками фотодетекторов БЛПП–2000 и БЛПП–4000 в сцинтилляционной атомно-эмиссионной спектроскопии // Аналитика и контроль. – 2019. – Т. 23, № 1. – С. 35–42. – DOI 10.15826/analitika.2019.23.1.005.
7. Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н., Чернов К.Н., Боровиков В.М., Бурумов И.Д., Селюнин Д.О., Гаранин В.Г., Зарубин И.А. Спектрометр с микроволновой плазмой «Гранд-СВЧ» для атомно-эмиссионного анализа // Аналитика и контроль. – 2019. – Т. 23, № 1. – С. 24–34. – DOI 10.15826/analitika.2019.23.1.004.
8. Bekhterev A.V., Labusov V.A., Lokhtin R.A., Pyanov D.A., Strokov I.I., Khranov M.S. Search for objective quality criteria for digital x-ray images to optimize their acquisition modes in terms of the quality/dose ratio // Russian electronic journal of radiology. – 2019. – Vol. 9, № 1. – P. 160–176.
9. Labusov V.A., Boldova S.S., Selunin D.O., Semenov Z.V., Vashchenko P.V., Babin S.A. High-resolution continuum-source electrothermal atomic absorption spectrometer for simultaneous multi-element determination in the spectral range of 190–780 nm // Journal of analytical atomic spectrometry. – 2019. – Vol. 34, is. 5. – P. 1005–1010. – DOI 10.1039/C8JA00432C.
10. Bock D.N., Labusov V.A. Determination of non-metallic inclusions in metal alloys by spark optical emission spectrometry (review) // Inorganic materials. – 2019. – Vol. 55, № 14. – P. 1415–1427. – DOI 10.1134/0020168519140012.

**Проект П.10.2.6. Дифракционная и интерференционная оптика: перспективные технологии, характеристика элементов, применения в фотонике и измерительной технике.**

**№ гос. рег. АААА–А17–117052210002–7. № темы 0319–2018–0006.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория дифракционной оптики**

**Тематическая группа лазерной гравиметрии**

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

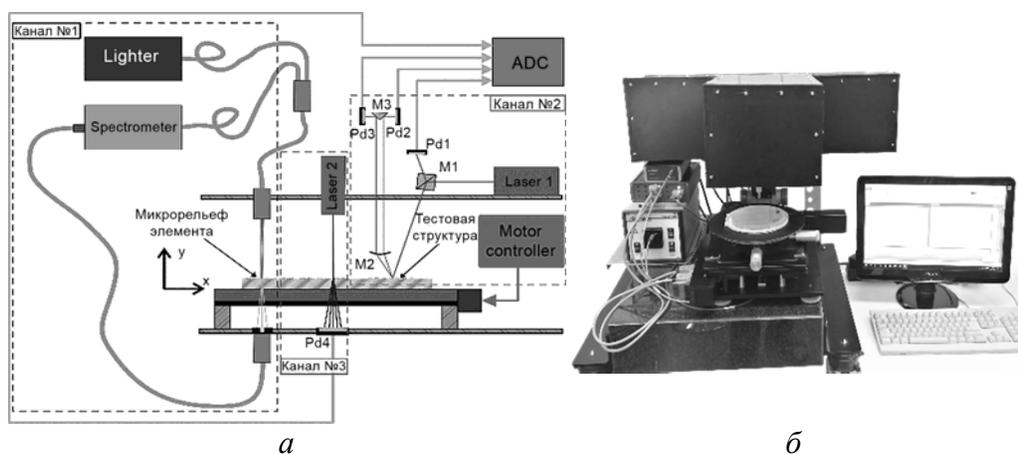
*Разработка лазерных методов синтеза высокоточных дифракционных оптических элементов и высокоэффективных микрооптических компонентов с применением новых фотополимерных и неорганических пленок*

Определена фоточувствительность слоев полифторхалконов (ТАФХ) в условиях прямой лазерной записи на длине волны 405 нм, а также получены значения фоточувствительности слоев при различных концентрациях триарилпиразолина (ТАП). Определена оптимальная концентрация ТАП, которая составила 9 % по массе [1–3].

Для количественного анализа термохимических лазерно-индуцированных периодических поверхностных структур разработан метод обработки микроизображений, позволяющий определять относительную площадь модифицированной области и площадь дефектов, а также прямолинейность и параллельность дорожек, формирующих периодическую структуру [4, 5].

#### *Разработка системы сканирующего многоканального контроля пленочных покрытий и дифракционных структур*

Разработана система сканирующего многоканального контроля пленочных покрытий и дифракционных структур (рис. 2.11), позволяющая решать следующие задачи контроля: измерение спектров пропускания и отражения плёночных покрытий, измерение глубины рельефа бинарных ДОО и толщины плёночных покрытий методом зеркальной спектроскопической рефлектометрии, измерение дифракционной эффективности на отражение в 0 и +1 порядках дифракции для тестовых решеток, а также определение функции скажности ячеек растровых фотошаблонов по функции пропускания [6].



**Рис. 2.11.** Многоканальная измерительная система:  
а – схема системы; б – внешний вид

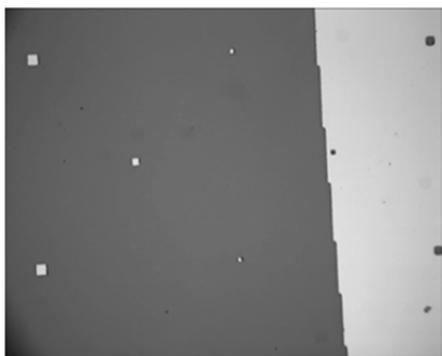
#### *Разработка и исследование методов пассивной генерации перспективных видов гауссово-подобных лазерных пучков с высокой однородностью интенсивности в центральной области и малым уровнем поперечных максимумов в пределах расширенной глубины фокуса*

Предложен и исследован метод оптимизации свободных параметров хорошо сфокусированных лазерных пучков, модели которых представляют собой аналитические решения параксиального волнового уравнения в виде

многопараметрических гамма и гамма-связанных функций. Он позволяет выявить такие формы пучков, которые обеспечивают получение не только расширенной глубины фокуса, но и одновременно (в пределах глубины фокуса) постоянную интенсивность на оси, а также постоянный поперечный размер центрального максимума и относительно небольшие уровни интенсивности поперечных побочных максимумов.

#### *Разработка и исследование гибридных фокусирующих систем с расширенной фокальной областью*

Теоретически и экспериментально исследована возможность создания компьютерно-синтезированной амплитудно-фазовой структуры, имитирующей заданное пропускание непрерывного амплитудно-фазового



**Рис. 2.12.** Фотография фотошаблона для формирования амплитудного фильтра

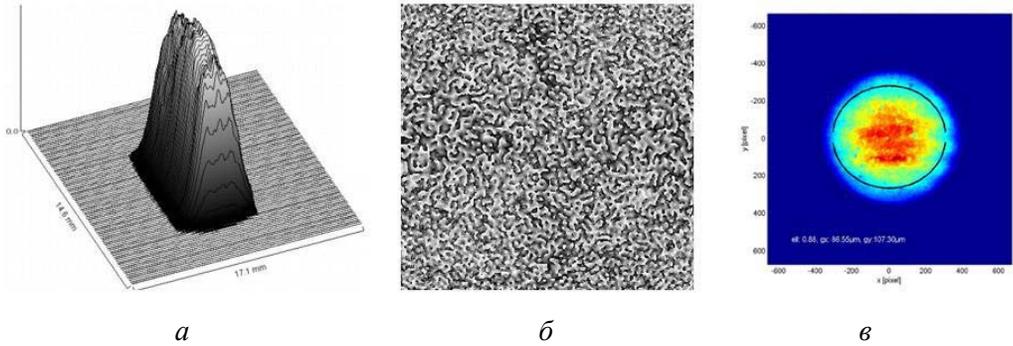
фильтра для фокусирующей системы с расширенной глубиной фокуса. На рис. 2.12, полученном с помощью оптического микроскопа проходящего света, показан тестовый фрагмент амплитудной структуры в виде квадратных сот предельно малого размера (порядка 1 мкм), записанных по описанной технологии на толстом хrome. Экспериментально достигнутый диапазон изменения амплитудного коэффициента пропускания структуры составил 3600:1.

#### *Разработка и исследование методов фазового преобразования лазерных пучков с повышенной энергетической эффективностью для задач коррекции aberrаций мощных твердотельных лазеров, мультипликации и гомогенизации пучков*

Проведено исследование преобразования лазерных пучков с повышенной энергетической эффективностью при помощи дифракционных гомогенизаторов и мультипликаторов. При помощи компьютерного моделирования показано, что такие элементы чувствительны к ошибке глубине травления фазовой микроструктуры (рис. 2.13). Это налагает повышенные требования к технологии их изготовления [7].

#### *Разработка и интегрирование пьезопривода Y-координаты круговой лазерной записывающей системы с исследованием ее точностных характеристик интерферометрическим методом*

Разработан прецизионный пьезоэлектрический привод Y-координаты для круговой лазерной записывающей системы. Экспериментально показана возможность снижения погрешности позиционирования более чем в 10 раз при увеличении скорости сканирования в 2–3 раза в сравнении с используемой версией [8, 9].

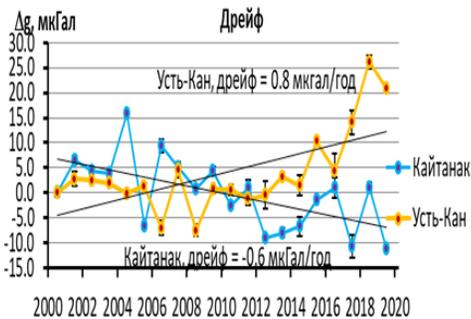


**Рис. 2.13.** Принцип работы гомогенизатора лазерного пучка: *а* – исходное распределение интенсивности; *б* – фазовая карта гомогенизатора; *в* – исправленная интенсивность

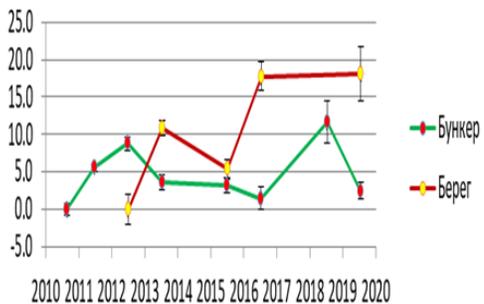
*Разработка программного обеспечения электронно–счетного блока абсолютного гравиметра для непрерывного анализа характеристик падений пробного тела и отбраковки бросков, с целью понижения случайных погрешностей и уменьшения времени измерения  $g$ . Продолжение мониторинга гравитационного поля Земли в сейсмоактивных и пограничных зонах «континент–океан» и гравиметрических измерений плотности и вертикальных движений земной коры в платформенных областях*

Разработано специальное программное обеспечение электронно–счетного блока абсолютного гравиметра для непрерывного анализа характеристик падений пробного тела и отбраковки бросков, с целью понижения случайных погрешностей и уменьшения времени измерения  $g$  [10].

Лазерным баллистическим гравиметром проведены измерения неприливных вариаций ускорения силы тяжести  $\Delta g$  на двух пунктах сейсмоактивной зоны Горного Алтая (рис. 2.14) и на базе морской экспедиционной станции «Мыс Шульца» (рис. 2.15) Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН на полуострове Гамова в зоне перехода «континент–океан».



**Рис. 2.14.** Неприливные вариации  $\Delta g$  на пунктах Горного Алтая



**Рис. 2.15.** Неприливные вариации  $\Delta g$  на пунктах МЭС «Мыс Шульца»

## **Публикации:**

1. Derevyashkin S.V., Soboleva E.A., Shelkovnikov V.V., Malyshev A.I., Korolkov V.P. Masking properties of structures based on a triacrylamide derivative of polyfluorochalcone at wet and reactive ion etching // Russian microelectronics. – 2019. – Vol. 48. № 1. – P. 13–27.
2. Derevyashkin S.V., Soboleva E.A., Shelkovnikov V.V., Korolkov V.P., Malyshev A.I., Spesivtsev E.V. Triacrylamide polyfluorinated chalcone derivative as high resistant light-sensitive material for technology of diffractive optical elements // Proceedings of SPIE: Vol. 11030: Holography: Advances and Modern Trends VI. – 2019. – CT. 110301D. – DOI 10.1117/12.2521139.
3. Derevyanko D.I., Orlova N.A., Shelkovnikov V.V., Shundrina I.K., Goldenberg B.G., Korolkov V.P. Fabrication of high-aspect-ratio microstructures on tetraacrylate/acrylamide monomers using synchrotron radiation // High energy chemistry. – 2019. – Vol. 53, № 2. – P. 136–142.
4. Dostovalov A.V., Okotrub K.A., Bronnikov K.A., Terentyev V.S., Korolkov V.P., Babin S.A. Influence of femtosecond laser pulse repetition rate on thermochemical laser-induced periodic surface structures formation by focused astigmatic Gaussian beam // Laser physics letters. – 2019. – Vol. 16, № 2. – P. 026003. – DOI 10.1088/1612-202X/aaf78f.
5. Dostovalov A.V., Bronnikov K.A., Belousov D.A., Korolkov V.P., Babin S.A. Fast formation of hybrid periodic surface structures on Hf thin-film by focused femtosecond laser beam // Proceedings of SPIE: Vol. 11183: Advanced Laser Processing and Manufacturing III. – 2019. – CT. 111830U. – DOI 10.1117/12.2537672.
6. Korolkov V.P., Cherkashin V.V., Khomutov V.N., Belousov D.A. Multi-channel scanning measuring system for testing of diffractive structures and thin transparent films // Proceedings of SPIE: Vol. 11030: Holography: Advances and Modern Trends VI. – 2019. – CT. 110301E. – DOI 10.1117/12.2521140.
7. Насыров Р.К., Белоусов Д.А., Седухин А.Г., Корольков В.П., Хомутов В.Н. Влияние ошибок изготовления ДОО на распределение интенсивности света в задачах мультипликации и гомогенизации пучков // XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям «HOLOEXPO 2019»: тезисы докладов / Стрельна, Санкт-Петербург (10–12 сентября 2019). – 2019. – С. 211–215.
8. Шиманский Р.В. Метод контроля погрешностей изготовления прецизионных синтезированных голограмм на круговых лазерных записывающих системах // Автотметрия. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 113–119. – DOI 10.15372/AUT20190313.
9. Шиманский Р.В., Корольков В.П., Качкин А.Е. Разработка и исследования прецизионного пьезоэлектрического привода Y-координаты для круговой лазерной записывающей системы // XV Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь». Национальная конференция с международным участием «СибОптика-2019»: сб. материалов / Новосибирск (24–26 апреля 2019). – Т. 8. – 2019. – С. 57–63. – DOI 10.33764/2618-981X-2019-8-57-63.
10. Калиш Е.Н., Стусь Ю.Ф., Носов Д.А., Сизиков И.С. Выставление измерительного луча интерферометра по вертикали в баллистическом гравиметре // в печати.

**Проект П.10.2.7. Разработка и исследование технологий прецизионного лазерного формообразования с использованием методов физического и статистического моделирования, а также оптических средств контроля качества.**

**№ гос. рег. АААА-А17-117060810013-2. № темы 0319-2018-0007.**

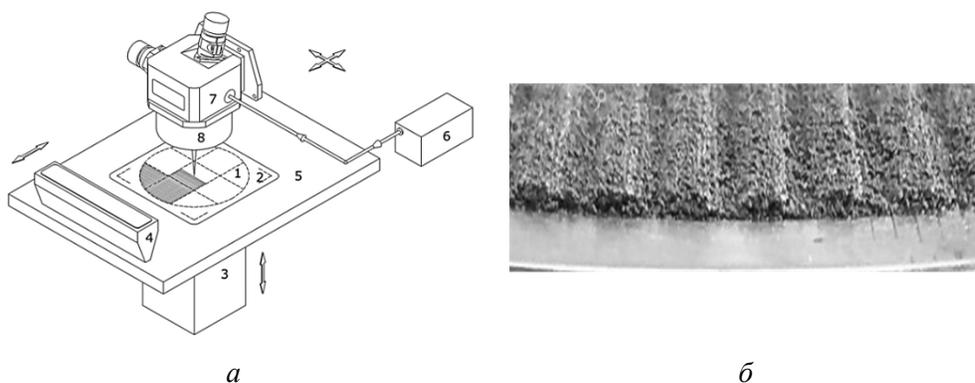
Исполнители проекта:

**Лаборатория лазерной графики**

Научный руководитель **к.т.н. Бессмельцев В.П.**

*Разработка методов многолучевого и параллельного аддитивного формообразования и микрообработки больших объектов с динамической перестройкой формы обрабатывающего лазерного пучка. Разработка основ лазерного аддитивно/субтрактивного формирования изделий из высокотемпературных металлических порошков с использованием фемто и пикосекундных лазерных источников*

Разработан экспериментальный стенд для лазерного формообразования на основе мощного CO<sub>2</sub> лазера (70 Вт) с комплементарной системой сканирования (рис. 2.16).

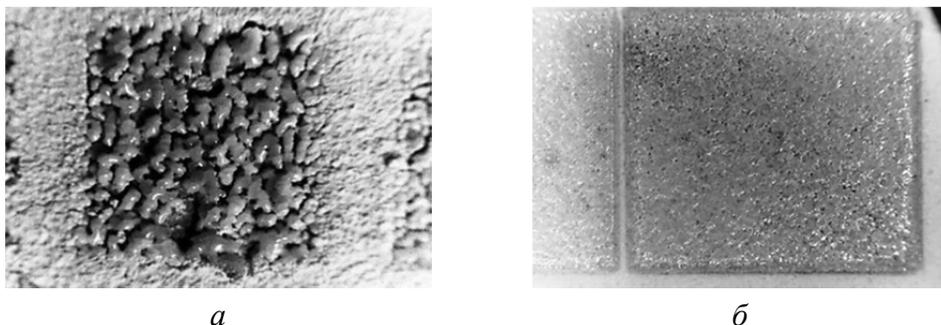


**Рис. 2.16:** *а* – схема оптико–механического модуля для аддитивного формирования и 3D структур на плоских подложках из металлических порошков; *б* – фрагмент пористой модулированной поверхности с повышенной теплоотдачей

Показано, что лазерные системы аддитивного формообразования при двухкоординатном позонном перемещении сканерной головки, обеспечивают возможность формирования трехмерных изделий с высоким пространственным разрешением и точностью, при этом размер зоны обработки не ограничивается полем сканирующего объектива. Эксперименты, проведенные совместно с ИТФ СО РАН на экспериментальном стенде 3D аддитивного формообразования с комплементарным сканированием показали, что такой метод позволяет формировать на поверхности теплопроводной подложки из металлических порошков трехмерные структуры заданной формы и пористости. Разработанные специальные алгоритмы послойной штриховки зон с учетом перекрытия зон позволяют изготавливать трехмерные структуры с высокой однородностью. Для повышения теплоотдачи кипящих жидкостей изготовлены трехмерные структуры с 2-D модулируемой поверхностью из пористого металлического покрытия с расчетными характеристиками. Показано, что коэффициенты теплоотдачи на поверхности с такой структурой примерно в 3–5 раз выше, чем на поверхности без покрытия [1, 2].

Проведены исследовательские работы по формированию костных имплантатов на основе наноразмерных порошков гидроксипатита, синте-

зируемых в ИХТТМ СО РАН методом прямого спекания с использованием лазерных аддитивных технологий (рис. 2.17). Разработана физико-математическая модель, моделирующая процесс формирования температурного поля в слое порошка гидроксиапатита при селективном лазерном спекании [3, 7, 8, 9].



**Рис. 2.17.** Результаты экспериментов по обработке слоя порошка гидроксиапатита методом селективного лазерного плавления: *а* – насыпной слой толщиной 0,1 мм, медленное сканирование на большой мощности (пятно 1 мм, скорость 80 мм/сек, мощность 10 Вт); *б* – таблетка, обработка на большой скорости малым пятном (пятно 0,2 мм, скорость 640 мм/сек, мощность 4 Вт)

*Исследование методов сверхразрешения для измерения геометрических характеристик металлических объектов после лазерной микрообработки. Разработка макета оптической системы скоростного высокоразрешающего контроля трехмерных изделий и соответствующего математического обеспечения на основе метода Фурье птихографии*

Реализована оригинальная технология лазерной микрообработки с помощью фемто- и пикосекундных источников излучения хрупких диэлектрических материалов, обеспечивающая максимальную производительность при отсутствии дефектов в виде сколов, микротрещин и буртиков. Разработанная технология используются при изготовлении прицельных сеток и других специальных изделий на предприятиях корпорации «Швабе» (АО ВОМЗ г. Вологда, АО КОМЗ г. Красногорск) [4, 5, 10].

Проведены исследования применимости Фурье-птихографии для увеличения производительности систем контроля металлических объектов (на отражение). Для экспериментов по данной тематике разработан оригинальный модуль мультиуглового освещения и программно-аппаратная система обработки стека изображений, включающая экспериментальный блок Фурье-птихографии. На этой основе создана система определения подлинности и качества изготовления защитных голограмм, выполненных по технологии дифракционных отражающих микроструктур [6].

### **Публикации:**

1. Бессмельцев В.П., Павленко А.Н., Жуков В.И. Разработка технологии создания структурированных капиллярно-пористых покрытий методом 3D-печати для интенсификации теплообмена при кипении // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 25–35. – DOI 10.15372/AUT20190604.

2. Zhukov V.I., Pavlenko A.N., Bessmeltsev V.P. Heat transfer at evaporation/boiling in the thin horizontal liquid layer on microstructured surfaces under low pressures // Journal of physics: Conference series. – 2019. – Vol. 1369. – P. 012007. – DOI 10.1088/1742-6596/1369/1/012007.
3. Булина Н.В., Баев С.Г., Макарова С.В., Титков А.И., Бессмельцев В.П., Ляхов Н.З. Лазерная обработка компактированных образцов гидроксиапатита // в печати.
4. Rubtsov N., Bessmeltsev V. P., Grishin M. Modeling of pulsed laser ablation of aluminum under the action of infrared nanosecond laser pulses // EPJ Web of Conferences: XV All-Russian school-conference of young scientists with international participation "Actual problems of thermal physics and physical hydrodynamics", November 20–23, 2018, Novosibirsk. – 2019. – Vol. 196. – P. 00020 (6 p.). – DOI 10.1051/epjconf/201919600020.
5. Baev S.G., Bessmeltsev V.P., Goloshevsky N.V., Katasonov D.N. Method of crack-free laser writing of microchannels on glass substrates // IOP Conference series: materials science and engineering. – 2019. – Vol. 537: Material science and aerospace technology, is. 2. – P. 022059. – DOI 1088/1757-899X/537/2/022059.
6. Бессмельцев В.П., Вилейко В.В., Максимов М.В. Высокоразрешающая система измерения основных параметров защитных голограмм для оперативного контроля качества и экспертного анализа // XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям «HOLOEXPO 2019»: тезисы докладов / Стрельна, Санкт-Петербург (10–12 сентября 2019). – 2019. – С. 102–108.
7. Titkov A.I., Logutenko O.A., Vorobyev A., Bulina N.V., Baev S.G., Bessmeltsev V.P., Lyakhov N.Z. Laser sintering of Cu@Ag core-shell nanoparticle ink for flexible electronics application // 12th International Symposium on Flexible Organic Electronics "ISFOE 19" / Thessaloniki, Greece (July 1–4, 2019). – P. 128–129.
8. Bulina N.V., Titkov A.I., Baev S.G., Makarova S.V., Bessmeltsev V.P., Lyakhov N.Z. Melting of Hydroxyapatite by Selective Laser Sintering for fabrication of Bioceramic Scaffolds // 12th International Symposium on Flexible Organic Electronics "ISFOE 19" / Thessaloniki, Greece (July 1–4, 2019). – P. 143–145.
9. Бессмельцев В.П., Иванов А.А. Моделирование распределения температуры в слое гидроксиапатита в процессе селективного лазерного спекания // XV Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь». Национальная конференция с международным участием «СибОптика-2019»: сб. материалов / Новосибирск (24–26 апреля 2019). – Т. 8. – 2019. – С. 10–18. – DOI 10.33764/2618-981X-2019-8-10-18.
10. Способ формирования микроканалов на подложках и устройство для его реализации: пат. 2709888 Рос. Федерация на изобретение. Бессмельцев В.П., Голошевский Н.В., Катасонов Д.Н., Киприянов Я.А., Баев С.Г.; опубл. 23.12.2019 Бюл. № 36. 3 с.

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

**Проект IV.35.1.6. Методы и программно-алгоритмические средства обработки многомерных данных наблюдений в задачах дистанционной диагностики динамических объектов и процессов.**

**№ гос. рег. АААА-А17-117052410034-6. № темы 0319-2018-0008.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория информационной оптики**

**Лаборатория цифровых методов обработки**

## Лаборатория вероятностных методов исследования информационных процессов

Тематическая группа информатики и прикладной математики

Тематическая группа оптико–электронных специализированных процессоров

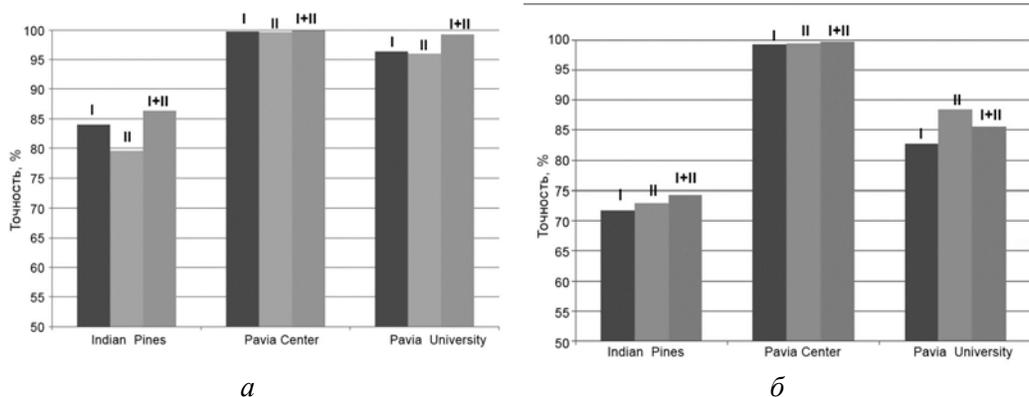
Тематическая группа имитационно–моделирующих стендов

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

*Разработка методов обучения классификаторов, устойчивых к аппаратным искажениям, возникающим при регистрации крупноформатных ГС изображений*

В результате экспериментальных исследований [1] подтверждена перспективность комплексной обработки спектральных и пространственных признаков, учитывающей коррелированность близкорасположенных пикселей, как для сельскохозяйственных территорий (Indian Pines), так и для территорий застройки (Pavia Center, Pavia University). При этом показано, что методы, основанные на предварительной пространственной обработке (I), обеспечивают большую точность, чем использующие постобработку картосхем попиксельной спектральной классификации (II), а наибольший эффект дает их сочетание (I+II).

Установлено, что точность классификации ГС данных при применении предложенных способов формирования обучающих выборок (ОВ) в значительной степени различается (рис. 2.18). Из полученных результатов следует, что для повышения эффективности классификации ГС изображений в условиях неполного устранения влияния различия условий съемки, а также разброса параметров регистрирующей системы по полю зрения необходимо применять сочетание предварительной пространственной обработки данных и формирования распределенных по пространству ОВ.



**Рис. 2.18.** Классификация ГС изображений при различных способах обучения:  
а – распределенная ОВ, б – локализованная ОВ

Отметим, что точность классификации типов растительности гораздо ниже, чем точность классификации территорий застройки. Так максимальная точность классификации Indian Pines составляет 86 % при исполь-

зовании предобработки данных и постобработки картосхем, тогда как точность классификации Pavia Center и Pavia University в этом случае достигает 99 %.

*Исследование влияния пространственной неоднородности фотоприемника на качество обнаружения малоразмерных объектов на пространственно–стационарном фоне. Согласованная фильтрация малоразмерных объектов с учетом мультипликативной структурной помехи. Разработка методов представления коррелированного случайного сигнала в виде линейной комбинации белых шумов с различным распределением значения в точке*

Разработан основанный на методе максимального правдоподобия алгоритм обнаружения малоразмерных объектов на фоне пространственно–неоднородного некоррелированного шума и мультипликативной структурной помехи. Для малоразмерных объектов (характерный диаметр ~3 пикселя) при среднем отношении С/Ш=2 алгоритм по сравнению с классическим согласованным фильтром позволяет снизить вероятность пропуска объектов с 13 % до 9 % при сохранении вероятности ложной тревоги на уровне  $\sim 5 \times 10^{-4}$ . Создан основанный на компенсации дробных межкадровых сдвигов алгоритм подавления пространственно–нестационарного фона в последовательностях изображений с движущимися малоразмерными слабоконтрастными объектами, устойчивый к недостоверным оценкам направления сдвига. Алгоритм позволяет подавить фон практически до уровня шума регистрации, обеспечивая надежное обнаружение объектов, яркость которых в исходных изображениях на порядок слабее СКО яркости фона. Предложен способ формирования случайных коррелированных последовательностей, обеспечивающий примерно вдвое более точное воспроизведение автокорреляционной функции, чем способ, основанный на авторегрессионной модели [2–5].

*Исследование особенностей обучения, в частности – влияния предобучения на качество распознавания изображений в сверточных нейронных сетях*

Предложено для эффективного применения многослойных сверточных нейронных сетей использовать предобученные сети и дообучать их на специализированных обучающих выборках (ОВ), которые целесообразно формировать из двумерных проекций объектов в нескольких ракурсах. Экспериментально показано, что дообученная на такой ОВ сверточная сеть AlexNet дает такие же вероятности правильного распознавания, что и сеть, использующая полноценную обучающую выборку.

В результате экспериментальных исследований по классификации гиперспектральных изображений трудноразличимых типов растительности с использованием классической нейронной сети на основе радиально–базисных функций (RBF) установлено [6], что описание пикселей с помощью 4 и 20 главных спектральных компонент дает близкие результаты классификации (54,2 %, 55,3 %), тогда как применение 20 признаков на

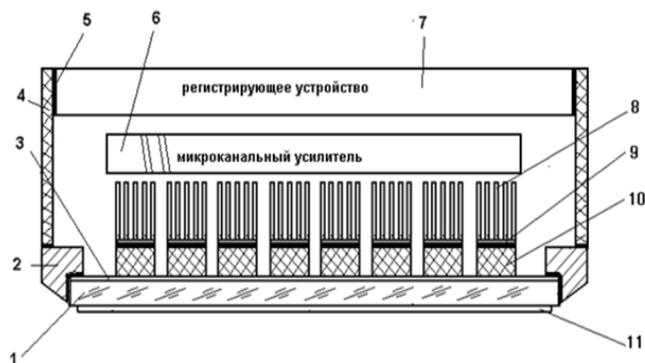
основе разложения 4 главных компонент по 5 эмпирическим модам существенно увеличивает ее точность (88,8 %).

**Таблица 2.2.** Результат классификации кукурузы и сои по 26 подклассам

Система признаков	Точность классификации		
	Обучающая выборка	Контрольная выборка	Тестовая выборка
4 ГК	55,8	52,8	54,2
20 ГК	56,7	53,1	55,3
20 ЭМ ГК	90,7	88,3	88,8

Рассмотрены вопросы анализа, выбора и применения элементной базы имитационно–моделирующих стендов для генерации ИК сцен: источники [7], модуляторы, преобразователи и приемники излучения. Для создания неохлаждаемых матричных терагерцовых преобразователей предложено использовать гибридную конструкцию, состоящую из оптоакустической фотоприемной матрицы и сопряженного с ней кристалла–мультиплексора такой же размерности [8, 9]. За счет применения автоэмиссионных катодов предложено расширить длинноволновую границу спектральной чувствительности электронно–оптических преобразователей с одновременным повышением его чувствительности. Разработана конструкция такого преобразователя (рис. 2.19), рассмотрены режимы работы и проведены оценки чувствительности и спектрального диапазона [10].

Проведен анализ экспериментов по исследованию динамики обратимого температурно–инициированного фазового перехода «металл–диэлектрик» в диоксиде ванадия, приводящего к появлению аномальных физических явлений в материале. Такой фазовый переход сопровождается аномально большими и быстрыми изменениями электрических, оптических, тепловых и магнитных свойств материала, что может быть эффективно использовано в специальном инфракрасном приборостроении [11].



**Рис. 2.19.** Конструкция электронно-оптического преобразователя с автоэмиссионным фотокатодом

*Оптимальный по времени поиск случайных импульсно–точечных объектов с использованием нескольких приемных устройств*

С применением средств нелинейного программирования для многоприемных поисковых систем построены оптимальные по времени алгоритмы обнаружения и локализации неизвестных импульсно–точечных ис-

точников. Рассчитаны и систематизированы параметры оптимального поиска в зависимости от количества приемных устройств и требуемой точности локализации. Для случая предельно высоких требований к точности локализации рассчитаны параметры асимптотически оптимальных поисковых процедур. Результаты проведенных исследований отражены в публикациях [12–15] и представлены на научных конференциях.

### Публикации:

1. Борзов С.М., Гурьянов М.А., Потатуркин О.И. Исследование эффективности классификации трудноразличимых типов растительности по гиперспектральным изображениям // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 3. – С. 464–473. – DOI 10.18287/2412-6179-2019-43-3-464-473.
2. Громилин Г.И., Косых В.П., Попов С.А., Стрельцов В.А. Подавление фона с резкими перепадами яркости в последовательности изображений динамических малоразмерных объектов // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 3–12. – DOI 10.15372/AUT20190301.
3. Шакинов А.К. Обнаружение объектов на пространственно–неоднородных фонах с использованием нейронных сетей // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 64–69. – DOI 10.15372/AUT20190608.
4. Лихачев А.В. Модифицированный метод обнаружения мелких структур на зашумлённых изображениях // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 55–63. – DOI 10.15372/AUT20190607.
5. Likhachev A.V., Kiychenko T.S., Likhachev N.A. Regularizing method for the analysis of CT images of welded joints of pipelines // IOP Conference series: Materials science and engineering. – 2019. – Vol. 681. – СТ. 012027. – DOI 10.1088/1757-99X/681/1/012027.
6. Нежевенко Е.С. Нейросетевая классификация трудноразличимых типов растительности по гиперспектральным признакам // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 62–70. – DOI 10.15372/AUT20190308.
7. Гибин И.С., Козик В.И., Нежевенко Е.С. Источники излучения для проекторов инфракрасных сцен // Прикладная физика. – 2019. – № 2. – С. 67–73.
8. Гибин И.С., Котляр П.Е. Неохлаждаемые матричные терагерцовые преобразователи изображений. Принципы конструирования // Прикладная физика. – 2019. – № 4. – С. 80–86.
9. Высокоточный матричный приёмник инфракрасного и терагерцового излучения: пат. 2682556 Рос. Федерация на изобретение. Гибин И.С., Котляр П.Е.; опубл. 19.03.2019 Бюл. № 8. 1 с.
10. Гибин И.С., Котляр П.Е. Электронно–оптический преобразователь изображения с автоэмиссионным фотокатодом // Прикладная физика. – 2019. – № 3. – С. 31–38.
11. Гибин И.С., Котляр П.Е. Экспериментальная динамика температурно–инициированного фазового перехода «металл–диэлектрик» в диоксиде ванадия // Прикладная физика. – 2019. – № 5. – С. 44–53.
12. Reznik A.L., Tuzikov A.V., Soloviev A.A., Torgov A.V., Kovalev V.A. Time–optimal algorithms focused on the search for random pulsed–point sources // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 4. – С. 605–610. – DOI 10.18287/2412-6179-2019-43-4-605-610.
13. Резник А.Л., Соловьев А.А., Торгов А.В. Многоэтапные алгоритмы локализации случайного импульсного источника с двухступенчатой плотностью вероятности распределения на интервале поиска // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 4. – С. 99–107. – DOI 10.15372/AUT20190411.
14. Reznik A.L., Soloviev A.A., Torgov A.V. Optimal search parameters for a random pulsed–point source with the required accuracy // International journal of innovative technology and exploring engineering. – 2019. – Vol. 9, is. 1. – P. 2340–2344. – DOI 10.35940/ijitee.A4982.119119.

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

**Проект IV.36.1.3. Модели, методы и технологии управления и моделирования для сложных динамических процессов. Автоматизированные системы управления научно–исследовательскими и технологическими комплексами**

№ гос. рег. АААА–А17–117060610006–6. № темы 0319–2018–0009.

Исполнители проекта:

**Лаборатория нечётких технологий**

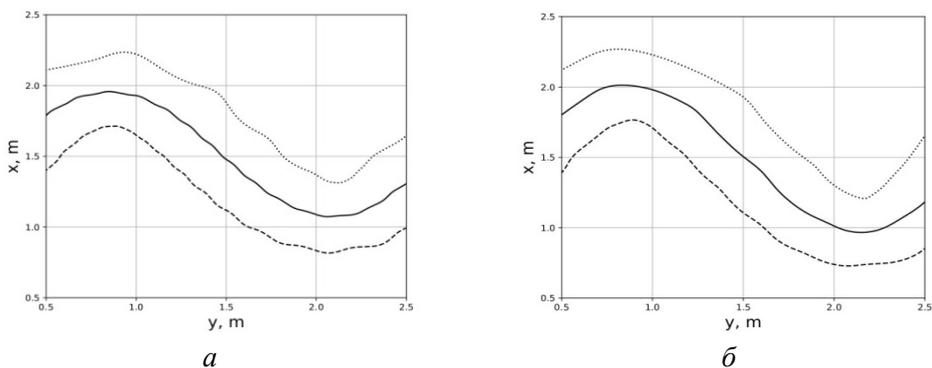
**Лаборатория интегрированных информационных систем управления**

**Лаборатория киберфизических систем**

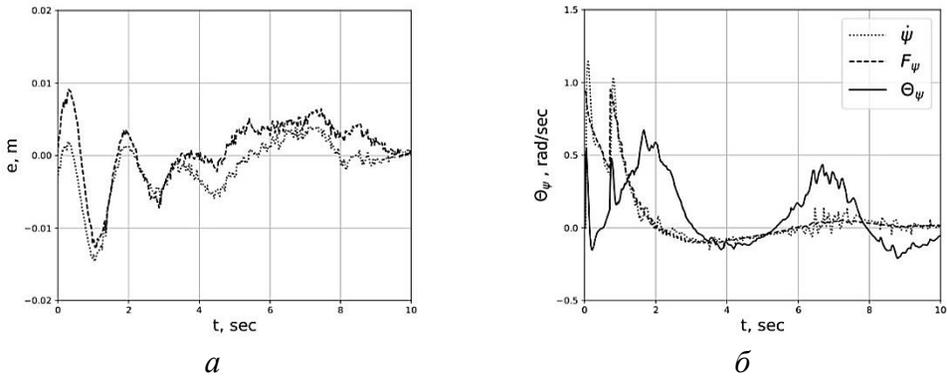
**Тематическая группа автоматизации измерительных технологий**

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

Предложен метод управления движением группы роботов заданным строем по программной траектории при возмущениях и заранее неизвестных динамических характеристиках. Использование внутреннего быстрого контура коррекции позволило компенсировать действия возмущений и обеспечить заданные динамические характеристики по каналам управления для каждого робота в составе группы, что уменьшило отклонение роботов от желаемой позиции относительно лидера при совместном движении по заданной траектории. Представлена структура системы управления группой роботов на базе Robot Operating System, которая позволяет разделить функции управления между отдельными программами и изменять функциональность системы путем комбинирования различных модулей, включая моделирование, навигацию, построение карты местности, техническое зрение. Численный эксперимент (рис. 2.20–2.21) показал возможность обеспечить величину отклонения робота от заданной позиции менее 0,01 м для рассмотренного типа возмущений [1–3].



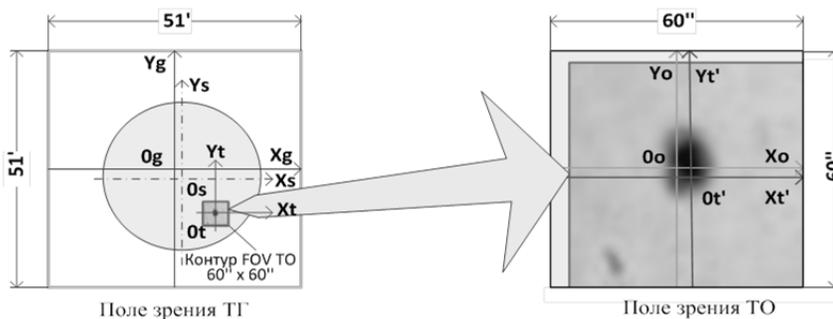
**Рис. 2.20.** Траектория движения группы роботов: *a* – при отсутствии; *б* – наличии настраиваемого параметра  $\Theta_i$  в законе управления



**Рис. 2.21:** *a* – отклонение роботов от заданной позиции относительно лидера; *б* – сравнение реальных и желаемых значений старших производных курсового угла и изменение настраиваемого параметра регулятора

Произведено обоснование выбора основных положений по созданию  $\varphi$ -координаты базовой платформы для перспективного технологического оборудования, ориентированного для синтеза/контроля элементов фотоники. Выполнено моделирование процесса появления паразитного поля скоростей движения поверхности фоточувствительного материала, возникающего при наличии дисбаланса ротора аэростатического подшипника и искажающего топологию формируемых оптических структур. Предложены технические решения, обеспечивающие максимальное подавление биений апекса ротора и его влияние на качество записи/контроля структур [4–6, 8, 9].

Для наведения солнечного телескопа высокого пространственного разрешения предложено использовать телескоп гидрирования (ТГ) обеспечивающий наблюдение диска Солнца, фотосферы, хромосферы и областей внутренней короны. Проведен анализ процесса наведения в режимах активного, пассивного и выключенного гидрирования, определены границы областей гидрирования и указания целей (рис. 2.22). Предложены: процедура обзора окосолнечного пространства для поиска целей, выходящих за пределы поля зрения ТГ, структурная схема процесса наведения [7].



**Рис. 2.22.** Указание цели основного телескопа с помощью телескопа гидрирования

Предложен вычислительный метод для определения реакции микроконтроллерной встраиваемой системы на внешнее событие, реализующий ранее разработанную модель расширенного гиперпроцесса. Метод допускает унифицированную спецификацию обработки прерывания как от внешних сигналов, так и от периферийных устройств микроконтроллера средствами процесс-ориентированного программирования. Разработана версия языка программирования IndustrialC, который расширяет языки Си и Reflex конструкциями для спецификации предложенного вычислительного метода для микроконтроллерных платформ серии AVR. Проведена успешная технологическая апробация на проектах по созданию гаммы микроконтроллерных встраиваемых систем.

Проведены стендовые испытания моделей устройства НТТР-фильтрации на компьютерной платформе Gridex-1, построенных как по стандартной схеме, так и с разделением функций между промышленным компьютером и программируемым коммутатором. Имитировалась работа информационной web-системы, в которой происходят множественные обращения клиентов к серверу с прохождением через фильтрующее устройство. По результатам испытаний выяснилось, что время ожидания ответа от Web-сервера сокращается до 2 раз в линейной части графика (рис. 2.23), когда устройство не перегружено, а пропускная способность увеличивается до 1,4 раз при использовании улучшенного алгоритма и его аппаратной поддержки [10–12].

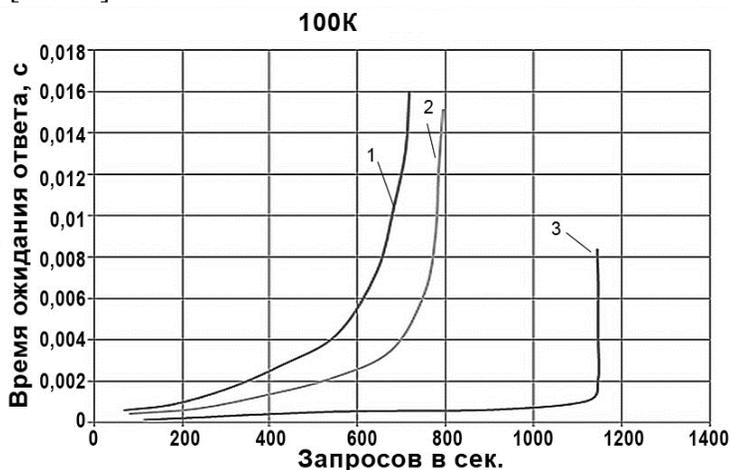
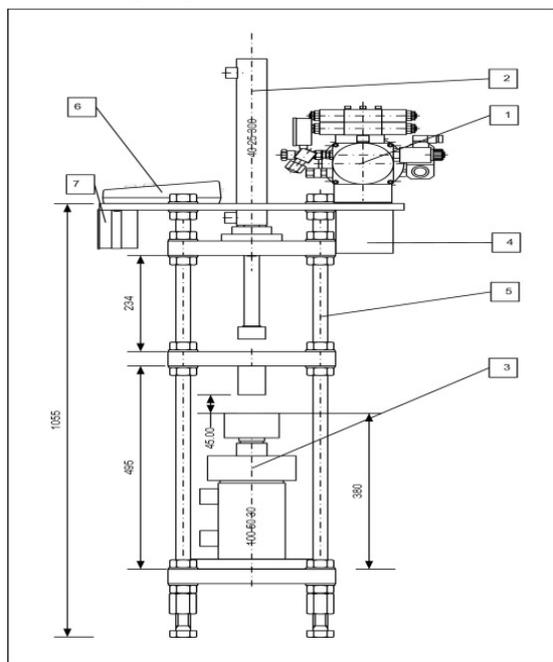


Рис. 2.23. Результаты испытаний в форме графиков зависимости времени ожидания ответа web-сервера от интенсивности посылаемых запросов в секунду при размере ответа 100Кб: 1 – фильтр в стандартном режиме, 2 - фильтр в режиме пост-анализа, в паре с программируемым коммутатором микротик, 3 – фильтр в системе отсутствует

Представлены разработка и исследование экспериментальной автоматизированной установки для высокотемпературного прессования с гибридным нагревом и под воздействием электрического поля, а также разработка комбинированного холодного пресса. Испытания выявили нелинейный рост сопротивления подводящих электродов и пуансонов в про-

цессе прямого нагрева, что требует значительного увеличения мощности источника питания. Это, в свою очередь, налагает требования по изменению конструкции камеры и пресса в целом, применяемых методов изоляции и мероприятий по обеспечению безопасности. В процессе спекания



**Рис. 2.24.** Общий вид комбинированного холодного пресса

оксида алюминия в керамической форме влияния приложенного электрического поля на динамику спекания не обнаружено. Разработана конструкторская и эксплуатационная документация на комбинированный холодный пресс, представляющий собой комбинацию из двух прессов: один длинноходовой (ход штока 300 мм) с усилием 2,5 т, другой короткоходовой (ход штока 30 мм) с усилием свыше 15 т. Подобраны комплектующие и определены поставщики покупных изделий. Комбинированный холодный пресс (рис. 2.24) предназначен для использования в научно-исследовательских лабораториях и мелкосерийном производстве [13].

### Публикации:

1. Белоконь С.А., Деришев Д.С., Золотухин Ю.Н., Нестеров А.А., Филиппов М.Н. Управление движением гибридного летательного аппарата в переходных режимах // *Автометрия*. – 2019. – Т. 55, № 4. – С. 37–48. – DOI 10.15372/AUT20190404.
2. Белоконь С.А., Деришев Д.С., Золотухин Ю.Н., Ян А.П. Моделирование движения гибридного летательного аппарата // *Автометрия*. – 2019. – Т. 55, № 4. – С. 49–56. – DOI 10.15372/AUT20190405.
3. Золотухин Ю.Н., Мальцев А.С., Филиппов М.Н., Котов К.Ю., Димова А.С. Адаптивное управление движением группы роботов по заданной траектории // *Автометрия*. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 3–10. – DOI 10.15372/AUT20190601.
4. Кирьянов А.В., Кирьянов В.П., Чуканов В.В. Алгоритмы интерполяции квадратурных сигналов для высокоразрешающих преобразователей линейных и угловых перемещений // *Автометрия*. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 64–71. – DOI 10.15372/AUT20190109.
5. Кирьянов А.В., Кирьянов В.П. Метод компенсации искажений траекторий относительного движения записывающего луча в лазерных генераторах изображений с круговым сканированием // *Автометрия*. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 94–102. – DOI 10.15372/AUT20190311.
6. Кирьянов А.В., Зотов А.А., Каракоцкий А.Г., Кирьянов В.П., Петухов А.Д., Чуканов В.В. Оперативный контроль оптических прецизионных углоизмерительных структур // *Оптический журнал*. – 2019. – Т. 86, № 9. – С. 60–62. – DOI 10.17586/1023-5086-2019-86-09-60-62.

7. Лубков А.А., Попов Ю.А. Современные солнечные телескопы наземного базирования и требования к системам их автоматизации // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 111–128. – DOI 10.15372/AUT20190114.
8. Способ регистрации фазы квадратурных сигналов: пат. 2692965 Рос. Федерация на изобретение. Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Нагорников Г.И., Чуканов В.В.; опубл. 28.06.2019 Бюл. № 19. 1 с.
9. Способ повышения точности синтеза топологии элементов: пат. 2675077 Рос. Федерация на изобретение. Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Нагорников Г.И.; опубл. 14.12.2018, Бюл. № 35. 2 с.
10. Розов А.С., Зюбин В.Е. Адаптация процесс–ориентированного подхода к разработке встраиваемых микроконтроллерных систем // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 114–122. – DOI 10.15372/AUT20190212.
11. Anureev I., Garanina N., Liakh T.V., Rozov A.S., Schulte H., Zyubin V.E. Towards safe cyber–physical systems: the reflex language and its transformational semantics // International Siberian conference on Control and communications (SIBCON): proceedings / Tomsk (April 18–20, 2019). – 2019. – СТ. 8729633. – DOI 10.1109/SIBCON.2019.8729633.
12. Budnikov K.I., Kurochkin A.V. Software simulation of the information web–system with regulation of access to Internet content // 12th A.P. Ershov informatics conference (PSI 19): preliminary proceedings / Novosibirsk (July 2–5, 2019). – 2019. P. 95–102.
13. Крутский Ю.Л., Непочатов Ю.К., Пель А.Н., Сковородин И.Н., Дюкова К.Д., Крутская Т.М., Кучумова И.Д., Матц О.Э., Тюрин А.Г., Эмурлаева Ю.Ю., Подрябинкин С.И. Синтез полидисперсного карбида бора и получение керамики на его основе // Журнал прикладной химии. – 2019. – Т. 92, № 6. – С. 719–727. – DOI 10.1134/S0044461819060045.

**Проект IV.36.1.4. Исследование и развитие методов и технологий построения интегрированных программно–аппаратных комплексов для задач моделирования и управления динамическими системами обработки и отображения данных.**

**№ гос. рег. АААА–А17–117062110016–4. № темы 0319–2018–0010.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория программных систем машинной графики  
Тематическая группа магистрально–модульных систем  
Лаборатория синтезирующих систем визуализации**

**Научный руководитель д.ф.–м.н. Лаврентьев М.М.**

*Анализ существующих подходов для осуществления контроля за качеством видеоматериалов и анализа возникающих вследствие компрессии/декомпрессии искажений. Анализ и выбор подхода для создания автономного вычислительного устройства для анализа качества видеоматериалов и анализа искажений, возникающих вследствие компрессии/декомпрессии*

Для анализа качества видеоматериалов и возникающих вследствие компрессии/декомпрессии искажений при телевизионном вещании разработаны алгоритмы, архитектурные и аппаратные решения автономного вычислительного устройства, реализующего рекомендации Международного Союза Электросвязи (МСЭ) МСЭ–R ВТ.1907 – «Методы объективно-

го измерения воспринимаемого качества изображения для радиовещательных применений с использованием ТВЧ при наличии полного эталонного сигнала» [1]. В качестве процессора для анализа ТВ – изображений в темпе поступления данных используется вычислительная платформа FPGA Xilinx Zynq 7000. Данная платформа представляет собой ARM SoC (Processing System, PS), совмещенный на одном кристалле с программируемой логикой FPGA (Field–Programmable Gate Array), что позволяет совместить высокопроизводительную потоковую обработку на FPGA с высокоуровневым функционалом ARM SoC, включающем окончательную интегральную оценку изображений, сетевое общение, устройства отображения и управления. Анализатор состоит из трёх модулей, обеспечивающих анализ качества изображения по трем признакам соответственно. Это признак локального сходства и различия (simple), признак глобального пространственного ухудшения – блочность (blockiness), признак глобального временного ухудшения (jerkiness). По данным признакам определяется итоговая интегральная оценка качества изображения.

Особенностью реализованных алгоритмов является активное использование чисел с плавающей запятой одинарной точности (single–precision floating point) и доступ к внешней памяти через локальный интерконнект. Каждый модуль иницируется по сигналу поступления нового кадра и функционирует независимо от других. Анализаторы вычисляют характеристики за меньшее время, чем интервал между кадрами, что обеспечивает гарантированную работу в темпе поступления данных. Программное обеспечение для центрального процессора Zynq работает под управлением Linux (Yocto Linux). Ядро Linux содержит стандартные драйверы для поддержки клавиатуры, DMA и Ethernet, а также предоставляет интерфейс пользовательского приложения к CSR и контроллеру дисплея. Для реализации передачи характеристик в режиме DMA в пользовательское приложение разработан специализированный драйвер операционной системы.

На базе платформы FPGA Xilinx Zynq 7000 и предложенных технологических решений для высокопроизводительной потоковой обработки видеосигналов разработано малогабаритное программно–аппаратное вычислительное устройство для непрерывного сравнительного анализа качества телевизионного изображения в разных точках цепи передачи сигнала согласно методам Рекомендации МСЭ–R BT.1907. Опытный образец устройства используется в ФГУП «Российская телевизионная и радиовещательная сеть» (РТРС) для практического применения.

*Исследование методов формирования виртуального информационного пространства в задачах дистанционного управления летательным аппаратом в закрытой кабине.*

Необходимость обеспечения защиты летчика от внешних угроз, обеспечения ситуационной осведомленности и отображения информации из разных источников и в разных форматах делают актуальной и значимой

задачу построения «закрытой» кабины, находящейся как внутри летательного аппарата, так и стационарно на земле или внутри другого летательного аппарата, летящего на безопасном удалении при дистанционном управлении. Окружающая обстановка внутри закрытой кабины должна воссоздаваться в виртуальной форме синтезирующей системой визуализации на основе информационных баз данных и информации от бортовых систем летательного аппарата.

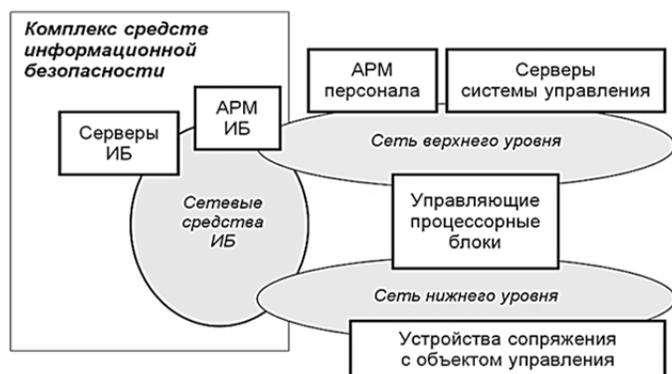
Традиционный способ имитации внешней визуальной обстановки пилота с помощью синтезирующих систем визуализации обладает рядом ограничений, связанных с дискретностью изображений, производительностью видео ускорителей, традиционно применяемых алгоритмов визуализации. Проведено исследование основных технологических проблем, характерных при формировании виртуального информационного пространства в задачах дистанционного управления летательным аппаратом в закрытой кабине. Показано, что, несмотря на бурное развитие технологий создания наголовных дисплеев с системами локализации и позиционирования и связанное с этим совершенствование программно-аппаратных решений для отображения трехмерных виртуальных сцен, эти технологии не могут быть непосредственно использованы для построения виртуального информационного пространства пилота во всех режимах полета и в любой летной ситуации. Современный технологический уровень позволяет эффективно создавать виртуальное пространство пилота для конкретных сценариев полета и для определенных типов летательных аппаратов. Возможно также создание испытательных стендов для исследования перспективных методов построения информационных пространств, основанных не на детальном копировании реальной визуальной обстановки, а на формировании специализированной (возможно упрощенной) виртуальной среды, достаточной для ориентирования пилота в фоноцелевой обстановке и без информационных перегрузок.

*Исследование на макете возможностей отказоустойчивой доверенной системы контроля и управления с виртуальными контроллерами. Уточнение требований к макету системы*

Исследованы на макете отказоустойчивой доверенной системы контроля и управления с виртуальными контроллерами возможности и особенности практического применения систем такого класса и уточнены требования к макету системы. Критически важным требованием к современным доверенным системам управления является обеспечение их функционирования в реальном времени в условиях применения комплекса средств информационной безопасности. Это направление до сих пор недостаточно исследовано. Изучение особенностей функционирования в промышленных условиях макета доверенной системы управления реального времени с интегрированным комплексом средств информационной безопасности позволило существенно продвинуться в понимании принципов организации таких систем и особенностей их применения, что позволило уточнить

требования к макету для дальнейших исследований и усовершенствования технологических решений.

В ходе исследования и доработки макета системы, в которую интегрированы средства обеспечения информационной безопасности без нарушения функционирования процессов управления в условиях его эксплуатации на реальном промышленном объекте, была выполнена проверка принципиального решения по реализации системы контроля трафика, возникающего при обмене сигналами внутри доверенной системы управления реального времени. Предложенное решение по организации системы (рис. 2.25) прошло практическую апробацию на макете, который эксплуатировался и дорабатывался на реальном объекте – багерной насосной станции Новосибирской ТЭЦ–5 и является перспективным.



**Рис. 2.25.** Организация доверенной системы управления реального времени с виртуальными контроллерами

*Разработка редактора мультимедийных данных для обучающих систем. Анализ и разработка методов оптимальной цветокоррекции входных и выходных видеосигналов при отображении мультимедийных данных. Разработка методов функционально–воксельного текстурирования поверхностей трехмерных сцен*

Для обучающих систем разработан редактор мультимедийных данных, предназначенный для формирования тематических сценарных проектов и соответствующих наборов разнородного мультимедийного контента. Редактор, реализованный на персональном компьютере, позволяет работать как в режиме интерактивного онлайн – управления (*online-management*) отображением мультимедийных данных в реальном времени, так и в режиме интерактивного оффлайн – создания (*offline-creation*) наборов тематических мультимедийных данных для демонстрационно–обучающего проекта, включающего сценарные элементы управления и параметры обработки и отображения. Отличительная особенность редактора – это программная реализация процесса интерактивного совмещения и формирования сценарной конфигурации в тематическом проекте объектов 3D-сцен, тексто-графического оформления и традиционных аудио- и видеоматериалов с одновременной визуализацией интегрированного видеоконтента мультимедийных данных в реальном масштабе времени. 3D-сцены могут включать объекты, заданные функциями возмущения и мас-

сивами скалярных данных (например, данные томографии), для визуализации которых разработан эффективный метод 3D–текстурирования [2, 3]. Разработаны программно-алгоритмические средства для выполнения специальных функций интерактивного создания и одновременной качественной визуализацией тематического сформированного видеоконтента разнородных мультимедийных данных в реальном масштабе времени с точной временной синхронизацией событий и потоковых мультимедийных данных, что является особенно актуальным в системах реального времени.

Программные средства редактора, установленные на персональном компьютере, обеспечивают интерактивное многофункциональное создание и отображение в реальном масштабе времени высокоинформативных тематических материалов, используя широкий спектр входных данных. Это повышает эффективность обучающих систем в конкретных приложениях (компьютерные тренажеры, учебно-методические материалы очного и дистанционного обучения, в медицинских приложениях, видеопроизводство, выставки, интерактивные презентации и др.). Предложенная реализация редактора обеспечивает простую процедуру реконфигурирования и адаптации для конкретных задач, использующих широкий спектр потоковых мультимедийных данных в обучающих системах. Для управления формированием и отображением видеоматериалов тематических проектов разработан графический пользовательский интерфейс (рис. 2.26).



Рис. 2.26. Графический пользовательский интерфейс редактора

### Публикации:

1. Лысаков К.Ф., Облаухов К.К., Шадрин М.Ю. Реализация на базе FPGA алгоритмов выявления искажений изображения в результате компрессии // в печати
2. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Комбинированный метод визуализации функционально заданных поверхностей и трёхмерных структур // Автотметрия. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 81–91. – DOI 10.15372/AUT20190209.
3. Вяткин С.И. Рейкастинг трехмерных текстур и функционально заданных поверхностей с применением графических ускорителей // Программные системы и вычислительные методы. – 2019. – № 2. – С. 23–32. – DOI 10.7256/2454-0714.2019.2.28666.

**Проект II.10.2.4. Разработка физических основ работы сенсорных систем на основе элементов волоконной и интегральной оптики.  
№ гос.рег. АААА-А19-119112990054-4. № темы 0254-2019-0001.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория оптических сенсорных систем**

Научный руководитель: **профессор РАН, д.ф-м.н. Каблуков С.И.**

*Исследование эффектов насыщения усиления в оптических волокнах, легированных ионами неодима и иттербия*

Установлено, что насыщение спектра в иттербиевом волоконном усилителе имеет однородный характер, а неодимового – пограничный характер между однородным и неоднородным [1]. В последнем случае однородная ширина порядка 4-6 нм. Кроме того, установлено, что для получения широкополосной перестройки длины волны в волоконном лазере с самоиндуцированным сканированием использование иттербиевой активной среды является более перспективным по сравнению с неодимовой.

*Разработка и исследование источника лазерного излучения с широкой областью перестройки для сенсорных задач*

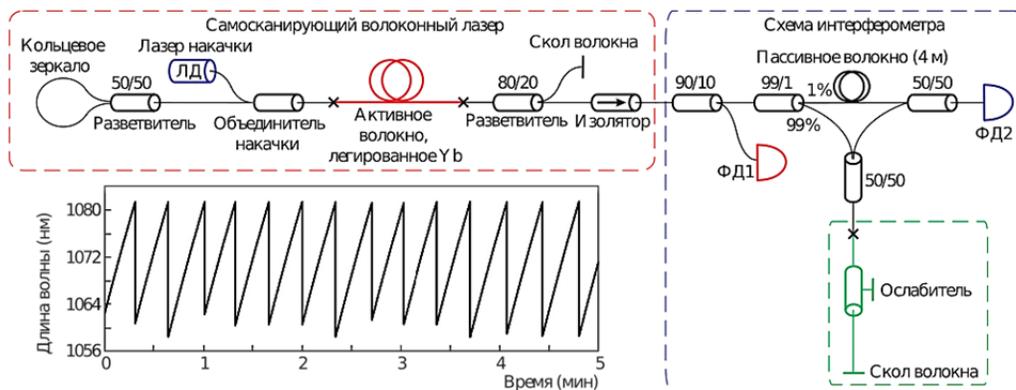
Предложен метод получения узкополосной генерации (ширина линии 20 МГц) с перестройкой длины волны в широком спектральном диапазоне (42 нм), основанный на комбинации широкополосной перестройки волоконно-оптического фильтра Лио и узкополосной генерации за счет динамических решеток в лазере с самосканированием длины волны. Разработанный источник может быть применен для опроса волоконно-оптических датчиков на основе волоконных брэгговских решеток или для оптической частотной рефлектометрии [2].

*Исследование возможности применения и оптимизация характеристик лазера с самосканированием частоты для сенсорных задач по частотной рефлектометрии*

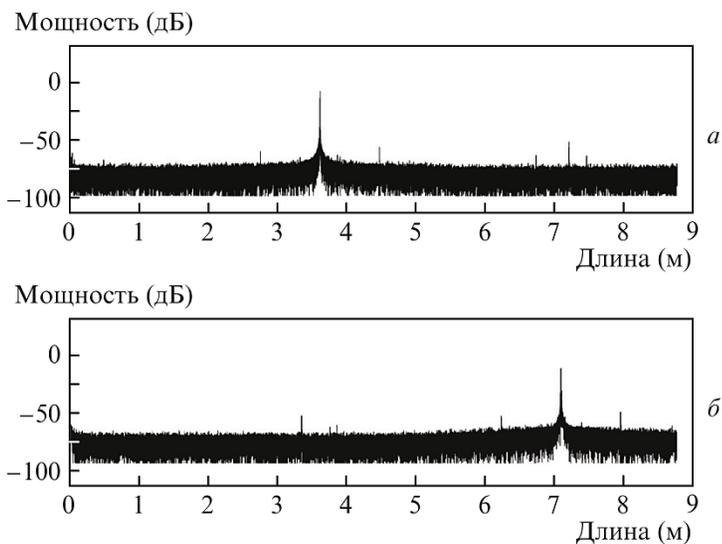
Экспериментально продемонстрирована возможность применения волоконного иттербиевого лазера с самосканированием длины волны для оптической частотной рефлектометрии. Для этого была проведена оптимизация лазера с самосканированием частоты. Перестройка частоты генерации в этом лазере выполняется без активно перестраиваемых элементов. Важной особенностью схемы разработанного рефлектометра является отсутствие триггерного интерферометра из-за дискретности перестройки частоты в используемом лазерном источнике.

Схема (Рис. 2.27) была опробована на волоконной линии, состоящей из волоконного ослабителя и отрезка волокна с френелевским отражением на свободном выходном торце. Примеры измеренных рефлектограмм для длин отрезка волокна 3.6 и 7.1 м показаны на Рис. 2.28, а и б соответственно. Реализованная схема демонстрирует возможность работы рефлектометра с тестовыми линиями длиной около 9 метров с пространственной

дискретизацией на уровне  $\sim 200$  мкм и чувствительностью до  $\sim -80$  дБ. Ограничение по длине в рефлектограмме связано с величиной межмодового интервала используемого лазера с самосканированием частоты и может быть ослаблено при последующем уменьшении межмодового расстояния [3-4].



**Рис. 2.27.** Схема оптического частотного рефлектометра на основе волоконного лазера с самосканированием частоты и его характерная спектральная динамика (вставка)



**Рис. 2.28.** Пример рефлектограмм для линии длиной: а - 3.6 м и б - 7.1 м

*Спектрометр на основе волоконного лазера с самосканированием частоты для измерения отношения орто/пара спиновых изомеров воды*

Продемонстрирован инфракрасный спектрометр на основе волоконного самосканирующего лазера с диапазоном сканирования 1905-1918 нм. Спектрометр опробован для измерения орто/пара отношения спиновых изомеров воды. Измеренная величина отношения изомеров при комнатной температуре составила  $3.06 \pm 0.02$ , что близко к теоретическому значению 3. Спектральное разрешение прибора составило порядка 10 МГц. Предлагаемый спектрометр обладает рядом преимуществ по сравнению с другими

методами измерения орто/пара отношения. В частности, большой диапазон сканирования позволяет использовать для анализа большое количество линий поглощения, что увеличивает точность измерения [5].

По результатам работ 2019 г. опубликовано 2 и принята к печати 1 статья в изданиях, индексируемых в базе Scopus, опубликовано 2 статьи в материалах конференций (РИНЦ).

#### **Публикации:**

1. Содной А.Б., Лобач И.А., Каблук С.И. Выжигание дыр в спектре неодимового волоконного усилителя // Фотон-экспресс. – С. 390–391. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16204.
2. Drobyshev R.V., Lobach I.A., Kablukov S.I. Narrow–linewidth self–sweeping fiber laser with scanning range control by a tunable Lyot filter // Laser physics. – 2019. – Vol. 29, № 10. – P. 105104 (5 p.). – DOI 10.1088/1555–6611/ab3eb3.
3. Ткаченко А.Ю., Лобач И.А., Каблук С.И. Когерентный оптический частотный рефлектометр на основе волоконного лазера с самосканированием частоты // Квантовая электроника. – 2019. – Т. 49, № 12. – С. 1121–1126. – DOI: 10.1070/QEL17165.
4. Ткаченко А.Ю., Лобач И.А., Каблук С.И. Оптический частотный рефлектометр на основе самосканирующего волоконного лазера // Фотон-экспресс. – 2019. – № 6. – С. 44–45. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16017.
5. Budarnykh A.E. Lobach I.A. Kablukov S.I. Chapovsky P.L. Budarnykh A.E. Lobach I.A. Kablukov S.I. Chapovsky P.L. Detection of nuclear spin iso-mers of water molecules using self-scanning Tm-doped fiber laser, accepted to Laser Physics Letters.

### **Проект IV.36.1.3. Разработка теоретической базы и инструментальных средств проектирования для задач создания программного обеспечения киберфизических систем. Развитие методов повышения качества интеллектуальных систем и поведенческих алгоритмов.**

**№ гос.рег. АААА-А19-119120290056-0. № темы 0254-2019-0002.**

Исполнители проекта:

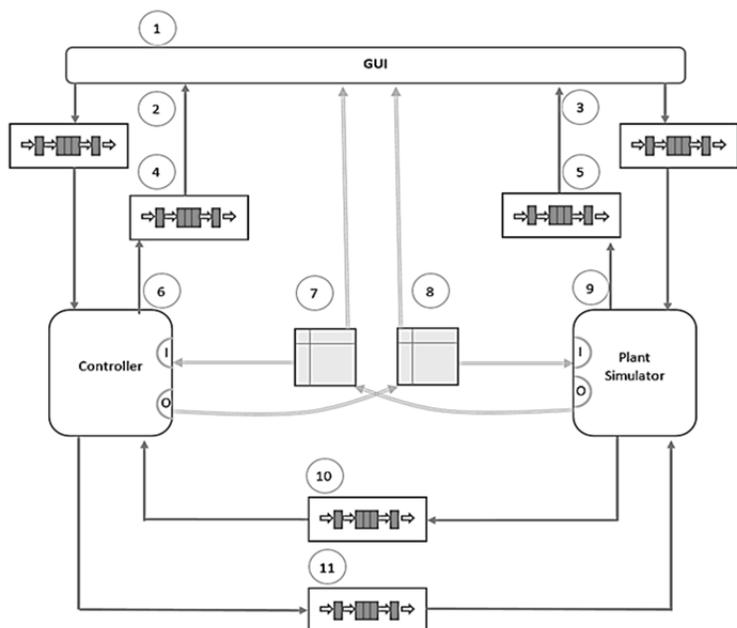
**Лаборатория киберфизических систем**

Научный руководитель: **д.т.н. Зюбин В.Е.**

#### *Разработка архитектуры системы динамической верификации Reflex-программ*

Разработана четырехкомпонентная архитектура системы динамической верификации Reflex-программ на симуляторах [1-3] (рис. 2.29). В отличие от автоматизированной верификации управление сценариями работы производится алгоритмическим блоком управления сценариями (БУС) (9), а контроль реакции алгоритма – алгоритмическим блоком верификации (БВ) (2). БУС через штатную очередь сообщений (8) посылает команды для АУ (4), имитируя действия оператора, а также управляет поведением ВОУ (7) через очередь сообщений (10). При этом ВОУ эмулирует как штатную работу объекта управления, так отказы его элементов. Параллельно БУС передает информацию о запускаемых сценариях в БВ через очередь сообщений (3). В свою очередь БВ на основании информации о

запускаемых сценариях, сообщений от АУ, передаваемых через буфер сообщений (1) и состояния буферов входных/выходных сигналов АУ (5, 6) определяет корректность АУ.



**Рис. 2.29.** Схема автоматической верификации алгоритмов управления:

1 – очередь выходных сообщений от АУ, 2 – блок верификации (БВ), 3 – очередь сообщений для БВ от блока управления сценариями (БУС), 4 – алгоритм управления (АУ), 5 – буфер входных сигналов АУ, 6 – буфер выходных сигналов АУ.

Используется для имитации выходных аналоговых сигналов (ЦАП), 7 – виртуальный объект управления (ВОУ), 8 – очередь сообщений для передачи штатных команд от БУС к АУ, 9 – блок управления сценариями (БУС), 10 – очередь сообщений от БУС к ВОУ, 11 – очередь сообщений от БВ к БУС

*Определение формальной семантики языка Reflex, ориентированной на дедуктивную верификацию*

Определены формальная операционная семантика языка Reflex и трансформационная семантика языка Reflex в язык Си [4-8], ориентированные на дедуктивную верификацию. Показано, что трансформационная семантика отображает программы на языке Reflex к подмножеству языка Си с формальной операционной и аксиоматической семантиками, для которого имеются методы дедуктивной верификации с использованием решателей условий корректности Z3 и ACL2.

*Исследование применимости методов онтологического проектирования для задач формальной спецификации реактивных систем*

Рассмотрены примеры формализации реактивных систем (на примере систем управления) методами, основанными на онтологии процессов, семантически-размеченной онтологии процессов и процесс-ориентированной онтологии шаблонов семантической разметки [9-13].

Показано, что онтология процессов специфицирует компактную универсальную модель процессов с возможностью определения формальной семантики как помеченной системы переходов. Эта семантика обеспечивает возможность применения формальных методов верификации, в частности, дедуктивную верификацию и проверку моделей. Вторая онтология обеспечивает возможность связывания абстрактных процессов и их элементов с понятиями предметной области (семантическую разметку) и описания новых предметно-ориентированных онтологических классов. Третья онтология задает ограничения на семантическую разметку экземпляров второй онтологии, конкретизируя понятия предметной области, связанные с этими экземплярами. Все три онтологии базируются на простых концепциях, которые могут быть использованы как онтологические шаблоны проектирования.

#### *Исследование нейросетевых решений для задачи выделения краев*

Проведено исследование фильтров для нейронов первого слоя, ориентированных на задачу выделения краев. Обучение нейросети с помощью алгоритма на базе косинусной меры показало существенно более худшие результаты по сравнению с алгоритмом обратного распространения ошибки. Определены оптимальные параметры функционирования нейронов первого слоя. Предложена архитектура нейронной сети, ориентированная на задачу выделения краев [14].

#### **Публикации:**

1. Лях Т.В., Зюбин В.Е., Гаранина Н.О. Автоматическая верификация алгоритмов управления в киберфизических системах на программных имитаторах // Автометрия, № 2. – С. 103–113. – DOI 10.15372/AUT20190211.
2. Liakh T.V., Rozov A.S., Zyubin V.E. LabVIEW-based automatic verification of process-oriented software // International Siberian conference on Control and communications (SIBCON): proceedings / Tomsk (April 18–20, 2019). – 2019. – СТ. 8729596. – DOI 10.1109/SIBCON.2019.8729596.
3. Liakh T.V., Anureev I.S., Garanina N.O., Rozov A.S., Zyubin V.E. Four-Component Model for Dynamic Verification of Process-Oriented Control Software for Cyber-Physical Systems // SibirCon 2019: proceedings / Novosibirsk (October 21–27, 2019). – 2019. – P. 466–471. – DOI 10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958127.
4. Anureev I., Garanina N., Liakh T.V., Rozov A.S., Schulte H., Zyubin V.E. Towards safe cyber-physical systems: the reflex language and its transformational semantics // International Siberian conference on Control and communications (SIBCON): proceedings / Tomsk (April 18–20, 2019). – 2019. – СТ. 8729633. – DOI 10.1109/SIBCON.2019.8729633.
5. Anureev I., Garanina N., Liakh T.V., Rozov A.S., Zyubin V.E., Gorlatch S. Two-step deductive verification of control software using Reflex // 12th A.P. Ershov informatics conference (PSI'19): preliminary proceedings / Novosibirsk (July 2–5, 2019). – 2019. P. 50–63. – DOI 10.1007/978-3-030-37487-7\_5.
6. In the book “Lecture notes in computer science. 12th International Andrei P. Ershov Informatics Conference PSI 2019, Novosibirsk, Russia, July 2–5, 2019, Revised Selected Papers” / edited by Bjørner N. et al. 2019. Vol. 11964: Anureev I., Garanina N., Liakh T.V., Rozov A.S., Zyubin V.E., Gorlatch S. Two-Step Deductive Verification of Control Software Using Reflex. P. 50–63. DOI 10.1007/978-3-030-37487-7\_5.
7. Anureev I.S. Operational semantics of Reflex = Операционная семантика языка Рефлекс // Системная информатика. – 2019. – № 14. – С. 1–10. – DOI 10.31144/si.2307–

6410.2019.n14.p1–10.

8. Ануреев И.С. Операционная семантика аннотированных Reflex программ // Моделирование и анализ информационных систем. – 2019. – Т. 26, № 4. – С. 475–487. – DOI 10.18255/1818–1015–2019–4–475–487.
9. Garanina N.O., Anureev I.S., Zyubin V.E. Constructing verification-oriented domain-specific process ontologies // Системная информатика. – 2019. – № 14. – С. 19–30. – DOI 10.31144/si.2307–6410.2019.n14.p19–30.
10. Гаранина Н.О., Ануреев И.С., Боровикова О.И., Зюбин В.Е. Методы специализации онтологии процессов, ориентированной на верификацию // Моделирование и анализ информационных систем. – 2019. – Т. 26, № 4. – С. 534–549. – DOI 10.18255/1818–1015–2019–4–534–549.
11. Garanina N.O., Anureev I.S., Sidorova E., Zyubin V.E., Gorlatch S. An ontology-based approach to support formal verification of concurrent systems // 8th International Symposium “From Data to Models and Back (DataMod)” / Porto, Portugal (October 7–8, 2019). – 2019. – CT. paper 4.
12. Staroletov S., Shilov N., Zyubin V.E., Liakh T.V., Rozov A.S., Konyukhov I., Shilov I., Baar T., Schulte H. Model-driven methods to design of reliable multiagent cyber-physical systems // CEUR Workshop Proceedings: Vol. 2478: Modeling and Analysis of Complex Systems and Processes Workshop (MACSPro) / Vienna, Austria (March 21–23, 2019). – 2019. – P. 74–91.
13. Garanina N.O., Anureev I.S., Borovikova O.I. Verification-oriented process ontology // Automatic control and computer sciences. – 2019. – Vol. 53, № 7. – P. 584–594. – DOI 10.3103/S0146411619070058.
14. Кугаевских А.В., Согрешилин А.А. Анализ эффективности выделения границ сегментов средствами нейронных сетей // Автметрия. – 2019. – Т. 55, № 4. – С. 118–128. – DOI 10.15372/AUT20190413.

### 3. ПРОЕКТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СО РАН 2019 г.

0319–2017–0011 П.10. Проект «Создание и применение пико- и фемтосекундных волоконных лазеров для биомедицинской диагностики методами нелинейной микроскопии». Блок: «Экспериментальная реализация пико- и фемтосекундных волоконных лазеров для биомедицинской диагностики».

Регистрационный номер: АААА–А18–118061490065–7.

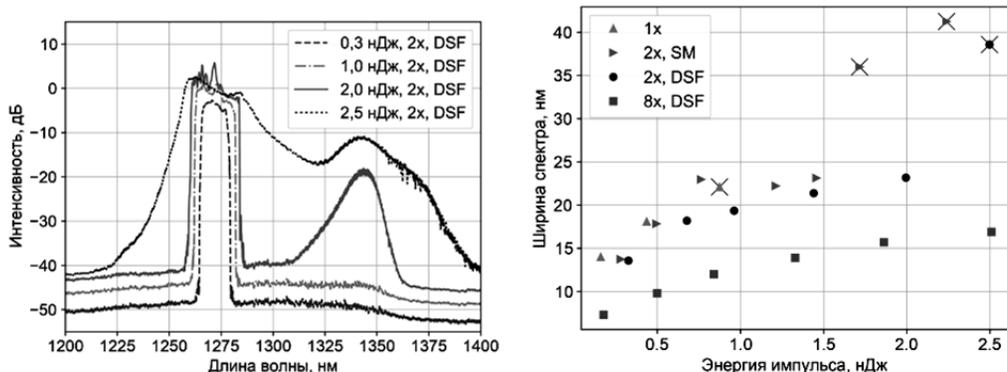
Исполнители блока проекта:

**Лаборатория волоконной оптики**

Руководитель блока проекта **к.ф.–м.н. Харенко Д.С.**

Руководитель проекта **чл.–корр. РАН Бабин С.А.**

Совместно с ИВТ СО РАН теоретически и экспериментально исследованы режимы гармонической генерации рамановских диссипативных солитонов (РДС) при вынужденном комбинационном рассеянии импульсов накачки во внешнем резонаторе с использованием фосфоросиликатного волокна, когда его длина кратно отличается от длины резонатора лазера накачки. Центральная длина волны генерируемых субпикосекундных импульсов составила 1,270 мкм, а их максимальная энергия была увеличена до 2,5 нДж (рис. 3.1). Максимальная ширина спектра РДС во всех конфигурациях не превышала 25 нм. Из результатов численного расчёта можно сделать вывод, что предельное значение составляет 35 нм, а энергия генерируемых импульсов может быть увеличена до 5 нДж [1, 2]. Также проведены расчеты и эксперименты с целью получения генерации в областях 0,8 и 1,6 мкм [3–5].



**Рис. 3.1.** Эволюция оптического спектра с увеличением энергии генерируемого РДС (слева); Зависимость ширины оптического спектра (по уровню – 10 дБ) генерируемого импульса от его энергии (справа)

Совместно с ИХБиФМ СО РАН экспериментально установлено влияние инкубации препаратов *S. albicans* при 4° С на спектры комбинацион-

ного рассеяния света грибка и, соответственно, на химический состав клеток, что важно учитывать при проведении спектральных и микробиологических исследований [6].

### **Публикации:**

1. Kharenko D.S., Zhdanov I.S., Podivilov E.V., Babin S.A., Bednyakova A.E., Fedoruk M.P. Investigation of Raman Dissipative Solitons Generation in an External Phosphosilicate-Fiber Cavity // OSA Technical Digest. “Frontiers in Optics + Laser Science APS/DLS” / Washington DC, US (September 15–19, 2019). – 2019. – СТ. JW3A.110. – DOI 10.1364/FIO.2019.JW3A.110.
2. Харенко Д.С., Беднякова А.Е., Жданов И.С., Федорук М.П., Бабин С.А. Исследование особенностей ВКР–генерации диссипативных солитонов во внешнем резонаторе из фосфоросиликатного волокна // Фотон–экспресс. – 2019. – № 6. – С. 200–201. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16100.
3. Zhdanov I.S., Kharenko D.S., Bednyakova A.E., Fedoruk M.P., Turitsyn S.K., Babin S.A. 4–nJ erbium all–fiber hybrid highly chirped dissipative soliton oscillator // Conference on Lasers and Electro–Optics Europe – European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe–EQEC) / Munich, Germany (June 23–27, 2019). – 2019. – СТ. 8873124. – DOI 10.1109/CLEOE–EQEC.2019.8873124.
4. Evmenova E.A., Antropov A.A., Kharenko D.S., Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Babin S.A. Development of robust fiber laser source based on parametric frequency conversion for use in CARS microscopy // Proceedings SPIE: Vol. 11190: Optics in Health Care and Biomedical Optics IX. “SPIE/COS PHOTONICS ASIA” / Hangzhou, China (October 20–23, 2019). – 2019. – СТ. 111900I (5 p.). – DOI 10.1117/12.2537713.
5. Антропов А.А., Евменова Е.А., Харенко Д.С., Кузнецов А.Г., Каблуков С.И., Бабин С.А. Разработка волоконного источника для CARS // Фотон–экспресс. – 2019. – № 6. – С. 245–246. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16123.
6. Антропов А.А., Харенко Д.С., Рябчикова Е.И., Бардашева А.В., Ломзов А.А. Возможность исследования клеток гриба *Candida albicans* с помощью комбинационного рассеяния света // Прикладная фотоника. – 2019. – Т. 6, № 3–4. – С. 127–135. – DOI 10.15593/2411–4367/2019.3–4.01.

**0319–2017–0012 П.10. Проект «Разработка физико–технических принципов создания генератора тактовой частоты, устойчивого к сверхвысоким инерциальным перегрузкам». Блок: Разработка новых принципов функционирования генераторов частоты, функционирующих на высоких тактовых частотах и устойчивых к сверхвысоким инерциальным перегрузкам.**

Регистрационный номер: АААА–А18–118052590010–4.

Исполнители блока проекта:

**Лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур**

Руководитель проекта и блока: **д.ф.–м.н. Косцов Э.Г.**

Разработана новая конструкция электростатического генератора тактовой частоты. Отличительными моментами является использование нанометрового зазора и введение в межэлектродный зазор тонкой пленки кристаллического диэлектрика с высоким значением диэлектрической проницаемости. Сформулированы требования к структуре генератора.

Разработана методика создания нанометрового зазора между поверхностью подвижного электрода (ПЭ) и диэлектрика заданной протяженности, которая определяется амплитудой постоянного напряжения предварительно подаваемого к электродам указанной структуры и может составлять 5–200 нм.

Разработана и создана прецизионная методика бесконтактного измерения величины перемещения ПЭ под действием импульсов напряжения с разрешением до 1 нм, при чувствительности в исследуемой структуре до 100–200 нм/В. Основу оптико–электронной системы измерения перемещения ПЭ составляет гетеродинный лазерный интерферометр с акустооптическим модулятором лазерного излучения. Зарегистрирована амплитуда минимальных колебаний подвижного электрода в 3 нм. Гистерезис кривой местоположения ПЭ от амплитуды напряжения, находится в пределах обнаружительной способности и составляет несколько нм, при вариации прикладываемого напряжения до 15 В.

К важнейшему результату по проекту за 2019 год можно отнести обнаружение с помощью указанной методики субнанометровых колебания ПЭ при амплитуде напряжения 50 мВ.

#### **Публикации:**

1. Косцов Э.Г., Соколов А.А. Гигагерцовый MEMS–генератор тактовой частоты // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 61–69 – DOI 10.15372/AUT20190207.
2. Baginsky I.L., Kostsov E.G. Nanometer gap in electromechanical converters – a way to achieve an extremely high energy density // Micromachines. – 2019. – Vol. 10, № 11. – P. 746 (12 pp.). – DOI 10.3390/mi10110746

**0319–2017–0013 IV.36. Проект «Разработка цифровых технологий раннего обнаружения и локализации поражений посевов сельскохозяйственных культур». Блок: Автоматизация полетов, адаптивное управление летательными аппаратами. Выявление на последовательности мультиспектральных изображений малоразмерных очаговых изменений.**

Регистрационный номер: АААА–А18–118051890038–8

Исполнители блока проекта:

**Лаборатория нечётких технологий**

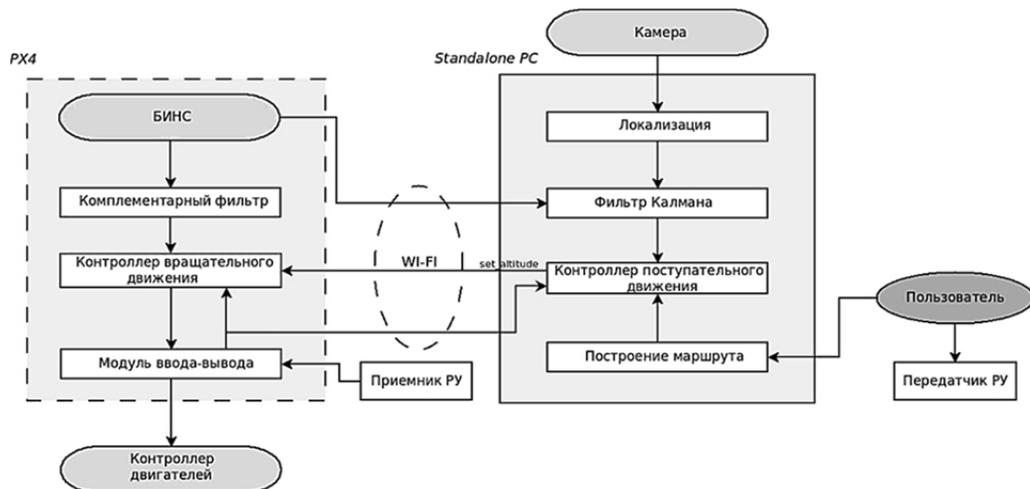
**Лаборатория цифровых методов обработки изображений**

**Лаборатория информационной оптики**

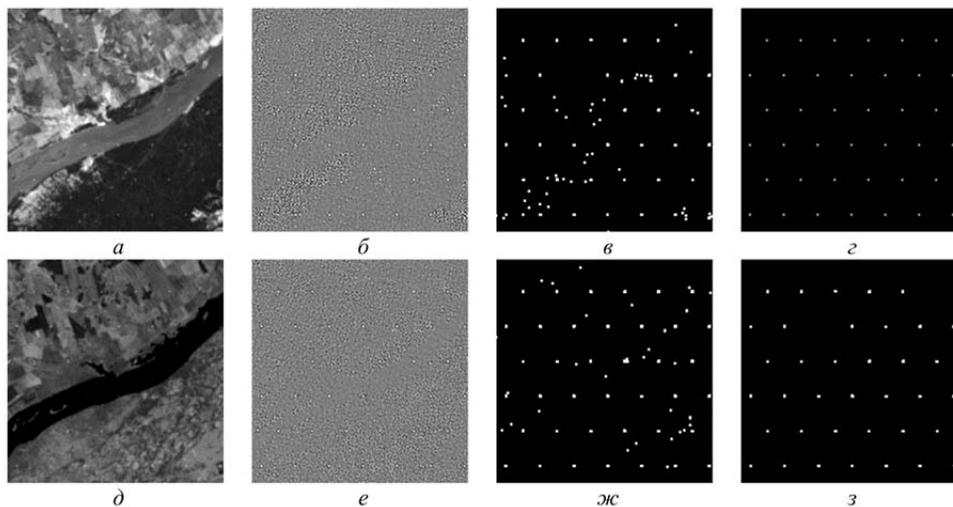
Руководитель блока проекта **к.т.н. Котов К.Ю.**

Разработан прототип системы управления траекторным движением мультироторного летательного аппарата (рис. 3.2). Предложенные методики синтеза нелинейных регуляторов использованы для решения задачи транспортировки мультироторным аппаратом полезного груза на подвесе [1]. Исследованы два способа построения двухцветной локальной модели фона в текущем кадре изображения в зависимости от пространственных характеристик предыдущего кадра последовательности (рис. 3.3). Показа-

но, что в области нарушения пространственной стационарности фона модель, основанная на оценивании локальной корреляционной функции, обеспечивает более точный прогноз, чем полиномиальная модель [2].

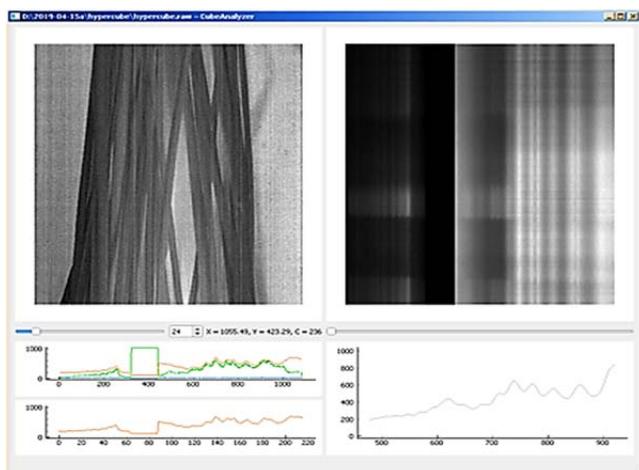


**Рис. 3.2.** Структурная схема системы управления движением мультироторного аппарата



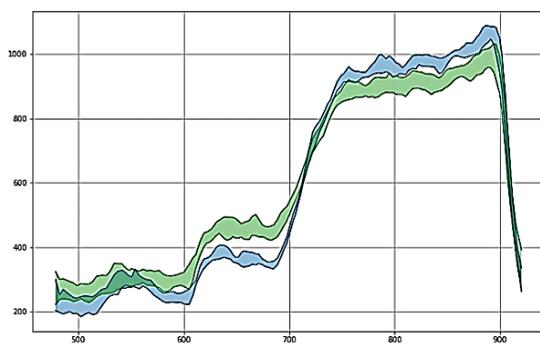
**Рис. 3.3.** Совместная обработка изображений

Разработана и создана сканирующая система мониторинга посевов сельскохозяйственных культур на основе гиперспектральной камеры [3]. Разработаны программно–алгоритмические средства (рис. 3.4), позволившие автоматизировать настройку системы сканирования. Результаты наземных измерений спектров отражения проростков здоровой и зараженной пшеницы (рис. 3.5) продемонстрировали перспективность авиационного и космического зондирования с целью мониторинга поражений посевов сельскохозяйственных культур [4].



**Рис. 3.4.** Графический интерфейс программы визуализации гиперкуба

**Рис. 3.5.** Спектр отражения пшеницы: синяя – здоровая растительность, зеленая – зараженная



### Публикации:

1. Димова А.С., Котов К.Ю., Мальцев А.С., Семенюк Е.Д., Соболев М.А. Управление траекторным движением квадрокоптера при транспортировке груза на подвесе: эксперимент // Вестник НГУ. Сер. Информационные технологии. – 2019. – Т. 17, № 4. – С. 46–56. – DOI 10.25205/1818–7900–2019–17–4–5–46–56.
2. Косых В.П., Громилин Г.И., Яковенко Н.С. Обнаружение малоразмерных объектов в двухцветных изображениях с пространственно–нестационарным фоном // Всероссийская конференция с международным участием (SDM–2019) «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов»: сборник трудов / Бердск (26–30 августа 2019). – 2019. – С. 284–287.
3. Дубровская О.А., Гурова Т.А., Пестунов И.А., Котов К.Ю. Обзор современных методов обнаружения болезней на посевах яровой пшеницы по данным дистанционного зондирования // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2018. – Т. 48, № 6. – С. 76–89. – DOI 10.26898/0370–8799–2018–6–11.
4. Гурова Т.А., Клименко Д.Н., Луговская О.С., Елкин О.В., Козик В.И. Спектральные характеристики сортов пшеницы при биотическом стрессе // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 10. – С. 71–75. – DOI 10.24411/0235–2451–2019–11016.

**0319–2017–0014 П.10.** Проект «Гибридные методы 3D наноструктурирования, новые наноматериалы и системы». Блок: Исследование и характеристика с помощью ИК и оптической спектроскопии микро- и наноматериалов.

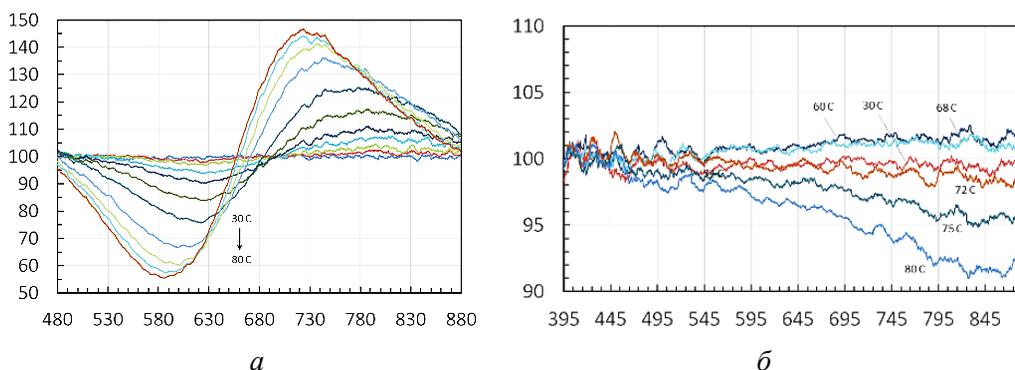
Регистрационный номер: АААА–А18–118052390021–2

Исполнитель блока проекта:

**Лаборатория физики лазеров**

Руководитель блока проекта: **к.ф.-м.н. Микерин С.Л.**

Выявлено, что методы оптической спектроскопии дают возможность различать состояния нанокристаллов диоксида ванадия, изменяющиеся под действием внешних факторов, а также качественно характеризовать состав кристаллических фаз. Так, показано, что немонотонный ход изменений оптического отражения и поглощения при нагреве, а также наличие граничной температуры вблизи  $70^{\circ}\text{C}$ , до которой спектры изменяются слабо, а после изменения быстро достигают  $\sim 50\%$  относительно спектров при комнатной температуре, соответствует высокому содержанию в образцах нанокристаллов в фазе, испытывающей переход металл–полупроводник (фаза М, см. рис. 3.6).



**Рис. 3.6:** *а* – кривые относительного изменения спектров отражения образцов пленок  $\text{VO}_2$  на сапфировой подложке с низким; *б* – высоким содержанием нанокристаллов в фазе М нагрев с  $30$  до  $80^{\circ}\text{C}$ . По вертикальной оси отложено отношение, выраженное в процентах, спектра при данной температуре к спектру при комнатной температуре

Полученные результаты важны для разработки методов характеристики нанокристаллов  $\text{VO}_2$ , актуальных для создания практически значимых динамически управляемых структур на их основе, таких как плавно перестраиваемые аттенюаторы излучения в различных спектральных диапазонах, переключателей линейно–поляризованного излучения, в том числе терагерцового диапазона.

#### **Публикации:**

1. Kuchyanov A.S., Chubakov P.A., Chubakov V.P., Mikerin S.L. Nonlinear interaction of silica photonic crystals with ammonia vapor // Results in physics. – 2019. – Vol. 15. – P. 102726. – DOI 10.1016/j.rinp.2019.102726.

**0319–2017–0015 П.10.** Проект «Современные методы измерений смещений, деформаций и силы тяжести для геофизических исследований».

**Блок: Разработка полевого баллистического гравиметра на основе интерферометра с Nd:YVO<sub>4</sub> лазером и мониторинг гравитационного поля Земли в сейсмоактивных и пограничных зонах «континент–океан».**  
Регистрационный номер: АААА–А18–118071190047–5

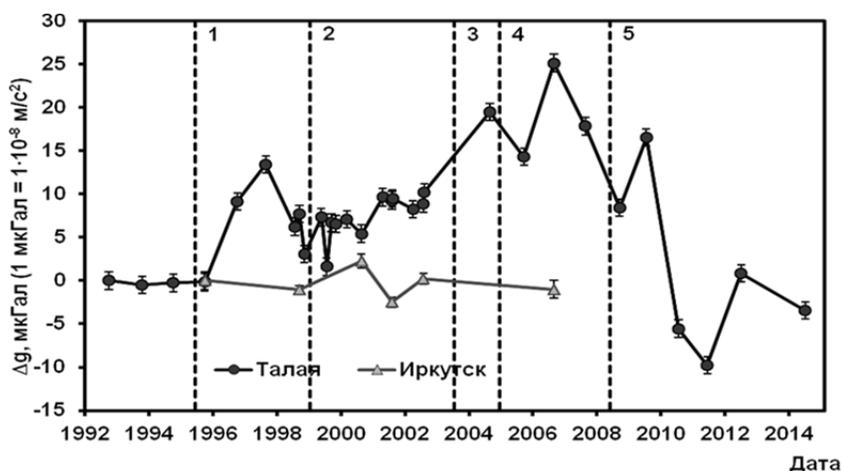
Исполнитель блока проекта:

**Тематическая группа лазерной гравиметрии**

Руководитель блока проекта: **к.т.н. Стусь Ю.Ф.**

Проведен комплексный анализ материалов многолетних абсолютных измерений в Байкальском регионе, т.к. регион отличается высокой сейсмической активностью. Измерения производились на сейсмостанции Талая, расположенной южнее Главного Саянского разлома, в 7 км к западу от озера Байкал.

Используя результаты многолетних измерений с различными типами абсолютных гравиметров (от ГАБЛ до ГАБЛ–П), проводимые в период с 1992 по 2014 гг. на сейсмостанции Талая (расположена южнее Главного Саянского разлома, в 7 км к западу от озера Байкал) рассмотрен вопрос о стабильности значения силы тяжести Земли в сейсмоактивном регионе (рис. 3.7).



**Рис. 3.7.** Вариации ускорения силы тяжести на сейсмостанции «Талая» и на пункте «Иркутск» (здесь вертикальными штрихами указаны моменты сильных землетрясений: 1 – землетрясение 29.06.1995 (M=5,5; L=50 км); 2 – землетрясение 25.02.1999 (M=5,9; L=90 км); 3 – землетрясение 17.09.2003 (M=5,3; L=155 км); 4 – землетрясение 23.02.2005 (M=5,3; L=160 км); 5 – землетрясение 27.08.2008 (M=6,5; L=25 км); L – удаление эпицентра от пункта «Талая»)

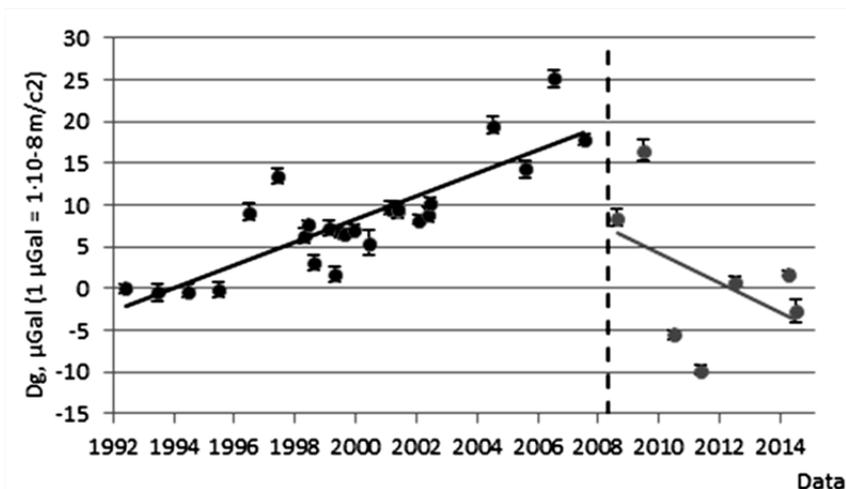
Среднеквадратическая погрешность измерения вариаций  $\Delta g$  не превышала  $2 \text{ мкГал} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$ . При анализе результатов мониторинга также использовались данные GPS наблюдений, предоставленные сотрудниками Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН.

Благодаря имеющимся данным мы видим, что линейный тренд в период с 1992 по 2008 гг. равен  $+1,3 \text{ мкГал/год}$  (рис. 3.8). Изменение силы

тяжести здесь связано с вертикальным смещением пункта согласно соотношению:

$$\Delta g(t) = \gamma \cdot \Delta Z(t),$$

где  $\gamma$  – вертикальный градиент,  $g$  – значение силы тяжести и  $\Delta Z(t)$  – изменение высоты пункта. Далее по времени выделен косейсмический скачок, равный 10 мкГал, связанный с Култукским землетрясением (27/08/2008,  $M = 6,5$ ,  $L = 25$ ). В этом случае изменения силы тяжести связаны в основном с деформацией. После сильного землетрясения наблюдается резкая смена тренда ( $-1,8$  мкГал/год).



**Рис. 3.8.** Вариации изменения силы тяжести до Култукского землетрясения (слева) и после (справа, тренды: 1992–2008 +1,3 мкГал/год; 2008–2014 1,8 мкГал/год)

### Публикации:

1. Тимофеев В.Ю., Сизиков И.С., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Носов Д.А., Валитов М.Г., Бойко Е.В. Мониторинг силы тяжести и смещений в Байкальском регионе // 11-й Всероссийский симпозиум «Физика геосфер»: материалы докладов / Владивосток (9–14 сентября 2019). – 2019. – С. 195–199.
2. Тимофеев В.Ю., Валитов М.Г., Сизиков И.С., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Стусь Ю.Ф., Носов Д.А., Кулинич Р.Г., Горнов П.Ю., Калиш Е.Н. Мониторинг силы тяжести и смещений на юге Приморья // 11-й Всероссийский симпозиум «Физика геосфер»: материалы докладов / Владивосток (9–14 сентября 2019). – 2019. – С. 200–204.

**0319–2017–0016 П.10.** Проект «Лазерная диагностика продуктов каталитических реакций гидрирования непредельных углеводородов». **Блок: Газообразные биомаркеры для современных приложений магнитно-резонансной томографии.**

Регистрационный номер: АААА–А18–118051690028–1.

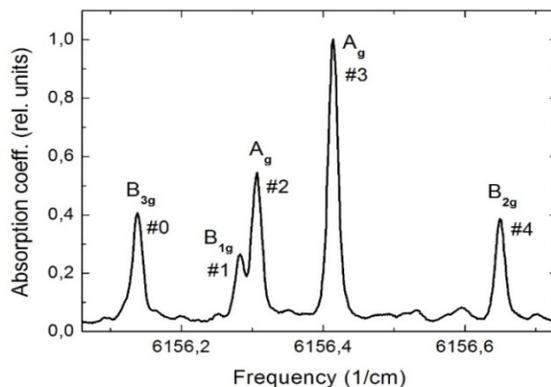
Исполнители блока проекта:

**Лаборатория нелинейной спектроскопии газов**

**Лаборатория интегрированных информационных систем управления**

Руководитель блока проекта: д.ф.–м.н. Чаповский П.Л.

Выполнена идентификация спектра поглощения молекул этилена ( $C_2H_4$ ) в составной колебательной полосе  $\nu_5+\nu_9$  в области длин волн 1,6  $\mu$ . Впервые достигнуто количественное согласие теоретического и экспериментального спектров по частотам и амплитудам линий поглощения этилена в полосе  $\nu_5+\nu_9$  [1]. Пример спектра приведен на рис. 3.9.



**Рис. 3.9.** Фрагмент спектра составной колебательной полосы  $\nu_5+\nu_9$  молекулы этилена в области 1,6  $\mu$ . На рисунке указаны симметрии вращательных функций молекулы этилена в основном колебательном состоянии. Амплитуды линий нормированы на интенсивность центральной линии с симметрией  $A_g$

Совместно с МТЦ СО РАН создана установка каталитического гидрирования ацетилена и диагностики синтезированного этилена лазерным спектрометром по линиям поглощения составной колебательной полосы  $\nu_5+\nu_9$ . Выполнены эксперименты по каталитическому гидрированию ацетилена с лазерной диагностикой продуктов синтеза. В экспериментах с параводородом зарегистрировано обогащение ядерных спиновых изомеров этилена. Это первое прямое доказательство обогащения ядерных спиновых изомеров молекул в химической реакции.

Выполнен теоретический анализ запрещенных оптических переходов между изолированными состояниями молекул при их смешивании независимым от времени возмущением [2].

#### Публикации:

1. Чаповский П.Л. Лазерное детектирование ядерных спиновых изомеров молекул этилена // Квантовая электроника. – 2019. – Т. 49, № 7. – С. 623–627. – DOI 10.1070/QEL16918.
2. Шалагин А.М., Чаповский П.Л. Динамика и кинетика квантовых переходов под действием возмущения, не зависящего от времени // Всероссийская научная конференция с международным участием «Современные проблемы оптики и спектроскопии» / Троицк (28–29 ноября 2018). – 2018. – С. 48–49.
3. Чаповский П.Л., Шалагин А.М. Динамика, кинетика и спектроскопия квантовых переходов при возмущении, не зависящем от времени // в печати.

**0319–2017–0017 IV.36.** Проект «Разработка методов и веб-ориентированных технологий тематической обработки мульти- и гиперспектральной»

*ных данных дистанционного зондирования Земли в задачах экологического мониторинга и рационального природопользования». Блок: Разработка и экспериментальное исследование эффективности методов спектральной и спектрально–пространственной классификации гиперспектральных данных.*

Регистрационный номер: АААА–А18–118051190053–8.

Исполнители блока проекта:

**Лаборатория информационной оптики**

**Лаборатория цифровых методов обработки изображений**

**Тематическая группа оптико–электронных специализированных процессов**

Руководитель блока проекта: **д.т.н. Потатуркин О.И.**

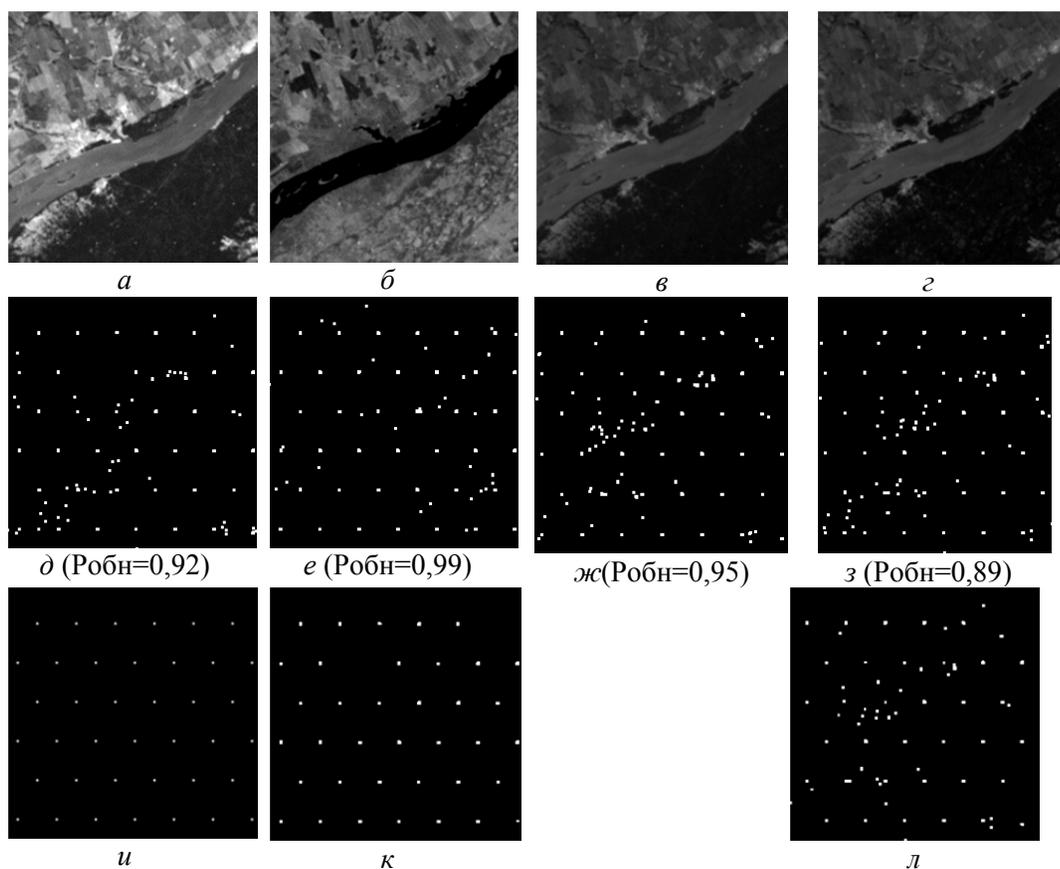
В результате экспериментальных исследований показано, что эффективность классификации природных зон по гиперспектральным данным существенно выше, чем по мультиспектральным, причем лучшие результаты достигаются методами ML и SVM. Следует отметить, что при обучении по фрагменту эффективность классификации крупноформатного ГС изображения невысока (64,1 %). Однако в случае формирования ОБ такого же объема случайным образом из всего изображения, точность спектральной классификации повышается до 70,5 %. Это объясняется тем, что пиксели одного и того же класса (по наземным наблюдениям) разных пространственных зон снимка имеют несколько отличающиеся параметры, и выбранные для обучения области фрагмента недостаточно характеризуют соответствующие классы на всем изображении. Увеличение объема ОБ на порядок (с 1 % до 10 %) приводит к повышению точности на 3–7 %, а дальнейшее расширение ОБ (с 10 % до 25 % пикселей размеченной области изображения) – лишь на 1–2 % [1].

Для сравнения классических методов спектральной классификации с основанными на нейросетевых технологиях, выполнена классификация с использованием наиболее эффективной нейронной сети на основе радиально–базисных функций (RBF). В процессе обработки формировались главные спектральные компоненты ГС изображения, каждая из которых, в свою очередь, разлагалась на эмпирические моды. В результате классификации по 4 главным компонентам (ГК) и по 5 эмпирическим модам 4 главных компонент (20 ЭМ ГК) достигнута точность 67,9 % [2, 3].

При обнаружении малоразмерных объектов на поверхности Земли по паре изображений одной сцены, полученных в разных спектральных диапазонах, исследовано применение предварительного подавления фона, основанное на построении его локально стационарной модели в окрестности предполагаемого присутствия объектов.

Показано, что эффективность обнаружения при совместной обработке тем выше, чем меньше корреляция между фоновыми составляющими разных диапазонов. На рис. 3.10, *a–г* показаны фрагменты изображений одного и того же участка местности, зарегистрированных спутником Land-

sat 7 в спектральных диапазонах:  $a - 0,63 \div 0,69$ ,  $b - 0,775 \div 0,90$ ,  $v - 0,45 \div 0,515$ ,  $z - 0,525 \div 0,605$  мкм, на которые нанесены слабоконтрастные малоразмерные объекты, показанные на рис. 2.36, *и*. Средняя амплитуда объектов составляет  $\sim 1,5$  СКО фона. Результаты обнаружения объектов с заданной вероятностью ложной тревоги  $R_{лт} = 0,005$  при независимой обработке спектральных каналов показаны на рис. 3.10,  $\delta$ – $з$ , соответственно. Под рисунками указаны оценки вероятности обнаружения. На рис. 3.10,  $к$  приведен результат совместной обработки пары  $a$  и  $b$  (коэффициент взаимной корреляции  $-0,42$ ), а на рис. 3.10,  $л$  – пары  $v$  и  $z$  (коэффициент взаимной корреляции  $0,92$ ). В первом случае вероятность ложной тревоги значительно снизилась, тогда как во втором изменилась слабо. Результаты исследования представлены в [4].



**Рис. 3.10.** Обнаружение малоразмерных объектов в двухцветных изображениях

### Публикации:

1. Потатуркин О.И., Борзов С.М. Комплексная мульти- и гиперспектральная обработка изображений видимого и ИК диапазонов в задачах обнаружения и классификации объектов на неоднородном фоне // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотозлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника 2019»: тезисы докладов / Новосибирск (27–31 мая 2019). – 2019. – С. 90. – DOI 10.34077/RCSP2019–90.

2. Нежевенко Е.С. Нейросетевая классификация крупноразмерных многосегментных полигонов с формированием признаков путем преобразования Гильберта–Хуанга гиперспектральных данных // Всероссийская конференция с международным участием (SDM–2019) «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов»: сборник трудов / Бердск (26–30 августа 2019). – 2019. – С. 141–145.
3. Nezhevenko E.S. Neural network classification of large-sized multi-segmented polygons formation signs by Hilbert–Huang transformation of hyperspectral data // в печати.
4. Kosykh V.P., Gromilin G.I., Yakovenko N.S. Small objects detection in two-color images with spatially non-stationary background // в печати.

#### 4. РФФИ, РНФ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ

В 2019 году сотрудники Института выполняли работы в рамках 17 проектов по грантам РФФИ и 8 проектов по грантам РНФ (табл. 3.1):

Таблица 3.1.

№ п/п	№ проекта	Руководитель/ Ответственный исполнитель
1.	РФФИ 17-48-540019	Котов Константин Юрьевич
2.	РФФИ 18-02-00379	Заболотский Александр Алексеевич
3.	РФФИ 18-02-00399	Пугачев Алесей Маркович
4.	РФФИ 18-32-00409	Харенко Денис Сергеевич
5.	РФФИ 18-32-00459	Кузнецов Алексей Геннадьевич
6.	РФФИ 18-32-00563	Ткаченко Алина Юрьевна
7.	РФФИ 18-51-00001	Резник Александр Львович
8.	РФФИ 19-01-00128	Резник Александр Львович
9.	РФФИ 19-31-60028	Гелаш Андрей Александрович
10.	РФФИ 19-32-80018	Томилин Владимир Александрович
11.	РФФИ 19-42-540003	Микерин Сергей Львович
12.	РФФИ 19-42-540005	Твердохлеб Петр Емельянович
13.	РФФИ 19-42-543015	Достовалов Александр Владимирович
14.	РФФИ 19-52-53002	Комаров Андрей Константинович
15.	РФФИ 20-32-70093	Харенко Денис Сергеевич
16.	РФФИ 20-32-70058	Лобач Иван Александрович
17.	РФФИ 20-32-70132	Достовалов Александр Владимирович
18.	РНФ 17-12-01418	Чаповский Павел Львович
19.	РНФ 17-19-01721	Корольков Виктор Павлович
20.	РНФ 17-72-10129	Евменова Екатерина Алексеевна
21.	РНФ 18-12-00243	Каблуков Сергей Иванович
22.	РНФ 18-72-00139	Достовалов Александр Владимирович
23.	РНФ 19-12-00127	Суровцев Николай Владимирович
24.	РНФ 19-72-00106	Мамрашев Александр Анатольевич
25.	РНФ 19-74-00050	Окотруб Константин Александрович

В 2019 году молодые ученые Института стали победителями конкурса инициативных исследований, организованного РНФ в рамках Президентской программы исследовательских проектов за 2019 год. Эксперты РНФ отметили проект к.т.н. А.А. Мамрашева (*тем. группа терагерцовой*

*фотоники*) «Поляризационно-чувствительная терагерцовая спектроскопия» (19-72-00106) и проект к.ф.-м.н. К.А. Окотруба (*лаборатория спектроскопии конденсированных сред*) «Исследование фазовых переходов липидов при криоконсервации ооцитов млекопитающих методом комбинационного рассеяния света с использованием изотопных меток» (19-74-00050).

По итогам конкурса РФФИ 2019 года на лучшие проекты фундаментальных научных исследований, выполняемые ведущими молодёжными коллективами («Стабильность») были поддержаны проекты сотрудников *лаборатории волоконной оптики и лаборатории оптических сенсорных систем*: «Исследование новых режимов генерации лазеров на основе многосердцевинных оптических световодов» (20-32-70132, рук. к.ф.-м.н. А.В. Достовалов), «Волоконный лазер с управляемым спектром генерации для задач спектроскопии в двухмикронном спектральном диапазоне» (20-32-70058, рук. к.ф.-м.н. И.А. Лобач), «Разработка технологий волоконных лазеров с быстрой/широкодиапазонной перестройкой частоты для биомедицинских применений» (20-32-70093, рук. к.ф.-м.н. Д.С. Харенко).

## 5. ПРИКЛАДНЫЕ РАЗРАБОТКИ И ПРОЕКТЫ

### 5.1. Недеградирующий датчик аммиака для больших и малых концентраций

В ИАиЭ СО РАН разработан датчик аммиака больших концентраций, основанный на новом принципе.

Аммиак - один из самых важных продуктов химической промышленности, ежегодно в мире производится около 100 млн. тонн аммиака, при этом газ относится к сильнодействующим ядовитым веществам, по плотности чуть меньше воздуха, хорошо смешивается с ним и остается долгое время на месте аварий (может распространяться на большие расстояния), хорошо растворяется в воде.

Датчик может быть использован на предприятиях по производству аммиака, а также в химических и холодильных установках с высоким содержанием аммиака, очистных сооружениях.

Применяемые в настоящее время сенсоры аммиака деградируют с течением времени при длительном воздействии высокой концентрации аналита.

*Ключевым преимуществом* предлагаемой оптической сенсорной системы является долговременная работа в среде с высокой концентрацией (испытано до 20%) аммиака. Высокая стойкость связана прежде всего с использованием инертного материала ( $\text{SiO}_2$ ) в качестве чувствительного элемента сенсора.

- Пары аммиака проникают в пленку, изменяя ее толщину и оптические свойства

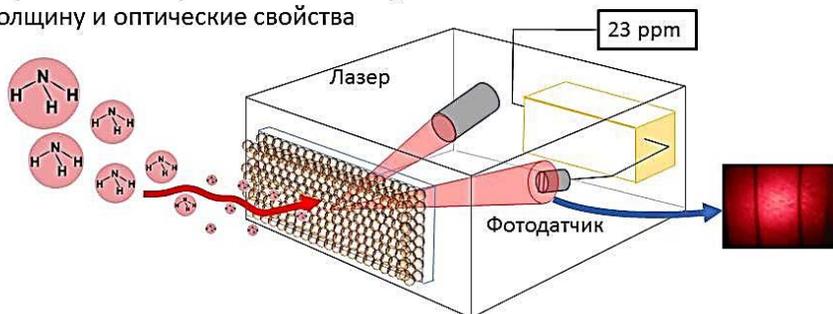


Рис. 5.1. Устройство датчика

#### Преимущества:

- Компактность и неотравляемость датчика, определяемых, в том числе, новым принципом работы.
- Большой динамический диапазон измеряемых концентраций аммиака.
- Селективность к аммиаку без применения специальных мембран. Обеспечивается избирательным взаимодействием молекул аммиака с поверхностью кремнезема.

– Устойчивость к коррозионным парам обусловлена химической стойкостью кремнезема и оптической схемой сенсора, позволяющей защитить измерительную часть датчика от контакта с анализируемым газом.

– Малое время реакции (время нарастания менее 1 сек).

– Долговременная работа в условиях высоких концентраций (испытано до 20%) агрессивного газа.

– Датчик не чувствителен к  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $CCl_4$ , этиловому и изопропиловому спиртам.

Долговечность предлагаемого датчика по оценке, основанной на характеристиках типичных датчиков на рынке, составила более 10 млн. ppm\*час. Оценочный срок службы ограничивается сроком службы электронных компонентов и составляет не менее 25 лет.

### **Основные технические характеристики:**

Динамический диапазон, ppm	1– 200 000
Буферный объем, мкл	~ 1
Деградация	не выявлена
Время отклика датчика, с	5
Энергопотребление, мВт	5
Габаритные размеры, мм	~100x100x50
Возможен переносной и стационарный вариант	

*Области применения:* объекты химической промышленности, очистные сооружения, холодильные установки, автомобилестроение, установки малой энергетики – как сенсорные системы для мониторинга содержания аммиака с концентрацией до 20%.

*Уровень практической реализации:* опытный образец, TRL 4.

*Патентная защита:*

Способ анализа концентрации аналита и оптический хемосенсор: пат. 2626066 Рос. Федерация на изобретение. Плеханов А.И., Чубаков П. А, Кучьянов А.С. Заявитель и патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Приоритет от 11.03.2016.

*Коммерческие предложения:* Поставляется под заказ. Срок поставки опытного образца – 3-4 месяца. Авторское сопровождение оборудования сроком до 2 лет. По дополнительному соглашению возможно расширение срока.

*Ориентировочная стоимость:* от 4200 рублей в зависимости от комплектации прибора.

## **5.2 ЛАЗЕРНЫЕ ФЕМТО- ПИКОСЕКУНДНЫЕ СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ МИКРООБРАБОТКИ**

В ИАиЭ СО РАН разработаны прецизионные технологии и системы на основе фемто-, пикосекундных лазеров для бездефектной трехмерной

обработки хрупких диэлектрических материалов и высокотемпературных металлов.

*Функциональные особенности:*

- Субмикронное разрешение и микронная точность формирования топологии.
- Высокая производительность.
- Исключительная гибкость и возможность использования для подготовки данных стандартных систем трехмерного проектирования AutoCAD, Компас и т.д. Широкий диапазон средств настройки режимов обработки.
- Возможность работы как в режиме изготовления единичных изделий так и при групповой обработке.
- Субмикронное координатное разрешение по XY координатам позволяет совместить проект записи со специальными метками или топологическими особенностями поверхности объекта с точностью не хуже 2 мкм на всем поле обработки.
- Автоматическое определение плоскости обработки и регулировка фокуса лазерной сканирующей головки.
- Универсальная пневматическая система для вакуумной фиксации заготовок и деталей в зоне лазерной обработки.

### 5.2.1. Лазерная рабочая станция на основе фемтосекундного лазера



Лазерная технологическая рабочая станция на основе фемтосекундного лазера (ЛРС-Ф) предназначена для микрообработки изделий из металла, керамики, кристаллических материалов и оптического стекла путем трехмерной послойной обработки поверхности, резки и регулируемой объемной оптической модификации прозрачных материалов. ЛРС-Ф обеспечивает высокую точность и разрешение, возможность обработки хрупких материалов без микротрещин и сколов методами прямой лазерной обработки.

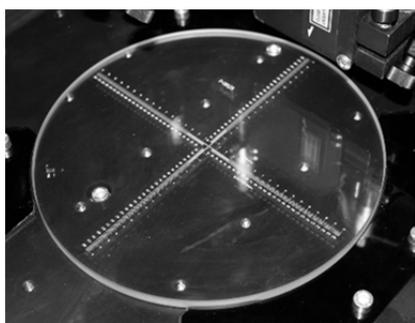
**Рис. 5.2.** Внешний вид лазерной технологической рабочей станции на основе фемтосекундного лазера (ЛРС-Ф)

*Особенности ЛРС-Ф:*

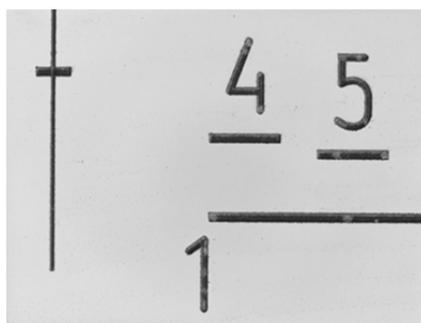
- высокое быстродействие универсальность и гибкость, благодаря использованию встроенных оптических датчиков и измерительных систем, оригинального аппаратно-программного обеспечения;
- возможность проведения записи как в режиме последовательного формирования полной зоны обработки в стартстопном режиме, так и при

непрерывном движении рабочего стола (обеспечивается специальным контроллером на базе чипа с ARM9 и FPGA на кристалле).

ЛРС-Ф содержит лазерный датчик расстояния до обрабатываемой заготовки, что позволяет осуществить точный контроль фокусного расстояния в автоматическом режиме, упрощает настройку системы и, при необходимости, обеспечивает обработку выбранной зоны изделий с автоматическим или визуальным совмещением проекта с реперными точками объекта. Оригинальный встроенный контроллер и специальное математическое обеспечение ориентировано как на исследовательское, так и на промышленное (в полностью автоматическом режиме) использование системы. Встроенные системы технического зрения высокого разрешения позволяют проводить контроль качества и точное совмещение изделия с САД-проектом в ручном и автоматическом режиме.



*а*



*б*

**Рис. 5.3.** Трехмерная микрообработка стекла (БК7):

*а* - визирная сетка а стеклянной подложке 200 мм, размер штрихов 20 мкм;  
*б* - микрофотографии фрагментов шкал. Вертикальные линии 20 мкм, горизонтальные 40 мкм, глубина 6 мкм

**Основные технические характеристики:**

Способ сканирования	растровый, векторный
Максимальная скорость обработки, мм/с	до 1000
Максимальный размер зоны обработки, мм	не менее 150x150x100 (200x200x150 по заказу)
Минимальная дискретность позиционирования, нм	не более 25
внутри зоны (4x4 мм) быстрого сканирования обработки, нм	10
Воспроизводимость, нм	не более 150
Минимальная ширина гравированной линии, мкм	3
Лазерный источник:	
средняя мощность, Вт	не менее 6 (до 20 по заказу)
длительность импульса, фс	200-40000
частота повторения импульса	200 кГц-2 МГц
длина волн, нм	1030±5 (возможно наличие нескольких каналов – 532, 355)
режим генерации	импульсный с частотой до 1 МГц

*Области применения:* Прецизионное формирование трехмерного рельефа на поверхности и в объеме стеклянных, кристаллических, полимерных, композитных заготовок изделий оптики, оптомеханики, микромеханики, обработка металлических и полупроводниковых материалов.

*Уровень практической реализации:* В настоящее время опытные экземпляры работают на предприятиях концерна «Швабе» в Новосибирске и Вологде. Рабочие станции применяются для прецизионного формирования с субмикронным разрешением топологии оптических шкал, сеток и лимбов серийно выпускающихся изделий, синтезированных голограмм, методами прямой лазерной записи, как на поверхности, так и внутри изделий из стекла и оптических кристаллов, формирования тонких металлических масок сложной формы.

*Патентная защита:*

– Способ изготовления многофункциональных прецизионных оптических прицельных сеток методом лазерной абляции с запуском: пат. 2591034 Рос. Федерация на изобретение. Патентообладатели: ИАиЭ СО РАН, АО "Швабе - Приборы". Приоритет от 07.04.2015;

– Способ и устройство формирования микроканалов на подложках из оптического стекла, оптических кристаллов и полупроводниковых материалов фемтосекундными импульсами лазерного излучения: пат. 2661165 Рос. Федерация на изобретение. Заявитель и патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Приоритет от 25.10.2017.

### 5.2.2. Лазерная рабочая станция на основе пикосекундного лазера



Лазерная технологическая рабочая станция на основе пикосекундного лазера (ЛРС-П) предназначена для лазерной микрообработки изделий из металла, керамики, кристаллических материалов путем лазерной трехмерной послойной обработки поверхности, резки, ЛРС-П обеспечивает высокую точность и разрешение, возможность обработки металлических материалов с малой шероховатостью.

**Рис. 5.4.** Внешний вид лазерной технологической рабочей станции на основе пикосекундного лазера (ЛРС-П)

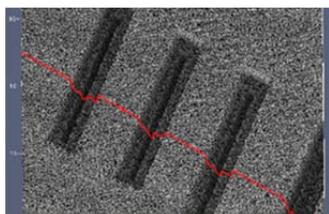
*Состав ЛРС-П:*

- Пикосекундный лазер;
- система формирования и позиционирования сфокусированного лазерного излучения, состоящая из:
  - комплементарной системы управления положением лазерного луча,

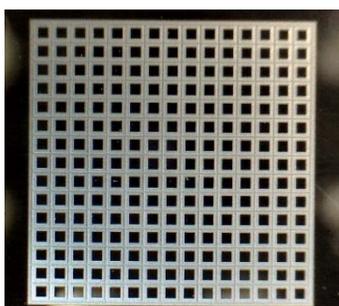
- включая блок быстрого сканирования на основе прецизионных сканеров с объективом плоского поля ( $20 \times 20 \text{ мм}^2$ ),
- двухкоординатного привода X, Y,
  - системы автоматической фокусировки;
  - модуль вакуумной фиксации заготовок и деталей со специальной оснасткой для быстрой загрузки заготовок и узлом подачи воздуха/инертного газа в зону лазерной обработки;
  - высокоразрешающий модуль технического зрения для оптического контроля процесса микрообработки;
  - контроллер устройства и электронные блоки сопряжения комплекса с управляющей ПЭВМ;
  - пакет программного обеспечения для управления работой устройства в режиме ручной или автоматической обработки изделий, контроля результатов обработки.

### Основные технические характеристики:

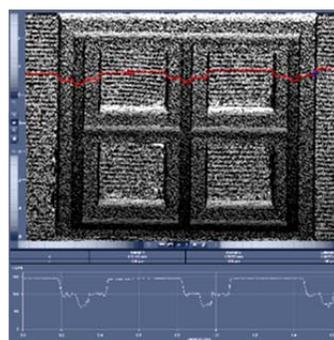
Способ сканирования	растровый, векторный
Максимальная скорость обработки, мм/с	до 2
Максимальный размер зоны обработки, мм	не менее $210 \times 292 \times 120$
Максимальны размер обрабатываемого изделия, мм	$300 \times 400 \times 120$
Минимальная дискретность позиционирования, нм	не более 50
внутри зоны быстрого сканирования, мм	$20 \times 20$
Воспроизводимость, нм	не более 150
Минимальная ширина гравированной линии, мкм	7
Лазерный источник:	
средняя мощность, Вт	не менее 18
длительность импульса, пс	10 – 100
длина волн, нм	$1030 \pm 5$
режим генерации	импульсный с частотой до 2 МГц



*a*

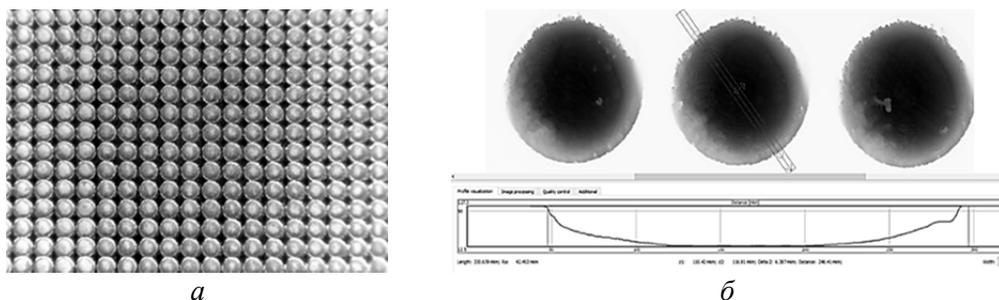


*б*



*в*

**Рис. 5.5.** Послойная трехмерная обработка кремниевых пластин пикосекундной лазерной системой: *a* - ширина линии 250 мкм, глубина 150 мкм; *б* - фрагмент трехуровневой обработки, размер  $15 \times 15 \times 0.3 \text{ мм}$ ; *в* - ширина 250 мкм, глубины – 100, 150 мкм



**Рис. 5.6:** *а* - фотография фрагмента раstra микролинз сферических; *б* - профилограмма микролинзы. Шаг раstra 250 мкм глубина 50 мкм. Материал – сталь

*Области применения:* Прецизионное формирование трехмерного рельефа на поверхности металлических, кристаллических, полимерных, композитных заготовок изделий оптомеханики, микромеханики, обработка полупроводниковых материалов.

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

*Ориентировочная стоимость систем:*

- фемтосекундная система – 30 – 35 млн руб.,
- пикосекундная – 25 – 30 млн руб.

в зависимости от мощности лазера и требуемых точностных и функциональных возможностей.

### 5.3 Волоконный самосканирующий лазер для высокоразрешающей спектроскопии

В ИАиЭ СО РАН разработан волоконный лазер, обладающий высокой научно-технической значимостью, *с новейшим эффектом* – самосканирования.

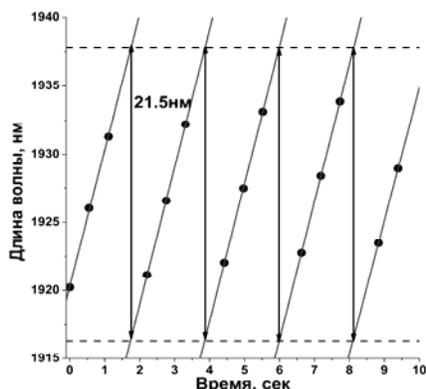
Основными преимуществами лазеров на основе оптического волокна являются:

- малый вес, компактность, мобильность;
- высокая теплоотдача;
- высокое качество излучения;
- легкая встраиваемость в волоконные линии.

Волоконные самосканирующие лазеры – одно из бурно развивающихся направлений в волоконной оптике. Благодаря своей простоте и дешевизне по сравнению с аналогами, они являются привлекательной альтернативой другим перестраиваемым источникам излучения. Суть эффекта самосканирования заключается в периодической перестройке оптической частоты лазерного излучения в течение времени без использования специальных элементов перестройки, таких как фильтры Фабри-Перо, дифракционные решетки, призмы, волоконные брэгговские решетки.

Волоконный самосканирующий лазер для высокоразрешающей спектроскопии обеспечивает одночастотное сканирование (узкая ширина

лазерной линии в каждый момент времени). Возможна остановка сканирования и переход к излучению на одной длине волны. Предлагаемый лазер *может быть использован* для газоанализа, анализа атмосферы и парникового эффекта; помимо этого, возможна характеристика волоконных оптических элементов и других оптических спектров; научное приложение.



**Рис. 5.7.** Пример самосканирования



**Рис.5.8.** Опытный образец

*Аналоги:*

- в области перестраиваемых лазеров это полупроводниковые лазеры, волоконные лазеры с перестроечными элементами;
- в области спектроскопии - это спектроанализаторы высокого разрешения.

*Основные особенности лазера:*

- отсутствие дорогостоящих спектральных перестраиваемых элементов;
- большой диапазон перестройки – продемонстрировано 25 нм;
- различные спектральные диапазоны работы от 1 до 2.1 мкм;
- разнообразная управляемая спектральная динамика – возможно сканирование «вперед» (с периодическим увеличением длины волны во времени), «назад» (с периодическим уменьшением длины волны во времени), фиксирование длины волны излучения;
- возможность получения одночастотного сканирования частоты;
- каждый импульс состоит из одной продольной моды со спектральной шириной менее 140 кГц;
- оптическая частота генерации лазера меняется между импульсами на одну (или несколько) частот межмодовых биений резонатора (~2-20 МГц);
- линейно-поляризованное излучение.

*Конкурентные преимущества:*

- простота лазерной схемы;
- доступность составляющих компонентов лазера;
- дешевизна лазера относительно существующих предложений в сфере перестраиваемых лазеров со схожими параметрами;
- значительный опыт команды в сфере волоконной оптики;

– производство волоконного самосканирующего лазера экологически безопасно. Лазер не производит отходов. Работа лазера не оказывает вредного воздействия на окружающую среду.

*Области применения:*

- детектирование паров воды (предсказание погоды);
- детектирование углекислого газа (анализ парникового эффекта);
- измерение параметров атмосферы (предсказание погоды, безопасность авиаперевозок и т. д.);
- источник в составе волоконно-оптической сенсорной системы на основе волоконных брэгговских решёток (датчиков);
- характеристика оптических элементов и других оптических спектров.

*Патентная защита:*

1. Волоконный источник однонаправленного одночастотного поляризованного лазерного излучения с пассивным сканированием частоты (варианты): пат. 2566385 Рос. Федерация на изобретение. Бабин С.А., Каблуков С.И., Лобач И.А.; Заявитель и патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Приоритет от 15.07.2014.

*Коммерческие предложения:*

- договор на изготовление и поставку продукции. Срок поставки оборудования – 4 месяца;
- гарантийное обслуживание, сервисное обслуживание и техническая поддержка в течение всего срока эксплуатации;
- обучение персонала Заказчика.

*Ориентировочная стоимость:* от 500 тыс. рублей в зависимости от комплектации прибора.

## 6. НАУЧНО–ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### 6.1. ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИАиЭ СО РАН В 2019 ГОДУ (на 28.12.2019)

<u>Численный состав (чел.)</u>	
Общая численность	426
В том числе:	
Научных работников (без совместителей)	131
Академиков	1
Член-корреспондентов РАН	2
Профессоров РАН	1
Докторов наук	30
Кандидатов наук	73
Молодых исследователей (до 39 лет)	49
Аспирантов	14
<u>Публикации (шт.)</u>	
Монографии, главы в монографиях	6
Статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных статей (отечественных)	101
Статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных статей (зарубежных)	91
Материалы конференций	184
Учебные пособия	2
Охранные документы	6
<u>Количество проектов и договоров</u>	
«Базовые» проекты госзадания	12
РФФИ и РФФ	24
Проекты госзадания КП МИП СО РАН	7
Договоры и контракты	
с российскими заказчиками	36
с зарубежными заказчиками	2

### 6.2. СТРУКТУРА НАУЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

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

- (01): Физики лазеров – *С.Л. Микерин, к.ф.-м.н.*  
Physics of Lasers – *S.L. Mikerin, Ph. D.*  
\*(01-1): Мощных ионных лазеров – *Д.В. Яковин.*  
High-Power Ion Lasers – *D.V. Yakovin*
- (02): Нелинейной спектроскопии газов – *А.М. Шалагин, академик, 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*
- (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.*
- (06): Дифракционной оптики – *Корольков В.П., д.т.н.*  
 Diffractive Optics – *V.P. Korolkov, 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 – *К.Ю. Котов, к.т.н.*  
 Fuzzy Technologies – *K. Y. Kotov, 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. Лухачев, д.т.н.*  
 Informatics and Applied Mathematics – *A.V. Likhachev, Dr. Sci.*

- (15): Информационной оптики – *С.М. Борзов, к.т.н.*  
*Information Optics – S.M. Borzov, 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.*
- \*\* (15-4): Терагерцовой фотоники – *Н.А. Николаев.*  
*Terahertz Photonics – N.A. Nikolaev, Ph. D.*
- (16): Интегрированных информационных систем управления –  
*А.В. Кирьянов, к.т.н.*  
*Integrated Informational Control Systems – A.V. Kiryanov, Ph. D.*
- (17): Волоконной оптики – *С.А. Бабин, чл.-корр. РАН*  
*Fiber Optics – S.A. Babin, Corr. Mem. of RAS*
- (18): Оптических сенсорных систем – *С.И. Каблуков, проф. РАН*  
*Optical Sensing Systems – S.I. Kablukov, Prof. of RAS*
- (19): Киберфизических систем – *В.Е. Зюбин, д.т.н.*  
*Cyber-Physical Systems – V.E. Zyubin, Dr. Sci.*
- \* Приказ №323к от 01.11.19 г. о переводе тематической группы
- \*\* Приказ №377к от 30.12.19 г. о выделении тематической группы в составе лаборатории

### 6.3. РАБОТА УЧЕНОГО СОВЕТА

В 2019 г. состоялось 19 протокольных заседаний Ученого совета ИАиЭ СО РАН, на которых:

- Рассмотрены итоги деятельности ИАиЭ СО РАН в 2018 году;
- Утверждены рейтинговые показатели подразделений Института за 2018 год; внесены изменения в Положение о порядке стимулирующих выплат сотрудникам научных подразделений ИАиЭ СО РАН.
- Рассмотрены и поддержаны 3 заявки сотрудников Института на соискание гранта президента РФ для молодых кандидатов наук и докторов наук в 2019 году. (*Окотруб К.А., Достовалов А.В., Харенко Д.С.*);
- Рассмотрена и поддержана 1 заявка сотрудника Института на участие в конкурсе на присуждение премии мэрии города Новосибирска в сфере науки и инноваций в номинации «Лучший молодой исследователь в организациях науки в отрасли физико-математических наук» (*Томилин В.А.*);

- Рассмотрены и поддержаны 4 заявки сотрудников Института на соискание стипендии президента РФ для молодых ученых и аспирантов (*Антропов А.А., Вольф А.А., Кугаевских А.В., Семенюк Е.Д.*);
- Рассмотрена и поддержана 1 заявка сотрудников Института на соискание стипендии президента РФ в области науки и инноваций для молодых ученых за 2018 год (*Ватник И.Д. и Евменова Е.А.*);
- Выдвинуты и поддержаны кандидаты от ИАиЭ СО РАН на вакансии членов-корреспондентов РАН в 2019 году (*Подвилов Е.В., Лаврентьев М.М.*);
- Рассмотрена и поддержана 1 заявка сотрудника Института на соискание именной стипендии правительства НСО для аспирантов и докторантов очной формы обучения в 2019 году (*Рыбак А.А.*);
- Рассмотрены и поддержаны 2 заявки сотрудников Института на соискание стипендии Президента Российской Федерации: для ученых, конструкторов, технологов и других инженерно-технических работников организаций – исполнителей государственного оборонного заказа за выдающиеся достижения в создании прорывных технологий и разработке современных образцов вооружения, военной и специальной техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства (*к.т.н. Косых В.П.*); для специалистов и молодых (до 35 лет включительно) работников организаций – исполнителей государственного оборонного заказа за значительный вклад в создание прорывных технологий и разработку современных образцов вооружения, военной и специальной техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства (*к.т.н. Мальцев А.С.*);
- Утверждены темы выпускных квалификационных работ аспирантов 2017–2019 г. приема;
- Рассмотрены и утверждены важнейшие результаты научных исследований за 2019 г.;
- Утверждены отчеты по темам фундаментальных научных исследований, выполнявшихся в рамках госзадания ИАиЭ СО РАН на 2019 г. в соответствии с Планом НИР Института и «Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы»;
- Проведены конкурсы на замещение вакантных должностей начных работников ИАиЭ СО РАН, по результатам которых выбрано: заместителей директора – 3, главных научных сотрудников – 2, ведущих научных сотрудников – 2, старших научных сотрудников – 10, научных сотрудников – 5, младших научных сотрудников – 3, инженероисследователей – 1.
- Утвержден председатель ГЭК по аспирантуре (*Пальчикова И.Г.*)
- Рассмотрены и одобрены общие принципы Стратегии развития Института, подготовленные рабочими группами по организационно-

финансовым (рук. *Вострецов Д.Г.*) и научным вопросам (рук. *Суровцев Н.В.*) в рамках Стратегической сессии ИАиЭ СО РАН.

#### 6.4. РОСТ И ПОДГОТОВКА НАУЧНЫХ КАДРОВ НАУЧНО–ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

В 2019 году аспирантура ИАиЭ СО РАН вела обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров по следующим направлениям подготовки:

**02.06.01 Компьютерные и информационные науки.** Специальность 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

**03.06.01 Физика и астрономия.** Специальность 01.04.05 «Оптика».

**12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии.** Специальность 05.11.07 «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы».

В 2019 году в аспирантуру Института принято 3 человека для обучения по направлению «03.06.01 Физика и астрономия. Специальность 01.04.05 Оптика» и 1 человек по направлению «02.06.01 Компьютерные и информационные науки. Специальность 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Всего на 31.12.2019 обучение проходили 14 аспирантов. В 2019 году 3 выпускника закончили обучение с представлением диссертации, 1 человек отчислен по неуспеваемости.

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 2019 г. проведено 1 заседание Совета, защищено 2 кандидатских диссертации.

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

*Симонов Виктор Александрович* «Разработка и применение отражательных интерферометров на основе тонкой металлической пленки для селекции мод волоконных лазеров» (научный руководитель: к.ф.-м.н. *Терентьев В.С.*).

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

*Яковин Михаил Дмитриевич* «Суперлюминесцентная параметрическая генерация света в кристалле PPLN с накачкой от Nd:YAG лазера с СЗАОМ» (научный руководитель: к.-ф.-м.н. *Сорокин В.А.*).

Также в 2019 году на заседании диссертационного совета НГТУ состоялась защита диссертации сотрудника тем. группы 05-1 ИАиЭ СО РАН *Семёнова Захара Владимировича* «Исследование метода непрямого оптического контроля толщин многослойных покрытий в широком спектральном диапазоне» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.07 «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы» (*научный руководитель: д.т.н. Лабусов В.А.*).

Институт является базовым для специализированных кафедр Новосибирского государственного университета: «Квантовая оптика» (КО) ФФ НГУ – зав. кафедрой, научный руководитель Института академик *Шалагин А.М.*, «Автоматизация физико-технических исследований» (АФТИ) ФФ НГУ – зав. кафедрой, науч. сотрудник Института к.т.н. *Лысаков К.Ф.*, «Систем информатики» ФИТ НГУ – зав. кафедрой, д.ф.-м.н., профессор, зам. дир. по научной работе ИАиЭ СО РАН *Лаврентьев М.М.* и «Компьютерные технологии» (КТ) ФИТ НГУ – зав. кафедрой, д.т.н., доцент, вед.науч. сотрудник. ИАиЭ СО РАН *Зюбин В.Е.*, а также кафедры Новосибирского государственного технического университета «Оптические информационные технологии» (ОИТ) ФТФ НГТУ – зав. кафедрой заведующий лабораторией оптических информационных систем Института д.т.н. *Лабусов В.А.*

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

На базе Института организованы постоянно действующие семинары: межинститутские УНЦ «Квантовая оптика» (руководитель акад. *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 2019 году проведено 12, 6 и 5 семинаров, соответственно.

Достижения молодых ученых Института отмечены различными грантами и стипендиями. 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 2019 году сотрудник Института *Скворцов М.И.* принял участие в проекте «КЛАССный ученый», прочитав лекцию для школьников о волоконных лазерах и их применении. В рамках глобальной просветительской акции «Открытая лабораторная», посвященной объявленному ООН Году периодической таблицы Менделеева, и приуроченной к празднованию Дня российской науки, сотрудник Института *Симонов В.А.* продемонстрировал работу волоконного лазера в школе п.г.т. *Линёво*.

## 6.5. МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ

В 2019 году продолжили действовать следующие договоры и соглашения о сотрудничестве:

1. Договор о сотрудничестве между ИАиЭ СО РАН и Физико-техническим институтом (Германия, г. Брауншвейг и г. Берлин). Разработка программного обеспечения для стандарта наносилы ФТИ (10.04.2017–29.04.2019).

2. Соглашение по международному исследовательскому сотрудничеству между ИАиЭ СО РАН и Университетом Анже (Франция, г. Анже) (23.03.2010–23.03.2020).

3. Совместный проект НАН Беларуси и СО РАН № 24 «Разработка средств интеллектуальной программной поддержки для ускоренного решения трудоёмких задач цифровой обработки информации (23.03.2010–23.03.2020). Участники: ИАиЭ СО РАН, Объединённый Институт проблем информатики НАН Беларуси.

4. Договор о сотрудничестве с компанией Арбонаут (Финляндия) (23.10.2018–23.10.2023).

В рамках контракта с Физико-техническим институтом Германии (г. Брауншвейг и г. Берлин) сотрудник Института участвовал в усовершенствовании установки для измерения сверхмалых сил и измерении светоиндуцированной силы в щели.

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. Результаты проведенных совместных исследований опубликованы в ведущих научных журналах по соответствующей тематике.

В рамках совместных фундаментальных исследований СО РАН и НАН Беларуси в сотрудничестве с Объединённым институтом проблем информатики (г. Минск) успешно выполнен проект «Разработка высокопроизводительных средств интеллектуальной программной поддержки для решения трудоёмких задач информатики и биоинформатики» (2018–2019 гг.).

В рамках договора о сотрудничестве с компанией Арбонатут (Финляндия) ожидается установление сотрудничества в образовательной и научно-исследовательской областях по проведению научных мероприятий, совместных научных исследований по приоритетным направлениям сторон, обмен научной информацией, публикациями, учебными и исследовательскими достижениями; организация стажировок сотрудников.

Также в 2019 году заключены следующие меморандумы:

– Меморандум о взаимопонимании с Евразийским национальным университетом имени Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Республика Казахстан). В рамках выполнения меморандума ожидается установление сотрудничества в образовательных и научных областях по проведению образовательных и научных мероприятий; академический обмен обучающимися, публикациями, организация стажировок, совместные заявки на получение грантов в рамках образовательных программ.

– Меморандум о взаимопонимании с Центром HiLASE, Институт фи-

зики Чешской академии наук (Чешская Республика). В рамках выполнения меморандума ожидается сотрудничество в исследованиях в области структурирования поверхности материалов лазерным излучением для широкого спектра промышленных и научных применений, совместные научные эксперименты и публикации.

Институт поддерживает членство в Коллегии национальных экспертов стран СНГ по лазерам и лазерным технологиям, общий состав представителей от ИАиЭ СО РАН составил 6 человек. Продлено членство Института в международной Лазерной ассоциации (ЛАС).

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).

Сотрудники Института принимают участие в исследованиях лаборатории нелинейной оптики волноводных систем по направлению «Пространственно-временная нелинейная оптика многомодовых и многоядерных волоконных систем» под руководством профессора С. Вабница (Университет Брешиа, Италия) 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.

Сотрудник Института принимает участие в исследованиях лаборатории нелинейной фотоники НГУ, проводимых под руководством профессора С.К. Турицына (Университет Астон, Великобритания) в рамках гранта РФФИ «Нелинейные технологии для оптических коммуникаций и лазерных приложений».

Прочие сведения по международным научным связям и совместной деятельности с зарубежными научными учреждениями и другими организациями:

– Лаборатория нелинейной спектроскопии газов продолжает научное сотрудничество с Институтом электроники Болгарской академии наук (*г. София, Болгария*).

– Продолжается сотрудничество лаборатории программных систем машинной графики по вопросам моделирования долговременной эволюции берегового профиля с профессором Университета «Рома Тре» (*г. Рим, Италия*) Ренато Спиглером. Обсуждаются совместные работы, связанные с исследованиями обратных задач математической физики, с профессором Университета Токио (*г. Токио, Япония*) Масахиро Ямамото.

– В 2019 году подписан протокол о намерениях по заключению договора на НИР с компанией DIOPTIC GmbH (*Вайнхайм, Германия*).

В ИАиЭ СО РАН продолжают работать международные студенческие ячейки OSA и SPIE, в рамках которых аспиранты проводят научно-популярную работу. Научный руководитель студенческих ячеек – С.А.Бабин (член Американского оптического общества (OSA) и международного общества фотоники (IEEE Photonics), руководитель Сибирского регионального центра Лазерной ассоциации стран СНГ).

В отчетном году в заграничные служебные командировки (Италия, Германия, Франция, Австрия, Чехия, Португалия, Греция, Израиль, Китай, Корея, Япония, Тайвань, Кипр, Казахстан) для участия в совместных исследованиях, конференциях и выставках выезжали 16 сотрудников ИАиЭ СО РАН. С целью ознакомления с научными достижениями ИАиЭ СО РАН и обсуждения совместных работ Институт посетил 21 иностранный учёный из Германии, Франции и Китая.

Результаты исследований ученых ИАиЭ СО РАН были представлены около 100 докладами на международных конференциях.

## 6.6. ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2019 г. Институтом получено 6 патентов на изобретения:

- Перестраиваемый волоконный двухзеркальный отражательный интерферометр: пат. 2679474 Рос. Федерация на изобретение. Бабин С.А., Терентьев В.С., Симонов В.А.; опубл. 11.02.2019, Бюл. № 5. 2 с.
  - Высокоточный матричный приёмник инфракрасного и терагерцового излучения: пат. 2682556 Рос. Федерация на изобретение. Гибин И.С., Котляр П.Е.; опубл. 19.03.2019 Бюл. № 8. 1 с.
  - Способ регистрации фазы квадратурных сигналов: пат. 2692965 Рос. Федерация на изобретение. Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Нагорников Г.И., Чуканов В.В.; опубл. 28.06.2019 Бюл. № 19. 1 с.
  - Устройство для создания периодических структур показателя преломления внутри прозрачных материалов (совместно с НГУ): пат. 2695286 Рос. Федерация на изобретение. Бабин С.А., Вольф А.А., Достовалов А.В., Терентьев В.С.; опубл. 22.07.2019 Бюл. № 21. 2 с.
  - Двухлучевой интерферометр: пат. 2697892 Рос. Федерация на изобретение. Угожаев В.Д.; опубл. 21.08.2019 Бюл. № 24. 2 с.
  - Способ определения содержания элементов и форм их присутствия в дисперсной пробе и её гранулометрического состава (совместно с ООО "ВМК-Оптоэлектроника"): пат. 2702854 Рос. Федерация на изобретение. Ващенко П.В., Гаранин В.Г., Дзюба А.А., Лабусов В.А., Пелипасов О.В.; опубл. 11.10.2019 Бюл. № 29. 2 с.
  - Способ формирования микроканалов на подложках и устройство для его реализации: пат. 2709888 Рос. Федерация на изобретение. Бесмельцев В.П., Голошевский Н.В., Катасонов Д.Н., Киприянов Я.А., Баев С.Г.; опубл. 23.12.2019 Бюл. № 36. 3 с.
- В РОСПАТЕНТе находятся заявки на изобретение:

- Способ формирования микроканалов на подложках и устройство для его реализации (авторы: Бессмельцев В.П., Голошевский Н.В., Катасонов Д.Н., Киприянов Я.А., Баев С.Г.), №2019108823/02 (017013), дата регистрации 26.03.2019;
- Система имитации обстановки инфракрасного диапазона (авторы: Гибин И.С., Котляр П.Е., Нежевенко Е.С., Козик В.И.), № 2019123206/08 (045345), дата регистрации 18.07.2019;
- Перестраиваемый волоконный отражательный интерферометр (авторы: Бабин С.А., Косцов Э.Г., Коняшкин В.В., Терентьев В.С., Симонов В.А.), № 2019124254/28 (047353), дата регистрации 26.07.2019;
- Способ определения подлинности и качества изготовления защитных голограмм, выполненных на основе дифракционных микроструктур и устройство для его реализации (авторы: Бессмельцев В.П., Вилейко В.В., Максимов М.В.), № 2019124378 (047643), дата регистрации 29.07.2019;
- Способ выставления вертикали рабочего лазерного луча в баллистическом гравиметре (авторы Стусь Ю.Ф., Калиш Е.Н., Носов Д.А., Сизиков И.С.), № 2019136289/28(0071575), дата регистрации 11.11.2019;
- Способ создания структур показателя преломления внутри образца из прозрачного материала и устройство для его реализации (совместно с НГУ) (авторы: Бабин С.А., Вольф А.А., Достовалов А.В., Терентьев В.С.), № 2019143020, дата регистрации 24.12.2019.

Поддерживается в действии 87 патентов, зарегистрировано 64 программ для ЭВМ, 1 база данных, 2 товарных знака, оформлено 9 ноу–хау.

Заключено 3 договора о совместном патентовании.

В Институте работают Комиссия по охране результатов интеллектуальной деятельности, Комиссия по экспортному контролю и вопросам экспертизы и Комиссия по защите конфиденциальной информации.

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

- Регистрационные карты по 8 темам НИР;
- Отчеты заключительные:

1. «Лазерная диагностика продуктов каталитических реакций гидрирования непредельных углеводородов» проекта «Газообразные биомаркеры для современных приложений магнитно-резонансной томографии» (№ гос. рег. АААА–А18–118051690028–1), инв. АААА–Б19–219121890049–2 *руководитель П.Л. Чаповский*).

2. «БПЛА. Автоматизация полетов, адаптивное управление летательными аппаратами. Выявление на последовательности мультиспектральных изображений малоразмерных очаговых изменений» проекта «Разработка цифровых технологий раннего обнаружения и локализации поражений по-

сево́в сельскохозяйственных культур» (№ гос. рег. АААА-А18-118051890038-8), *руководитель К.Ю. Котов*.

3. «Экспериментальная реализация пико- и фемтосекундных волоконных лазеров для биомедицинской диагностики» проекта «Создание и применение пико- и фемтосекундных волоконных лазеров для биомедицинской диагностики методами нелинейной микроскопии» (№ гос. рег. АААА-А18-118061490065-7), *руководитель Д.С. Харенко*.

4. «Разработка и экспериментальное исследование эффективности методов спектральной и спектрально-пространственной классификации гиперспектральных данных» проекта «Разработка методов и веб-ориентированных технологий тематической обработки мульти- и гиперспектральных данных дистанционного зондирования земли в задачах экологического мониторинга и рационального природопользования» (№ гос. рег. АААА-А18-118051190053-8), *руководитель О.И. Потатуркин*.

5. «Разработка новых принципов функционирования генераторов частоты, функционирующих на высоких тактовых частотах и устойчивых к сверхвысоким инерциальным перегрузкам» проекта «Разработка физико-технических принципов создания генератора тактовой частоты, устойчивого к сверхвысоким инерциальным перегрузкам» (№ гос. рег. АААА-А18-118052590010-4), *руководитель Э.Г. Косцов*.

6. «Исследование и характеристика с помощью ИК и оптической спектроскопии микро- и наноматериалов» проекта «Гибридные методы 3D наноструктурирования, новые наноматериалы и системы» (№ гос. рег. АААА-А18-118052390021-2), *руководитель С.Л. Микерин*.

7. «Разработка полевого баллистического гравиметра на основе интерферометра с Nd:YVO<sub>4</sub> лазером и мониторинг гравитационного поля Земли в сейсмоактивных и пограничных зонах «континент–океан» проекта: «Современные методы измерений смещений, деформаций и силы тяжести для геофизических исследований» (№ гос. рег. АААА-А18-118071190047-5), *руководитель Ю.Ф. Стусь*.

• Отчеты промежуточные:

1. Модели, методы и технологии управления и моделирования для сложных динамических процессов. Автоматизированные системы управления научно-исследовательскими и технологическими комплексами (№ гос. рег. АААА-А17-117060610006-6), *руководитель Ю.Н. Золотухин* (инв. АААА-Б20-220032090036-5).

2. Фотоника микро- и наноструктурированных сред (№ гос. рег. АААА-А17-117060810014-9), *руководитель Д.А. Шапиро* (инв. АААА-Б19-219122490056-1).

3. Фундаментальные проблемы взаимодействия лазерного излучения с однородными и структурированными средами (№ гос. рег. АААА-А17-117052210003-4), *руководитель А.М. Шалагин* (инв. АААА-Б20-220012390087-6).

4. Методы и программно–алгоритмические средства обработки многомерных данных наблюдений в задачах дистанционной диагностики динамических объектов и процессов (№ гос. рег. АААА–А17–117052410034–6), *руководитель О.И. Потатуркин* (инв. АААА–Б19–2190122590040–9).

5. Оптическая спектроскопия для задач материаловедения, химической и биологической физики (№ гос.рег. АААА–А17–117052410033–9), *руководитель Н.В. Суровцев* (инв. АААА–Б20–220012390089–0).

6. Исследование и развитие методов и технологий построения интегрированных программно–аппаратных комплексов для задач моделирования и управления динамическими системами обработки и отображения данных (№ гос. рег. АААА–А17–117062110016–4), *руководитель Лаврентьев М.М.* (АААА–Б20–220011090038–4).

7. Дифракционная и интерференционная оптика: перспективные технологии, характеристика элементов, применение в фотонике и измерительной технике (№ гос. рег. АААА–А17–117052210002–7), *руководитель В.П. Корольков* (АААА–Б20–220020490166–2).

8. Перспективные оптические методы и инструментальные средства для исследования объемной микроструктуры и элементного состава синтезированных и природных материалов (№ гос. рег. АААА–А17–117053110007–0), *руководитель П.Е. Твердохлеб* (АААА–Б20–220032090035–8).

9. Нелинейные явления при распространении лазерного излучения в волоконных, микрорезонаторных и гибридных системах (№ гос. рег. АААА–А17–117062110026–3), *руководитель С.А. Бабин*.

10. Разработка теоретической базы и инструментальных средств проектирования для задач создания программного обеспечения киберфизических систем, развитие методов повышения качества интеллектуальных систем и поведенческих алгоритмов (№ гос. рег. АААА–А19–119120290056–0, *руководитель В.Е. Зюбин* (АААА–Б20–220012790060–5).

## 6.7. ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

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

В декабре 2019 г. в ИАиЭ СО РАН подготовлено и проведено совещание с участием представителей исследовательского центра компании Huawei с целью установления взаимовыгодных отношений между промышленностью и наукой, что должно способствовать внедрению новых технологий на производстве.

Сотрудники Института, ответственные исполнители проектов, представили ряд докладов и продемонстрировали в лабораториях инновационные разработки по соответствующим тематикам:

- Волоконные лазеры (фундаментальные исследования и приложения для создания сенсоров и линий связи);

- Микроэлектромеханика (MEMS), микро генераторы электроэнергии, микродвигатели, генераторы частоты нового поколения;
- Алгоритмы быстрой обработки видеопоследовательностей на мобильных платформах;
- Интегральная оптика;
- Процесс ориентированные технологии и конечные автоматы;
- НТТР фильтрация, архитектура промышленных систем управления;
- Системы 3D идентификации для мобильных платформ.

Проведены переговоры с представителями промышленных предприятий о более подробном рассмотрении создаваемых в Институте, а также изготовлении для их нужд научно–технического оборудования и исследований, в том числе:

- ООО «Омсктехуглерод» – тренажер для подготовки операторов производственных линий;
- ООО «ЭкоХимия» – исследования оптических свойств и структурных характеристик стекла.

Представители Института приняли участие в выездном совещании на ПАО «Тяжстанкогидропрес» совместно с представителями «Департамента промышленности, инноваций и предпринимательства» города Новосибирска.

Институт осуществляет деятельность по продвижению своих инновационных разработок путем представления их на международных и российских форумах и выставках, участия в конкурсах инновационных проектов. Так, работы «Многоканальный лазерный сканирующий конфокальный микроскоп», «Установка высокопроизводительной записи волоконных брэгговских решеток (ВБР) в различных типах световодов для сенсорных и лазерных систем» и «Круговая измерительно-диагностическая установка (КИДУ)» стали лауреатами Конкурса инновационных проектов Петербургской Технической Ярмарки (ПТЯ–2019, *Санкт-Петербург*), подробнее в разделе «Награды».

На прошедшем в октябре 2019 г. форуме «Открытые инновации» (*Москва, Сколково*) – крупнейшем мероприятии в России в области новых технологий, технологического предпринимательства и перспектив международной кооперации в области инноваций сотрудники ИАиЭ СО РАН, помимо представления экспонатов, приняли участие в деловой программе Министерства науки и высшего образования – в работе круглого стола «Передовые цифровые, интеллектуальные производственные технологии, роботизированные системы» с докладами по тематикам:

- «Разработка сенсорных систем на основе волоконно-оптических датчиков для применения в композитных материалах для авиакосмических технологий» - А.А. Вольф, м.н.с. (*лаборатория волоконной оптики*),
- «Прецизионная цифровая интерферометрическая система для контроля формы оптических поверхностей с применением компьютерно-

синтезированных голограмм» - В.Н. Хомутов, м.н.с. (*лаборатория дифракционной оптики*).

Насибулов А.М., помощник директора, представил доклад «Достижения ИАиЭ СО РАН в разработке интеллектуальных производственных технологий и автоматизированных систем управления» в рамках сессии «Исследования и разработки: лучшие практики».

К разработкам Института проявлен значительный интерес, проведены предварительные переговоры с потенциальными партнёрами, в том числе: ПАО «Северсталь» (г. Череповец), МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва), ООО «СВД.Спарк» (г. Троицк), Центр робототехники СИП ТИУ (г. Тюмень), Международный союз приборостроителей и специалистов по информационным и телекоммуникационным технологиям (Москва), FUELEMENT (Москва), ООО «Лазер оптикс дизайн» (Республика Беларусь, г. Минск), ГИПО (г. Казань) и другие.

Постоянно совершенствуется система взаимодействия с Федеральным органом исполнительной власти, контролирующим эксплуатацию интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) и подведомственной организацией – «Федеральный институт промышленной собственности».

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

Сотрудники Инновационного отдела повышают свою квалификацию путем участия в различных семинарах и конференциях по патентной и инновационной тематике, кроме того:

– ведущий инженер А.Н. Матросов завершил обучение в рамках Государственного плана подготовки управленческих кадров для организаций народного хозяйства Российской Федерации в 2018/2019 гг. («Президентская программа», НГУ), получен диплом о профессиональной переподготовке;

– главный специалист по патентной и изобретательской работе О.А. Климина прошла обучение по программам дополнительного профессионального образования (повышение квалификации): по теме "Интеллектуальная собственность. Правовое обеспечение" (ЦНТИ «Прогресс», Санкт-Петербург); по вопросам зарубежного патентования «Школа РСТ (Patent Cooperation Treaty)» (Научно-образовательный центр «Интеллектуальная собственность и интеллектуальные права» Юридического института ТГУ, получены соответствующие удостоверения.

## 6.8. УЧАСТИЕ В ВЫСТАВКАХ. ИЗДАТЕЛЬСКАЯ И ИНФОРМАЦИОННО–РЕКЛАМНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

На обновленной Постоянно действующей экспозиции Выставочного центра СО РАН (*Новосибирск*) представлены следующие разработки Института:

- Дифракционные оптические элементы: синтез и применение (*лаборатория дифракционной оптики*);
- Круговая измерительно–диагностическая установка (КИДУ) (*лаборатория интегрированных информационных систем управления*);
- Многоканальная система отображения и регистрации аудиовизуальной информации (СОРАВИ) (*лаборатория синтезирующих систем визуализации*);
- Обработка и анализ мультиспектральных данных дистанционного зондирования Земли (*лаборатория информационной оптики; лаборатория цифровых методов обработки изображений*);
- Оптоволоконные лазерные системы (*лаборатория волоконной оптики*);
- Прецизионный технологический комплекс лазерной фемтосекундной трехмерной микрообработки с точным профилометрическим контролем (*лаборатория лазерной графики*);
- Системы управления сложными динамическими объектами (*лаборатория нечетких технологий*);
- Широкополосный импульсный терагерцовый спектрометр (*лаборатория информационной оптики*).

В 2019 г. Институт принимал участие в следующих мероприятиях:

- Российская промышленная и технологическая выставка в Китае (в рамках инициативы «Один пояс и один путь», КНР, Шэньян): «Компактный лазерный интерферометр ФТИ-100PS», «Дифракционные оптические элементы: синтез и применение», «Контроль асферических поверхностей»;
- XIV Международная специализированная выставка лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. мир лазеров и оптики – 2019» (*Москва*): «Компактный лазерный интерферометр ФТИ-100PS», «Дифракционные оптические элементы: синтез и применение», «Оптический микропрофилометр» (с работающим образцом МИИ-4-USB-100S), «Установка высокопроизводительной записи волоконных брэгговских решёток (ВБР) в различных типах световодов для сенсорных и лазерных систем», «Устройство для измерения параметров и контроля качества защитных голограмм», «Круговая измерительно-диагностическая установка (КИДУ)»;
- XXV Международная выставка-конгресс «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech-2019) в составе XV Петербургской Технической Ярмарки (*Санкт-Петербург*): «Установка высокопроизводительной записи волоконных брэгговских решёток (ВБР) в различных типах световодов для сенсорных и лазерных систем », «Прецизионный технологический комплекс для оптического производства на основе лазерной фемтосекундной трёхмерной микрообработки и точного профилометрического контроля», «Многоканальный лазерный сканирующий конфокальный микроскоп», «Круговая измерительно-диагностическая установка (КИДУ)»;

- Международный форум «Открытые инновации - 2019» (Москва, «Сколково», в составе экспозиции Министерства науки и высшего образования Российской Федерации): «Разработка сенсорных систем на основе волоконно-оптических датчиков для применения в композитных материалах для авиакосмических технологий», «Прецизионная цифровая интерферометрическая система для контроля формы оптических поверхностей с применением компьютерно-синтезированных голограмм»;
- IV Международный форум–выставка «Городские технологии» (*Новосибирск*): «Датчик аммиака, работающий в широком диапазоне концентраций без деградации.», «Мюонный плотномер», «Дополненная реальность для производства»? «Программно-алгоритмический комплекс анализа данных дистанционного зондирования Земли»;
- VII Международный форум технологического развития «ТЕХНОПРОМ–2019», выставка «Технопром–2019» (*Новосибирск*): инвестиционный проект в сфере науки «Центр оптических информационных технологий и прикладной фотоники (ЦОИТиПФ)», «Системы автоматического управления сложными динамическими объектами», «Многоканальная система отображения и регистрации аудиовизуальной информации (СОРАВИ)».

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 2018 г. (131 с., тираж 100 экз.), полная версия отчета размещена на сайте ИАиЭ СО РАН в разделе «Научная деятельность» - «Годовые отчеты» [https://www.iae.nsk.su/images/stories/2\\_Science/3\\_AnnualReports/iaerep2018.pdf](https://www.iae.nsk.su/images/stories/2_Science/3_AnnualReports/iaerep2018.pdf).

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

Изготовлены и обновлены около 10 рекламных постеров о разработках Института, среди них:



## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЗАЩИТНЫХ ГОЛОГРАММ

Оптико - электронное устройство предназначено для обнаружения, измерения параметров, экспертного (криминалистического) анализа подлинности, и для автоматизированного контроля качества изготовления цифровых синтезированных защитных голограмм, выполненных на основе дифракционных оптических микроструктур без ограничения размера исследуемой голограммы



### Основные технические характеристики:

- ♦ Измеряемые параметры микроструктурных элементов голограммы (голопикселей):
  - период дифракционной решетки,
  - направление дифракционной решетки,
  - размер и форма,
  - дифракционная эффективность микроструктурных элементов голограммы;
- ♦ Диапазон определяемых периодов дифракционных элементов:
  - при сканировании в видимом диапазоне, мкм 0.475 – 1.024,
  - при сканировании в ИК диапазоне, мкм 0.89 – 1.916;
- ♦ Диапазон измеряемых направлений дифракционных решеток, град. 0 – 360;
- ♦ Скорость регистрации данных, мм<sup>2</sup>/сек 0.5;
- ♦ Сканирование и обработка данных производится в реальном времени.

Устройство может работать с голограммами, выполненными на стеклянных и металлических подложках, тонких полимерных пленках с металлическим напылением и без него, ламинирующих пленках, расположенных на документах, банкнотах или упаковке защищаемой продукции.



Результат сканирования голограммы.  
В условных цветах показаны направления микроструктур.



Увеличенный фрагмент голограммы.  
Размер шрифта микротекста 20 мкм.



Увеличенный фрагмент голограммы.  
Микроструктурные элементы имеют форму квадрата со стороной 25 мкм.



## УСТАНОВКА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСИ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК (ВБР) В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ СВЕТОВОДОВ ДЛЯ СЕНСОРНЫХ И ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ

**Волоконно-оптические сенсоры это:**

- малый вес и габариты,
- помехоустойчивость,
- пожаробезопасность,
- высокая чувствительность,
- возможность расположения на одном сигнальном канале большого количества сенсоров,
- возможность использования в средах с повышенным радиационным фоном и химически агрессивных средах

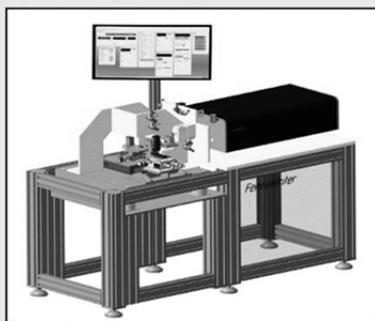


Лабораторный макет установки по записи ВБР с помощью фемтосекундного лазера

**Преимущества создания ВБР с помощью фемтосекундного (фс) лазерного излучения:**

- расширенный температурный диапазон (до 1200 °С в случае использования сапфировых оптических волокон);
- расширенный рабочий диапазон по деформации за счет записи без разрушения защитного пластикового покрытия;
- использование любых оптических волокон, при создании сенсоров для проведения мониторинга в химически агрессивных и радиоактивных средах.

**Автоматизированная производственная установка позволит создавать ВБР фемтосекундным лазерным излучением в специализированных оптических волокнах без удаления защитного покрытия с производительностью не менее 10 шт. в час, для ВБР-датчиков и ВБР-фильтров.**



Макет высокопроизводительной установки по выпуску в промышленных масштабах волоконно-оптических сенсоров

**Преимущества создания ВБР**

- Коэффициент отражения от 1 до 99 %;
- Длина ВБР 0.1-10 см;
- Спектральная ширина 10 нм – 10 нм;
- Диапазон относительных деформаций до 2 % (чувствительность - до 0,0001 %);
- Диапазон рабочих температур для высоко-температурных датчиков до +350 °С (чувствительность – до 0,10);
- Параметр чирпа для чирпованных ВБР 1 нм/см;
- Профиль аподизации для аподизированных решеток: гаусс, супергаусс.

**Применение:**

- ♦ как сенсорные системы: • для мониторинга состояния механических конструкций объектов капитального строительства (мосты, тоннели, здания) • в газо- и нефтедобыче и транспортировке • в энергетике • при создании «умных материалов» для авиации и космонавтики;
- ♦ в телекоммуникациях;
- ♦ лазерной обработке материалов в качестве спектральных фильтров волоконных лазеров.

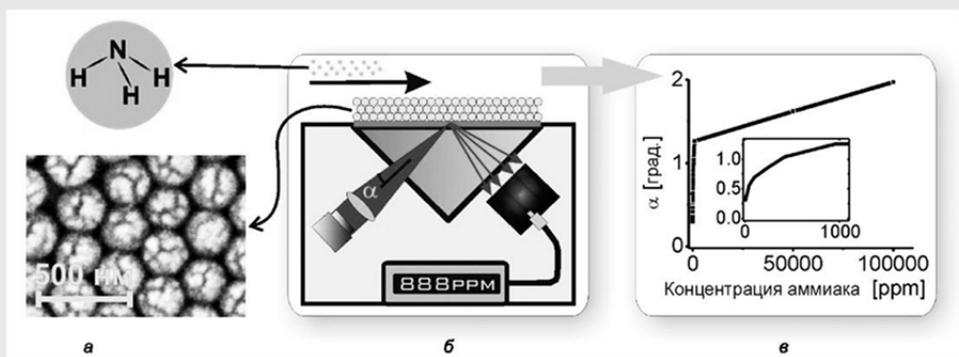
**Потенциальные потребители:** ПАО «Газпром», ПАО «НК «Роснефть», ПАО «РусГидро», ПАО «Россети», ОАО «АК «Транснефть», ОАО «ПНППК», ООО «Инверсия-Сенсор», ПАО «Компания „Сухой“», Airbus, Boeing, госкорпорации «Росатом» и «Роскосмос», ФГУП «ВИАМ», организации РАН, ФАНО и Минобрнауки и др.

**Защищено патентами РФ.**



## ДАТЧИК АММИАКА, РАБОТАЮЩИЙ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ БЕЗ ДЕГРАДАЦИИ

Оптический датчик для измерений газообразного аммиака при его производстве, для нужд МЧС, работе очистных сооружений, на сельскохозяйственных предприятиях.



а – электронная фотография кремнеземной фотонно-кристаллической пленки; б – оптическая схема; в – зависимость отклика датчика от концентрации аммиака (на вставке изображен участок малых концентраций)

### Преимущества:

- Большой динамический диапазон.
- Селективность. Обеспечивается избирательным взаимодействием молекул аммиака с силанольными группами (Si-OH) кремнеземной пленки.
- Устойчивость к коррозионным парам. Обусловлена химической стойкостью кремнезема и оптической схемой сенсора, позволяющей защитить измерительную часть датчика от контакта с анализируемым газом.
- Малое время реакции.
- Долговременная работа в условиях высоких концентраций агрессивного газа.

### Основные технические характеристики:

Динамический диапазон, ppm	1 – 10 <sup>5</sup> (20% концентрации NH <sub>3</sub> в газовой смеси)
Время отклика датчика, с	5
Энергопотребление, мВт	5
Деградация	не выявлена
Буферный объем, мкл	1

Проведены исследования, достаточные для разработки промышленного датчика.

Возможны различные исполнения датчика под разные технические условия, в том числе: батарейный упрощенный вариант, стационарный вариант со сменным осушителем анализатора.

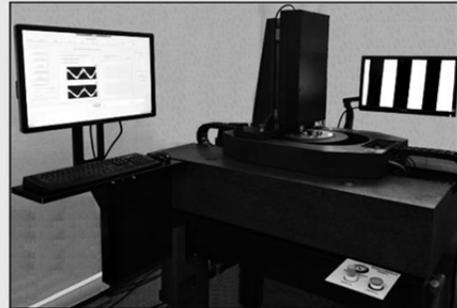


## КРУГОВАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНО – ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА (КИДУ)

Предназначена для измерения и диагностики повреждений топологии рабочих образцов и фото-шаблонов оптических лимбов, круговых шкал, растров и многоразрядных кодовых дисков (углоизмерительных структур – УИС). Спроектирована на основе базовой платформы АЭ.1686.

Состоит из:

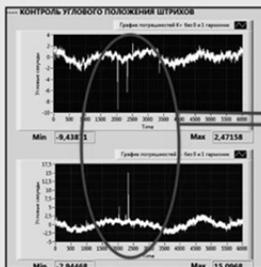
- ◆ оптико-механический блок:
  - прецизионный поворотный стол,
  - считывающая головка (установлена на прецизионном линейном столе).
- ◆ стойка управления, включая два монитора: операционный и технологический.



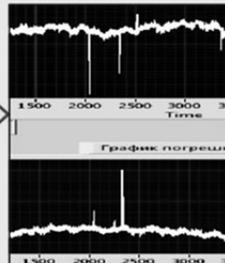
В **автоматическом** режиме ПО установки обеспечивает получение (по выбору) информации о:

- угловом положении границ элементов топологии;
- угловой привязке положений элементов топологии, находящихся на разных радиусах;
- угловом положении осей элементов топологии;
- углом отклонения положения границ элементов топологии;
- отклонении положения осей от номинальных значений, указанных в КД;
- ширине и разности ширины элементов топологии.

В **ручном** режиме оператор на *операционном* мониторе выбирает на полученных кривых измерений интересующий участок объекта и наблюдает его, сканируя по радиусу, на *технологическом* мониторе.



Результаты измерений



Выбранный участок объекта



Микроизображение участка

**Основные технические характеристики:**

- Погрешность измерения углового положения границ элементов топологии, угл. с ± 0,5
- Погрешность измерения угловой привязки положений элементов топологии, находящихся на разных радиусах, угл. с ± 0,5
- Погрешность определения углового положения осей, углового отклонения положения границ элементов топологии и положения осей от номинальных значений, указанных в КД, угл. с ± 0,5
- Погрешность определения ширины и разности ширины элементов топологии, мкм ± 0,1
- Время измерения параметров для УИС, расположенных на одном радиусе, мин не более 5
- радиальная длина элементов топологии, мм от 0,2 до 5

Аналогов в РФ нет. Технические решения в части метода измерений, конструкции установки в целом и некоторых её узлов, методики калибровки угловых датчиков защищены патентами РФ.

Новосибирск / Novosibirsk

<http://www.iae.nsk.su>

тел.: (383) 330-83-00, (383) 330-51-34, факс: (383) 330-88-78

e-mail: [innovation@iae.nsk.su](mailto:innovation@iae.nsk.su), [alexey@iae.nsk.su](mailto:alexey@iae.nsk.su)





## ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА

Дополненная реальность – это:

- ◆ Представление информации в реальном времени в виде наглядной трёхмерной анимации, видео, аудио, фотографий, картинках или графиках;
- ◆ оперативное получение доступа к инструкциям и руководствам по любой детали;
- ◆ распознавание формы деталей, номера и иной информации;
- ◆ контроль во избежание ошибочных действий при монтаже.



Использование смартфона или планшета с хорошей камерой в качестве AR устройства .

- Цели: ◆ увеличение производительности труда; ◆ сокращение времени на обучение;
- ◆ снижение производственных издержек; ◆ повышение информ-вооруженности;
  - ◆ сокращение брака; ◆ обеспечение безопасности.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ:

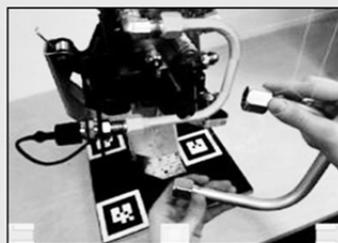
Для дополненной реальности необходимы AR-очки, например, такие



Если на руке лежит маркер, то поверх маркера в этих очках рисуется виртуальный объект



Поверх сборочного стола с маркерами можно получить инструкцию о том, что должно быть собрано:



- Применение: ◆ инструменты для автоматизации процессов и повышения производительности;
- ◆ обучение сотрудников; ◆ сокращение брака продукции.; ◆ повышение эффективности логистических процессов; ◆ обеспечение безопасности труда.

## 6.9. НАГРАДЫ

В 2019 году сотрудниками Института получены следующие награды:

**Благодарственное письмо ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина»** за внесение существенного вклада в реализацию российских космических программ - зав. лабораторией, к.т.н. *Б.С. Долговесов*.

**Благодарственное письмо Президиума СО РАН** за активное участие в организации и развитии деятельности молодых ученых и в связи с 20-летием создания Совет научной молодежи СО РАН – председатель Совета научной молодежи ИАиЭ СО РАН, к.ф.-м.н. *И.А. Лобач*; зам. председателя Совета научной молодежи, к.ф.-м.н. *Е.И. Донцова*.

**Почетная грамота мэрии г. Новосибирска** за многолетний добросовестный труд, большой вклад в развитие фундаментальных и прикладных научных исследований – гл.н.с., д.ф.-м.н. *В.К. Малиновский*, ст.н.с., к.т.н. *А.М. Щербаченко*; за многолетнюю плодотворную деятельность, большой вклад в развитие отечественной науки – зав. лабораторией, к.т.н. *А.В. Кирьянов*; за многолетний добросовестный труд, высокий профессионализм – гл. спец.-электроник *В.И. Литвинцев*, зав. отделом *Г.Н. Карасева*.

**Почетная грамота Департамента промышленности и предпринимательства мэрии г. Новосибирска** за добросовестный труд и высокие результаты в профессиональной деятельности по итогам работы в 2018 г. – зам. директора по научной работе, д.ф.-м.н. *М.М. Лаврентьев*.

**Благодарственное письмо мэрии г. Новосибирска** за плодотворное сотрудничество в проведении конкурса премий в сфере науки и инноваций - к.т.н. *К.Ф. Лысаков*.

**Благодарственное письмо мэрии г. Новосибирска** за участие в городском конкурсе на соискание звания «Предприятие высокой социальной ответственности».

**Благодарственное письмо Администрации Советского района города Новосибирска** за активное участие в научно-исследовательской работе – победители конкурса грантов мэрии для молодых ученых и специалистов в сфере научной и инновационной деятельности ст.н.с., к.т.н. *Н.Н. Николаев*, инж.-программист *В.А. Симонов*.

**Почетное звание «Заслуженный ветеран СО РАН»** за многолетний добросовестный труд, достигнутые трудовые успехи – *А.Ю. Беликов*, *Е.В. Зорина*, *А.К. Комаров*, *М.В. Максимов*, *С.Л. Микерин*.

**Диплом мэрии г. Новосибирска** за II место на городском конкурсе «На лучшее состояние условий и охраны труда» – директор, чл.-корр. РАН *С.А. Бабин*.

Кроме того, три проекта Института стали лауреатами **Петербургской технической ярмарки по итогам Конкурса инновационных проектов «Лучший инновационный проект и лучшая научно-техническая разработка года»**, проходившего в рамках XXV Международной выставки-

конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech)) (Санкт-Петербурге) в различных номинациях и награждены:

- **Золотой медалью и Дипломом I степени** за проект «Многоканальный лазерный сканирующий конфокальный микроскоп» (*лаборатория лазерной графики*) – в номинации «Приборостроение, отечественные элементная база, компьютеры и комплектующие»;
- **Серебряной медалью и Дипломом II степени** за проект «Установка высокопроизводительной записи волоконных брэгговских решеток (ВБР) в различных типах световодов для сенсорных и лазерных систем» (*лаборатория волоконной оптики*) – в номинации «Робототехника, промышленные и домашние роботы, автороботы, аэроботы, пикоспутники, сенсоры и датчики, интернет вещей»;
- **Дипломом** за проект «Круговая измерительно-диагностическая установка (КИДУ)» (*лаборатория интегрированных информационных систем управления*) – в номинации «Лучшая в своем классе технология, высокотехнологичная конкурентоспособная продукция, удешевление и ускорение разработки и производства изделий».

В 2019 году Институтом также получены:

Диплом Минобрнауки России за активное участие в работе экспозиции и деловой программе Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на Форуме «Открытые инновации»;

Диплом Международной выставки инноваций «НИ-ТЕСН» за активное участие в выставке «Hi-Tech» и вклад в развитие инновационных технологий и высокотехнологичных производств в России;

Благодарность от Департамента промышленности, инноваций и предпринимательства мэрии г. Новосибирска за активное участие в организации и проведении IV Международного форума-выставки «Городские технологии»;

Диплом XIV Международной специализированной выставки лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики – 2019» (Москва).

## 7. ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИАиЭ СО РАН в 2019 г.

### МОНОГРАФИИ

1. В книге «Уровень развития техники и технологий в XXI веке». Часть 1 / Одесса: Куприенко СВ. 2019. 227 с.:  
Вяткин С.И., Панфилова Ю.О., Романюк А.Н., Трояновская Т.И., Чан А. Ле В. Дешифрирование изображений с использованием скалярных функций возмущения. Гл. 13. С. 180–189. DOI 10.30888/2706–8692.2019–01–026.
2. В книге «Инновационные технологии в жизни современного человека». Часть 2 / Одесса: Куприенко СВ. 2019. 98 с.:  
Вяткин С.И., Романюк А.Н., Кирилащук С.А. Метод извлечения поверхностей из объемных данных. Гл. 3. С. 26–38. DOI 10.30888/2663–9882.2019–01–009.
3. Марчук А.Г. Методы расчета прямых и обратных задач кинематики цунами. Новосибирск: Наука. 2019. 171 с.
4. In the book “Lecture notes in computer science. 12th International Andrei P. Ershov Informatics Conference PSI 2019, Novosibirsk, Russia, July 2–5, 2019, Revised Selected Papers” / edited by Bjørner N. et al. 2019. Vol. 11964:  
Anureev I., Garanina N., Liakh T.V., Rozov A.S., Zyubin V.E., Gorlatch S. Two–Step Deductive Verification of Control Software Using Reflex. P. 50–63. DOI 10.1007/978–3–030–37487–7\_5.
5. In the book “Handbook of Optical Fibers” / edited by Gang-Ding Peng, Singapore: Springer. 2019:  
Chekhovskoy S., Sidelnikov O.S., Reduyk A.A., Rubenchik A.M., Shtyrina O.V., Fedoruk M.P., Turitsyn S.K., Zlobina E.A., Kablukov S.I., Babin S.A., Krupa K., Couderc V., Tonello A., Barth’el’emy A., Millot G., Wabnitz S. Nonlinear Waves in Multimode Fibers. P. 1–55. DOI 10.1007/978–981–10–1477–2\_15–1.
6. In the book “Big data processing: methods, models and information technologies. Series: Applied research in computer science” / edited by Pursky O.I. Shioda GmbH, Steyr, Austria. 2019. 234 p.:  
Vyatkin S.I., Romanyuk A., Nechiporuk M., Romanyuk O., Troianovska T. Visualization of volumetric data and functionally defined surfaces using graphics processing units. P. 216–228.

### СТАТЬИ

#### Научные журналы

1. Абдулкадыров М.А., Семенов А.П., Белоусов С.П., Владимиров Н.М., Добриков Н.С., Игнатов А.Н., Патрикеев В.Е., Придня В.В., Полянщиков А.В., Насыров Р.К. Изготовление зеркал для нового турецкого телескопа с 4–хметровым главным зеркалом // Контенант. – 2019. – Т. 18, № 1. – С. 96–109.

2. Абдулкадыров М.А., Семенов А.П., Белоусов С.П., Добриков Н.С., Игнатов А.Н., Патрикеев В.Е., Придня В.В., Полянщиков А.В., Насыров Р.К., Шаров Ю.А. Метрологическое обеспечение процесса изготовления крупногабаритных оптических зеркал // Там же, т. 1, № 1. – С. 28–61.
3. Абдуллина С.Р., Скворцов М.И., Власов А.А., Подивилов Е.В., Бабин С.А. ВКР–лазер с распределенной обратной связью на основе массива волоконных брэгговских решеток // Фотон–экспресс. – 2019. – № 6. – С. 247–248. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16124.
4. Антропов А.А., Харенко Д.С., Рябчикова Е.И., Бардашева А.В., Ломзов А.А. Возможность исследования клеток гриба *Candida albicans* с помощью комбинационного рассеяния света // Прикладная фотоника. – 2019. – Т. 6, № 3–4. – С. 127–135. – DOI 10.15593/2411–4367/2019.3–4.01.
5. Антропов А.А., Евменова Е.А., Харенко Д.С., Кузнецов А.Г., Каблуков С.И., Бабин С.А. Разработка волоконного источника для CARS // Фотон–экспресс. – 2019. – № 6. – С. 245–246. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16123.
6. Ануреев И.С. Операционная семантика аннотированных Reflex программ // Моделирование и анализ информационных систем. – 2019. – Т. 26, № 4. – С. 475–487. – DOI 10.18255/1818–1015–2019–4–475–487.
7. Бабин С.А., Селюнин Д.О., Лабусов В.А. Быстродействующие анализаторы МАЭС на основе линеек фотодетекторов БЛПП–2000 и БЛПП–4000 // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2019. – Т. 85, № 1, ч. II. – С. 96–102. – DOI 10.26896/1028–6861–2019–85–1–II–96–102.
8. Белоконь С.А., Деришев Д.С., Золотухин Ю.Н., Ян А.П. Моделирование движения гибридного летательного аппарата // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 4. – С. 49–56. – DOI 10.15372/AUT20190405.
9. Белоконь С.А., Деришев Д.С., Золотухин Ю.Н., Нестеров А.А., Филиппов М.Н. Управление движением гибридного летательного аппарата в переходных режимах // Там же, с. 37–48. – DOI 10.15372/AUT20190404.
10. Береза А.С., Немькин А.В., Фруммин Л.Л., Перминов С.В., Шапиро Д.А. Теория возмущений в задаче рассеяния света на наночастицах // Фотон–экспресс. – 2019. – № 6. – С. 281–282. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16145.
11. Бессмельцев В.П., Павленко А.Н., Жуков В.И. Разработка технологии создания структурированных капиллярно–пористых покрытий методом 3D–печати для интенсификации теплообмена при кипении // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 25–35. – DOI 10.15372/AUT20190604.
12. Бехтерев А.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н., Строков И.И. О флюорографии, цифровой рентгенографии, скрининге и эффективности // Поликлиника. – 2019. – № 1–1. – С. 17–20.

13. Бехтерев А.В., Лабусов В.А., Лохтин Р.А., Пьянов Д.А., Строков И.И., Храмов М.С. Поиск объективных критериев качества цифровых рентгеновских изображений для оптимизации режимов их регистрации по отношению качество/доза // Российский электронный журнал лучевой диагностики. – 2019. – Т. 9, № 1. – С. 160–176. – DOI 10.21569/2222-7415-2019-9-1-160-176.
14. Борзов С.М., Гурьянов М.А., Потатуркин О.И. Исследование эффективности классификации трудноразличимых типов растительности по гиперспектральным изображениям // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 3. – С. 464–473. – DOI 10.18287/2412-6179-2019-43-3-464-473.
15. Бударных А.Е., Лобач И.А., Каблуков С.И. Тулиевый волоконный лазер с управляемым самосканированием частоты // Фотон-экспресс. – 2019. – № 6. – С. 226–227. – DOI 10.24411/2308-6920-2019-16113.
16. Ващенко П.В., Болдова С.С., Лабусов В.А. Высокоскоростной спектральный пирометр на основе спектрометра «Колибри-2» // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2019. – Т. 85, № 1, ч. II. – С. 122–125. – DOI 10.26896/1028-6861-2019-85-1-II-122-125.
17. Ващенко П.В., Лабусов В.А., Гаранин В.Г., Борисов А.В. Расширение диапазона определяемых содержаний элементов за счет использования линий с самопоглощением // Там же, с. 112–116. – DOI 10.26896/1028-6861-2019-85-1-II-112-116.
18. Вольф А.А., Скворцов М.И., Камынин В.А., Жлуктова И.В., Абдуллина С.Р., Достовалов А.В., Цветков В.Б., Бабин С.А. 2,07-микронный гольмиевый волоконный лазер с распределенной обратной связью // Фотон-экспресс. – 2019. – № 6. – С. 241–242. – DOI 10.24411/2308-6920-2019-16121.
19. Вольф А.А., Достовалов А.В., Семенов С.Л., Журавлев С.Г., Салганский М.Ю., Егорова О.Н. Создание однородных и неоднородных ВБР в 7-сердцевинном волоконном световоде методом фемтосекундной поточечной записи // Прикладная фотоника. – 2019. – Т. 6, № 1/2. – С. 47–58. – DOI 10.15593/2411-4367/2019.1-2.05.
20. Вольф А.А., Бронников К.А., Якушин С.С., Достовалов А.В., Семёнов С.Л., Журавлев С.Г., Салганский М.Ю., Егорова О.Н., Бабин С.А. Фемтосекундная запись массивов ВБР в 7-сердцевинных волоконных световодах для сенсорных применений // Фотон-экспресс. – 2019. – № 6. – С. 158–159. – DOI 10.24411/2308-6920-2019-16187.
21. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Комбинированный метод визуализации функционально заданных поверхностей и трёхмерных структур // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 81–91. – DOI 10.15372/AUT20190209.
22. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Метод сжатия объемных данных с применением функций возмущения // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2019. – № 5. – С. 22–27. – DOI 10.14489/vkit.2019.05.pp022-027.

23. Вяткин С.И., Романюк А.Н. Метод спектральной обработки геометрии трехмерных объектов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»: Всеукраїнський науковий збірник. – 2019. – № 1/2. – С. 19–26. – DOI 10.31474/1996–1588–2019–1–28–19–26.
24. Вяткин С.И., Романюк А.Н., Снигур А.В., Костюкова Н.С. Теоретико-множественные операции над свободными формами на основе управляющих сеток // Там же, с. 12–18. – DOI 10.31474/1996–1588–2019–1–28–12–18.
25. Вяткин С.И. Рейкастинг трехмерных текстур и функционально заданных поверхностей с применением графических ускорителей // Программные системы и вычислительные методы. – 2019. – № 2. – С. 23–32. – DOI 10.7256/2454–0714.2019.2.28666.
26. Гаранин В.Г., Неклюдов О.А., Петроченко Д.В., Семенов З.В., Панкратов С.В., Ващенко П.В. Программное обеспечение атомного спектрального анализа «Атом» // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2019. – Т. 85, № 1, ч. II. – С. 103–111. – DOI 10.26896/1028–6861–2019–85–1–II–103–111.
27. Гаранина Н.О., Ануреев И.С., Боровикова О.И., Зюбин В.Е. Методы специализации онтологии процессов, ориентированной на верификацию // Моделирование и анализ информационных систем. – 2019. – Т. 26, № 4. – С. 534–549. – DOI 10.18255/1818–1015–2019–4–534–549.
28. Гибин И.С., Котляр П.Е. Модели абсолютно черного тела // Успехи прикладной физики. – 2019. – Т. 7, № 2. – С. 188–200.
29. Гибин И.С., Козик В.И., Нежевенко Е.С. Источники излучения для проекторов инфракрасных сцен // Прикладная физика. – 2019. – № 2. – С. 67–73.
30. Гибин И.С., Котляр П.Е. Неохлаждаемые матричные терагерцовые преобразователи изображений. Принципы конструирования // Там же, № 4. – С. 80–86.
31. Гибин И.С., Котляр П.Е. Экспериментальная динамика температурно-иницированного фазового перехода «металл–диэлектрик» в диоксиде ванадия // Там же, № 5. – С. 44–53.
32. Гибин И.С., Котляр П.Е. Электронно–оптический преобразователь изображения с автоэмиссионным фотокатодом // Там же, № 3. – С. 31–38.
33. Гибин И.С., Котляр П.Е. Динамика сверхбыстрого фотоиндуцированного фазового перехода в диоксиде ванадия // Там же, № 6. – С. 73–81.
34. Горбенко Н.И., Ильин В.П., Фрумин Л.Л. Расчёт рассеяния света на брэгговской решётке рекурсивной трансфер–матриц на неравномерной сетке // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 40–50. – DOI 10.15372/AUT20190106.
35. Громилин Г.И., Косых В.П., Попов С.А., Стрельцов В.А. Подавление фона с резкими перепадами яркости в последовательности изображе-

- ний динамических малоразмерных объектов // Там же, № 3. – С. 3–12. – DOI 10.15372/AUT20190301.
36. Гурова Т.А., Клименко Д.Н., Луговская О.С., Елкин О.В., Козик В.И. Спектральные характеристики сортов пшеницы при биотическом стрессе // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 10. – С. 71–75. – DOI 10.24411/0235–2451–2019–11016.
  37. Деревянко Д.И., Орлова Н.А., Шелковников В.В., Шундрин И.К., Гольденберг Б.Г., Корольков В.П. Формирование высокоаспектных микроструктур на тетраакрилат/акриламидных мономерях под действием синхротронного излучения // Химия высоких энергий. – 2019. – Т. 53, № 2. – С. 127–134. – DOI 10.1134/S0023119319020049.
  38. Деревяшкин С.В., Соболева Е.А., Шелковников В.В., Малышев А.И., Корольков В.П. Маскирующие свойства структур на основе триакриламидного производного полифторхалкона при жидкостном и реактивном ионном травлении // Микроэлектроника. – 2019. – Т. 48, № 1. – С. 16–30. – DOI 10.1134/S0544126919010034.
  39. Дзюба А.А., Лабусов В.А., Бабин С.А. Анализаторы МАЭС с линейками фотодетекторов БЛПП–2000 и БЛПП–4000 в сцинтилляционной атомно–эмиссионной спектроскопии // Аналитика и контроль. – 2019. – Т. 23, № 1. – С. 35–42. – DOI 10.15826/analitika.2019.23.1.005.
  40. Димова А.С., Котов К.Ю., Мальцев А.С., Семенюк Е.Д., Соболев М.А. Управление траекторным движением квадрокоптера при транспортировке груза на подвесе: эксперимент // Вестник НГУ. Сер. Информационные технологии. – 2019. – Т. 17, № 4. – С. 46–56. – DOI 10.25205/1818–7900–2019–17–4–5–46–56.
  41. Журавель Ф.А., Скурлатов А.И., Щербаченко А.М. Определение и коррекция ошибок в сигналах квадратурных детекторов лазерных интерферометров // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 45–51. – DOI 10.15372/AUT20190306.
  42. Заболотский А.А. Влияние нелокальности отклика среды на поляризацию солитона // Там же, № 6. – С. 87–93. – DOI 10.15372/AUT20190611.
  43. Заболотский А.А. Невзаимное распространение солитонов в хиральной среде // Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2019. – Т. 110, вып. 5. – С. 303–306. – DOI 10.1134/S0370274X1917003X.
  44. Заболотский А.А. Солитоны без огибающей в двухуровневой среде, имплантированной в анизотропную матрицу // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2019. – Т. 156, вып. 5. – С. 890–895. – DOI 10.1134/S0044451019110063.
  45. Заболотский А.А. Солитоны поляризации электрона в спиральной молекуле // Там же, т. 155, вып. 1. – С. 175–183. – DOI 10.1134/S0044451019010140.
  46. Заксас Н.П., Веряскин А.Ф. Двухструйная дуговая плазма: матричные влияния и способы их подавления // Заводская лаборатория. Диагно-

- стика материалов. – 2019. – Т. 85, № 1, ч. II. – С. 139–144. – DOI 10.26896/1028–6861–2019–85–1–II–139–144.
47. Зарубин И.А., Лабусов В.А., Бабин С.А. Характеристики малогабаритных спектрометров с дифракционными решетками разных типов // Там же, с. 117–121. – DOI 10.26896/1028–6861–2019–85–1–II–117–121.
  48. Золотухин Ю.Н., Мальцев А.С., Филиппов М.Н., Котов К.Ю., Димова А.С. Адаптивное управление движением группы роботов по заданной траектории // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 3–10. – DOI 10.15372/AUT20190601.
  49. Каширина Е.К., Лобач И.А., Каблуков С.И. Неодимовый волоконный лазер с самосканированием частоты // Фотон–экспресс. – 2019. – № 6. – С. 228–229. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16114.
  50. Кирьянов А.В., Кирьянов В.П., Чуканов В.В. Алгоритмы интерполяции квадратурных сигналов для высокоразрешающих преобразователей линейных и угловых перемещений // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 64–71. – DOI 10.15372/AUT20190109.
  51. Кирьянов А.В., Кирьянов В.П. Метод компенсации искажений траекторий относительного движения записывающего луча в лазерных генераторах изображений с круговым сканированием // Там же, № 3. – С. 94–102. – DOI 10.15372/AUT20190311.
  52. Кирьянов А.В., Зотов А.А., Каракоцкий А.Г., Кирьянов В.П., Петухов А.Д., Чуканов В.В. Оперативный контроль оптических прецизионных углоизмерительных структур // Оптический журнал. – 2019. – Т. 86, № 9. – С. 60–62. – DOI 10.17586/1023–5086–2019–86–09–60–62.
  53. Комаров А.К., Комаров К.П., Терентьев В.С., Ли Л., Чжао Л.М. Генерация шумовых импульсов в волоконных лазерах с пассивной синхронизацией мод // Фотон–экспресс. – 2019. – № 6. – С. 358–359. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16187.
  54. Косцов Э.Г., Соколов А.А. Гигагерцовый MEMS–генератор тактовой частоты // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 61–69. – DOI 10.15372/AUT20190207.
  55. Красных А.А., Черепенников Ю.М., Стучебров С.Г., Милойчикова И.А., Гавриков Б.М., Белоусов Д.А., Казарян М.А. Сравнение рассеяния электронного пучка на краях коллиматоров из пластика и металла // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2019. – Т. 46, № 7. – С. 15–20. – DOI 10.3103/S1068335619070030.
  56. Крутский Ю.Л., Непочатов Ю.К., Пель А.Н., Сковородин И.Н., Дюкова К.Д., Крутская Т.М., Кучумова И.Д., Матц О.Э., Тюрин А.Г., Эмурлаева Ю.Ю., Подрябинкин С.И. Синтез полидисперсного карбида бора и получение керамики на его основе // Журнал прикладной химии. – 2019. – Т. 92, № 6. – С. 719–727. – DOI 10.1134/S00444461819060045.
  57. Кугаевских А.В., Согрешилин А.А. Анализ эффективности выделения границ сегментов средствами нейронных сетей // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 4. – С. 118–128. – DOI 10.15372/AUT20190413.

58. Кузнецов А.Г., Харенко Д.С., Бронников К.А., Достовалов А.В., Бабин С.А. Исследование формирования ЛИППС структур с помощью полностью волоконного источника чирпированных диссипативных солитонов // Фотон–экспресс. – 2019. – № 6. – С. 330–331. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16172.
59. Кузнецов С.А. К вопросу об актуальности разработки отечественных архитектурно–строительных САПР // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2019. – № 2. – С. 1–9. – DOI 10.25791/pribor.02.2019.463.
60. Кузнецов С.А. Отечественные САПР для лёгкой промышленности – результат предметно–ориентированного подхода к их разработке // Там же, № 9. – С. 1–8. – DOI 10.25791/pribor.09.2019.868.
61. Кузнецов С.А., Николаев Н.А., Трашкеев С.И., Лазорский П.А., Аржанников А.В. Применение концепции ультратонких резонансных поглотителей для управления миллиметровым излучением с помощью жидких кристаллов // Сибирский физический журнал. – 2019. – Т. 14, № 2. – С. 86–102. – DOI 10.25205/2541–9447–2019–14–2–86–102.
62. Лихачев А.В. Модифицированный метод обнаружения мелких структур на зашумлённых изображениях // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 55–63. – DOI 10.15372/AUT20190607.
63. Лобач И.А., Дробышев Р.В., Подивилов Е.В., Каблуков С.И. Метод спектральной характеристики динамических решеток в волоконном самосканирующем лазере // Фотон–экспресс. – 2019. – № 6. – С. 232–233. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16116.
64. Лубков А.А., Попов Ю.А. Современные солнечные телескопы наземного базирования и требования к системам их автоматизации // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 111–128. – DOI 10.15372/AUT20190114.
65. Лях Т.В., Зюбин В.Е., Гаранина Н.О. Автоматическая верификация алгоритмов управления в киберфизических системах на программных имитаторах // Там же, № 2. – С. 103–113. – DOI 10.15372/AUT20190211.
66. Лях Т.В., Марченко К.В. Мобильное приложение непрерывной передачи видеоданных в облачные сервисы // Вестник НГУ, сер. Информационные технологии. – 2019. – Т. 17, вып. 1. – С. 53–60. – DOI 10.25205/1818–7900–2019–17–1–53–60.
67. Меркулова Е.А., Зюбин В.Е., Князев Г.Г. Метод проверки гипотез на базе статистической обработки разнородных электроэнцефалографических данных // Там же, с. 61–71. – DOI 10.25205/1818–7900–2019–17–1–61–71.
68. Мишевский М.С., Жданов И.С., Харенко Д.С. Измерение дисперсии и мощностных характеристик активных эрбиевых световодов // Фотон–экспресс. – 2019. – № 6. – С. 403–404. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16212.

69. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Оптические решеточно-волноводные сенсоры на основе халькогенидных стекол // Оптика и спектроскопия. – 2019. – Т. 126, вып. 4. – С. 523–526. – DOI 10.21883/OS.2019.04.47523.182–18.
70. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Сравнение характеристик волноводных рефрактометрических сенсоров // Там же, т. 127, вып. 6. – С. 1013–1018. – DOI 10.21883/OS.2019.12.48702.249–19.
71. Нежевенко Е.С. Нейросетевая классификация трудноразличимых типов растительности по гиперспектральным признакам // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 62–70. – DOI 10.15372/AUT20190308.
72. Новоселов А.Р., Алдохин П.А., Маточкин А.Е., Добровольский П.П., Шатунов К.П. Оперативные методы контроля формы поверхностей компонент фотоприёмников flip-chip ИК-диапазона // Там же, № 2. – С. 70–80. – DOI 10.15372/AUT20190208.
73. Окотруб К.А., Зыкова В.А., Адищев С.В., Суровцев Н.В. Определение ориентации фосфолипидных молекул в планарных структурах по спектрам комбинационного рассеяния света // Там же, № 5. – С. 86–92. – DOI 10.15372/AUT20190512.
74. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Влияние геометрии накачки на эффективность генерации лазера на парах щелочных металлов // Квантовая электроника. – 2019. – Т. 49, № 2. – С. 103–110. – DOI 10.1070/QEL16775.
75. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Повышение чувствительности эффекта светоиндуцированного дрейфа к потенциалам межатомного взаимодействия при использовании смеси двух буферных газов // Там же, № 7. – С. 683–688. – DOI 10.1070/QEL16856.
76. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Сужение линии поглощения легких атомов щелочных металлов в атмосфере тяжелых инертных газов при росте интенсивности излучения // Оптика и спектроскопия. – 2019. – Т. 127, № 5. – С. 721–729. – DOI 10.21883/OS.2019.11.48505.118–19.
77. Пелипасов О.В., Путьмаков А.Н. Анализ моторных масел с использованием спектрометра «Экспресс» и источника микроволновой плазмы // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2019. – Т. 85, № 1, ч. II. – С. 91–95. – DOI 10.26896/1028–6861–2019–85–1–II–91–95.
78. Пелипасов О.В., Лохтин Р.А., Лабусов В.А., Пелевина Н.Г. Аналитические возможности спектрометра «Гранд» при анализе растворов с использованием индуктивно-связанной плазмы // Там же, с. 82–85. – DOI 10.26896/1028–6861–2019–85–1–II–82–85.
79. Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н., Чернов К.Н., Боровиков В.М., Бурумов И.Д., Селюнин Д.О., Гаранин В.Г., Зарубин И.А. Спектрометр с микроволновой плазмой «Гранд-СВЧ» для атомно-эмиссионного анализа // Аналитика и контроль. – 2019. – Т. 23, № 1. – С. 24–34. – DOI 10.15826/analitika.2019.23.1.004.
80. Пен Е.Ф. Энергетическая эффективность фотоэлектрических панелей при использовании голографических решеток в качестве пассивных

- трекеров солнечного излучения // *Автометрия*. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 71–81. – DOI 10.15372/AUT20190309.
81. Резник А.Л., Соловьев А.А., Торгов А.В. Многоэтапные алгоритмы локализации случайного импульсного источника с двухступенчатой плотностью вероятности распределения на интервале поиска // Там же, № 4. – С. 99–107. – DOI 10.15372/AUT20190411.
82. Резник А.Л., Тузиков А.В., Соловьев А.А., Торгов А.В. Оптимальные по быстродействию алгоритмы поиска неизвестного точечного источника со случайной дисциплиной генерации мгновенных импульсов // *Известия Алтайского государственного университета*. – 2019. – № 1. – С. 99–103. – DOI 10.14258/izvasu(2019)1–17.
83. Розов А.С., Зюбин В.Е. Адаптация процесс–ориентированного подхода к разработке встраиваемых микроконтроллерных систем // *Автометрия*. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 114–122. – DOI 10.15372/AUT20190212.
84. Сапрыкин Э.Г. Инверсия вклада изотопа малой относительной концентрации в суммарный коэффициент поглощения смеси изотопов неона на переходе  $3s_2-2p_4$  // *Оптика и спектроскопия*. – 2019. – Т. 127, № 2. – С. 179–190. – DOI 10.21883/OS.2019.08.48027.122–18.
85. Сапрыкин Э.Г., Черненко А.А. Формирование спектров резонансов насыщенного поглощения на закрытых переходах в спектроскопии однонаправленных волн // *Квантовая электроника*. – 2019. – Т. 49, № 5. – С. 479–487. – DOI 10.1070/QEL16997.
86. Сапрыкин Э.Г., Черненко А.А. Эффекты насыщения и самонасыщения в спектроскопии однонаправленных волн на переходы между уровнями с полным моментом  $J = 1$  // *Оптика и спектроскопия*. – 2019. – Т. 127, № 4. – С. 671–682. – DOI 10.21883/OS.2019.10.48375.164–17.
87. Симонов В.А., Ульзутуев Б.Б. Спектральный фильтр на эффекте наведенной связи мод в двухсердцевинном волокне // *Фотон–экспресс*. – 2019. – № 6. – С. 316–317. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16165.
88. Содномай А.Б., Лобач И.А., Каблуков С.И. Выжигание дыр в спектре неодимового волоконного усилителя // Там же, с. 390–391. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16204.
89. Твердохлеб П.Е., Щепеткин Ю.А., Штейнберг И.Ш. Исследование характеристик толстых дифракционных решёток методом лазерной гетеродинной томографии // *Автометрия*. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 26–34. – DOI 10.15372/AUT20190104.
90. Терентьев В.С., Симонов В.А., Лобач И.А., Бабин С.А. Метод изготовления волоконного отражательного интерферометра на основе металлodieлектрической дифракционной структуры // *Квантовая электроника*. – 2019. – Т. 49, № 4. – С. 399–403. – DOI 10.1070/QEL16922.
91. Терентьев В.С., Коняшкин В.В., Симонов В.А., Косцов Э.Г. МОЭМ резонатор волоконного отражательного интерферометра // *Прикладная фотоника*. – 2019. – Т. 6, № 1/2. – С. 59–71. – DOI 10.15593/2411–4367/2019.1–2.06.

92. Ткаченко А.Ю., Лобач И.А., Каблуков С.И. Когерентный оптический частотный рефлектометр на основе волоконного лазера с самосканированием частоты // Квантовая электроника. – 2019. – Т. 49, № 12. – С. 1121–1126. – DOI: 10.1070/QEL17165.
93. Ткаченко А.Ю., Лобач И.А., Каблуков С.И. Оптический частотный рефлектометр на основе самосканирующего волоконного лазера // Фотон-экспресс. – 2019. – № 6. – С. 44–45. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16017.
94. Харенко Д.С., Беднякова А.Е., Жданов И.С., Федорук М.П., Бабин С.А. Исследование особенностей ВКР-генерации диссипативных солитонов во внешнем резонаторе из фосфоросиликатного волокна // Там же, с. 200–201. – DOI 10.24411/2308–6920–2019–16100.
95. Харенко Д.С., Ефремов В.Д., Бабин С.А. Исследование режимов гармонической генерации рамановских диссипативных солитонов во внешнем волоконном резонаторе в спектральной области 1.3 мкм // Квантовая электроника. – 2019. – Т. 49, № 7. – С. 657–660. – DOI 10.1070/QEL17020.
96. Чаповский П.Л. Конверсия ядерных спиновых изомеров молекул воды в ультрахолодных условиях космоса // Там же, № 5. – С. 473–478. – DOI 10.1070/QEL17006.
97. Чаповский П.Л. Лазерное детектирование ядерных спиновых изомеров молекул этилена // Там же, № 7. – С. 623–627. – DOI 10.1070/QEL16918.
98. Шакенов А.К. Обнаружение объектов на пространственно-неоднородных фонах с использованием нейронных сетей // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 64–69. – DOI 10.15372/AUT20190608.
99. Шалагин А.М. Сергей Глебович Раутиан: 90 лет со дня рождения // Квантовая электроника. – 2019. – Т. 49, № 5. – С. 410–411. – DOI 10.1070/QEL16995.
100. Шахно Е.А., Нгуен К.З. Исследование разрешающей способности прямой записи субмикронных структур на плёнках титана миллисекундными лазерными импульсами // Оптический журнал. – 2019. – Т. 86, № 4. – С. 69–73. – DOI 10.17586/1023–5086–2019–86–04–69–73.
101. Шевелев Г.А., Василенко Л.И., Пахорукова О.М., Кошелева О.Н., Турмагамбетов Т.С., Каменская Э.Н., Каменский Н.Г., Дзюба А.А. Эмиссионное определение фтора с использованием комплекса «Гранд-Поток» с введением пробы в дуговой разряд способом просыпки-вдувания // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2019. – Т. 85, № 1, ч. II. – С. 45–49. – DOI 10.26896/1028–6861–2019–85–1–II–45–49.
102. Шелковников В.В., Каргаполова И.Ю., Орлова Н.А., Кортаев С.В., Симанчук А.Э., Микерин С.Л. Синтез и нелинейно-оптические свойства донорно-акцепторных красителей на основе трифенилпиразолинов в качестве донорного блока и дицианоизофорона в качестве акцеп-

- тора // Известия Академии наук. Сер. Химическая. – 2019. – № 1. – С. 92–98.
103. Шиманский Р.В. Метод контроля погрешностей изготовления прецизионных синтезированных голограмм на круговых лазерных записывающих системах // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 113–119. – DOI 10.15372/AUT20190313.
104. Яковлева Т.С., Ростов А.М., Томилин В.А., Ильичёв Л.В. Квантовая геометрическая фаза в присутствии пред- и постселекции // Квантовая электроника. – 2019. – Т. 49, № 5. – С. 439–442. – DOI 10.1070/QEL17014.
105. Abalmassov V.A. Monte Carlo studies of the ferroelectric phase transition in KDP // *Ferroelectrics*. – 2019. – Vol. 538, is. 1. – P. 1–5. – DOI 10.1080/00150193.2019.1569978.
106. Abdullina S.R., Skvortsov M.I., Vlasov A.A., Podivilov E.V., Babin S.A. Coherent Raman lasing in a short polarization-maintaining fiber with a random fiber Bragg grating array // *Laser physics letters*. – 2019. – Vol. 16, № 10. – P. 105001 (7 p.). – DOI 10.1088/1612-202X/ab3a28.
107. Adichtchev S.V., Surovtsev N.V., Duda T.A., Milekhin A.G. Brillouin Scattering From Langmuir-Blodgett Films Doped With CdS and CuS Nanoclusters // *Physica Status Solidi (B) Basic Research*. – 2019. – Vol. 256, is. 2. – P. 1800328 (4 p.). – DOI 10.1002/pssb.201800328.
108. Adichtchev S.V., Karpagina Yu.A., Okotrub K.A., Surovtseva M.A., Zyкова V.A., Surovtsev N.V. Brillouin spectroscopy of biorelevant fluids in relation to viscosity and solute concentration // *Physical review E*. – 2019. – Vol. 99, is. 6. – P. 062410. – DOI 10.1103/PhysRevE.99.062410.
109. Adichtchev S.V., Surovtsev N.V. Brillouin study of elastic properties of nanometric phospholipid layers in aqueous suspensions of vesicles // *Ferroelectrics*. – 2019. – Vol. 541, is. 1. – P. 10–16. – DOI 10.1080/00150193.2019.1574635.
110. Amstislavsky S., Mokrousova V., Brusentsev E., Kizilova E., Okotrub K.A., Surovtsev N.V. Application of Genome Resource Banking (GRB) with lipid-rich embryos in cats // *Reproduction in domestic animals: Special Issue: Proceedings of the 23rd Annual Conference of the European Society for Domestic Animal Reproduction (ESDAR), 19–22 September 2019, St Petersburg, Russia*. – 2019. – Vol. 54, is. S3. – P. 14. – P. 87–88. – DOI 10.1111/rda.13528.
111. Amstislavsky S., Mokrousova V., Brusentsev E., Okotrub K.A., Comizzoli P. Influence of Cellular Lipids on Cryopreservation of Mammalian Oocytes and Preimplantation Embryos: A Review // *Biopreservation and biobanking*. – 2019. – Vol. 17, № 1. – P. 76–83. – DOI 10.1089/bio.2018.0039.
112. Anureev I.S. Operational semantics of Reflex = Операционная семантика языка Рефлекс // *Системная информатика*. – 2019. – № 14. – С. 1–10. – DOI 10.31144/si.2307-6410.2019.n14.p1-10.
113. Atuchin V.V., Aleksandrovsky A.S., Bazarov B.G., Bazarova J.G., Chimitova O.D., Denisenko Y.G., Gavrilova T.A., Krylov A.S., Maximov-

- skiy E.A., Molokeev M.S., Oreshonkov A.S., Pugachev A.M., Surovtsev N.V. Exploration of structural, vibrational and spectroscopic properties of self-activated orthorhombic double molybdate  $\text{RbEu}(\text{MoO}_4)_2$  with isolated  $\text{MoO}_4$  units // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2019. – Vol. 785. – P. 692–697. – DOI 10.1016/j.jallcom.2019.01.013.
114. Atuchin V.V., Gavrilova T.A., Kokh K.A., Kuratieva N.V., Perukhina N.V., Surovtsev N.V., Tereshchenko O.E. Structural and vibrational properties of PVT grown  $\text{BiTeCl}$  microcrystals // *Materials research express*. – 2019. – Vol. 6, № 4. – P. 045912. – DOI 10.1088/2053-1591/aafd45.
115. Atutov S.N., Sorokin V.A., Bagayev S.N., Skvortsov M.N., Taichenachev A.V. Peculiar long-term fluorescence of Rb atoms in coated vapor cell // *European Physical Journal D*. – 2019. – Vol. 73, is. 11. – P. 240. – DOI 10.1140/epjd/e2019-100206-5.
116. Babin S.A. High-brightness all-fiber Raman lasers directly pumped by multimode laser diodes // *High power laser science and engineering*. – 2019. – Vol. 7. – P. e15 (7 p.). – DOI 10.1017/hpl.2018.76.
117. Baev S.G., Bessmeltsev V.P., Goloshevsky N.V., Katasonov D.N. Method of crack-free laser writing of microchannels on glass substrates // *IOP Conference series: materials science and engineering*. – 2019. – Vol. 537: Material science and aerospace technology, is. 2. – P. 022059. – DOI 10.1088/1757-899X/537/2/022059.
118. Baginsky I.L., Kostsov E.G. Nanometer gap in electromechanical converters – a way to achieve an extremely high energy density // *Micromachines*. – 2019. – Vol. 10, № 11. – P. 746 (12 p.). – DOI 10.3390/mi10110746.
119. Bereza A.S., Frumin L.L., Nemykin A.V., Perminov S.V., Shapiro D.A. Perturbation series for the scattering of electromagnetic waves by parallel cylinders // *Europhysics letters*. – 2019. – Vol. 127, № 2. – P. 20002 (5 p.). – DOI 10.1209/0295-5075/127/20002.
120. Bliokh Y., Chaikina E.I., Vatnik I.D., Churkin D.V. Temporal variation of the spectrum of a continuously pumped random fiber laser: phenomenological model // *Journal of the optical society of America B*. – 2019. – Vol. 36, is. 2. – P. 408–414. – DOI 10.1364/JOSAB.36.000408.
121. Bocek D., Toropov N., Vatnik I.D., Churkin D.V., Sumetsky M. SNAP microresonators introduced by strong bending of optical fibers // *Optics letters*. – 2019. – Vol. 44, is. 13. – P. 3218–3221. – DOI 10.1364/OL.44.003218.
122. Bock D.N., Labusov V.A. Determination of non-metallic inclusions in metal alloys by spark optical emission spectrometry (review) // *Inorganic materials*. – 2019. – Vol. 55, № 14. – P. 1415–1427. – DOI 10.1134/0020168519140012.
123. Bronnikov K.A., Wolf A.A., Yakushin S., Dostovalov A.V., Egorova O., Zhuravlev S., Semjonov S., Wabnitz S., Babin S.A. Durable shape sensor based on FBG array inscribed in polyimide-coated multicore optical fiber //

- Optics Express. – 2019. – Vol. 27, is. 26. – P. 38421–38434. – DOI 10.1364/OE.380816.
124. Budarnykh A.E., Vladimirskaia A.D., Lobach I.A., Kablukov S.I. High-resolution analysis of the wavelength stopping effect in a self-sweeping fiber laser // Laser physics letters. – 2019. – Vol. 16, № 8. – P. 085104 (8 p.). – DOI 10.1088/1612-202X/ab286a.
125. Budarnykh A.E., Lobach I.A., Kablukov S.I. Self-sweeping Tm-doped fiber laser with wavelength stopping // Там же, № 2. – P. 025108 (7 p.). – DOI 10.1088/1612-202X/aaf804.
126. Dmitriev A.A., Surovtsev N.V. Vibrational eigenmodes of phospholipid layers in low-wavenumber Raman spectrum of multilamellar vesicles // Journal of Raman spectroscopy. – 2019. – Vol. 50, is. 11. – P. 1691–1699. – DOI 10.1002/jrs.5684.
127. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Skvortsov M.I., Abdullina S.R., Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Babin S.A. Femtosecond-pulse inscribed FBGs for mode selection in multimode fiber lasers // Optical fiber technology. – 2019. – Vol. 52. – P. 101988. – DOI 10.1016/j.yofte.2019.101988.
128. Dostovalov A.V., Okotrub K.A., Bronnikov K.A., Terentyev V.S., Korolkov V.P., Babin S.A. Influence of femtosecond laser pulse repetition rate on thermochemical laser-induced periodic surface structures formation by focused astigmatic Gaussian beam // Laser physics letters. – 2019. – Vol. 16, № 2. – P. 026003. – DOI 10.1088/1612-202X/aaf78f.
129. Dostovalov A.V., Derrien T., Lizunov S.A., Preucil F., Okotrub K.A., Mocek T., Korolkov V.P., Babin S.A., Bulgakova N.M. LIPSS on thin metallic films: New insights from multiplicity of laser-excited electromagnetic modes and efficiency of metal oxidation // Applied Surface Science. – 2019. – Vol. 491. – P. 650–658. – DOI 10.1016/j.apsusc.2019.05.171.
130. Drobyshev R.V., Lobach I.A., Kablukov S.I. Narrow-linewidth self-sweeping fiber laser with scanning range control by a tunable Lyot filter // Laser physics. – 2019. – Vol. 29, № 10. – P. 105104 (5 p.). – DOI 10.1088/1555-6611/ab3eb3.
131. Drobyshev R.V., Lobach I.A., Podivilov E.V., Kablukov S.I. Spectral characterization technique of self-organized distributed feedback in a self-sweeping fiber laser // Optics express. – 2019. – Vol. 27, is. 15. – P. 21335–21346. – DOI 10.1364/OE.27.021335.
132. Ehrling S., Senkovska I., Bon V., Evans J.D., Petkov P., Krupskaya Y., Kartaev V., Wulf T., Krylov A., Vtyurin A., Krylova S., Adichtchev S.V., Slyusareva E., Weiss M.S., Buchner B., Heine T., Kaskel S. Crystal size: Versus paddle wheel deformability: Selective gated adsorption transitions of the switchable metal-organic frameworks DUT-8(Co) and DUT-8(Ni) // Journal of Materials Chemistry A. – 2019. – Vol. 7, is. 37. – P. 21459–21475. – DOI 10.1039/c9ta06781g.
133. Erofeev V.I. A drift of Langmuir waves in a magnetized inhomogeneous plasma // Journal of plasma physics. – 2019. – Vol. 85, is. 1. – P. 905850104. – DOI 10.1017/S0022377818001320.

134. Evmenova E.A., Kharenko D.S., Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Babin S.A. Fiber Source for Pumping a Fiber–Optical Parametric Generator at ~800 nm // *Journal of Physics: Conference Series*. – Vol. 1206, is. 1. – 2019. – P. 012014. – DOI 10.1088/1742–6596/1206/1/012014.
135. Garanina N.O., Anureev I.S., Zyubin V.E. Constructing verification–oriented domain–specific process ontologies // *Системная информатика*. – 2019. – № 14. – С. 19–30. – DOI 10.31144/si.2307–6410.2019.n14.p19–30.
136. Garanina N.O., Anureev I.S., Borovikova O.I. Verification–oriented process ontology // *Automatic control and computer sciences*. – 2019. – Vol. 53, № 7. – P. 584–594. – DOI 10.3103/S0146411619070058.
137. Kashirina E.K., Lobach I.A., Kablukov S.I. Single–frequency self–sweeping Nd–doped fiber laser // *Optics letters*. – 2019. – Vol. 44, is. 9. – P. 2252–2255. – DOI 10.1364/OL.44.002252.
138. Kojima S., Novikov V.N., Kofu M., Yamamuro O. Neutron scattering studies of static and dynamic correlation lengths in alkali metal borate glasses // *Journal of non–crystalline solids*. – 2019. – Vol. 518. – P. 18–23. – DOI 10.1016/j.jnoncrysol.2019.05.005.
139. Komarov A.K., Komarov K.P., Zhao L. Mechanism of formation of noise–like pulses in passively mode–locked fiber lasers // *Physical review A*. – 2019. – Vol. 100, is. 3. – P. 033829. DOI 10.1103/PhysRevA.100.033829.
140. Komarov A.K., Dmitriev A., Komarov K.P., Meng Y.C., Semaan G., Sanchez F. Multisoliton hybrid generation of fiber lasers with anomalous dispersion // *Там же*, vol. 99, is. 5. – P. 053848. – DOI 10.1103/PhysRevA.99.053848.
141. Korolkov V.P., Shimansky R.V., Khomutov V.N., Sedukhin A.G., Nasyrov R.K., Kiryanov V. P., Kiryanov A. V., Zavyalova M.A. Prospects for creating a laser nanolithography system for tasks of diffractive optics and nanophotonics // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019. – Vol. 1368. – P. 022017 (10 p.). – DOI 10.1088/1742–6596/1368/2/022017.
142. Korolkov V.P., Sedukhin A.G., Mikerin S.L. Technological and optical methods for increasing the spatial resolution of thermochemical laser writing on thin metal films // *Optical and quantum electronics*. – 2019. – Vol. 51, is. 12. – P. 389. – DOI 10.1007/s11082–019–2111–6.
143. Krinitsin P., Yelissev A., Jiang X., Isaenko L., Molochev M., Lin Z., Pugachev A.M. Growth, structure, and optical properties of nonlinear  $\text{LiGa}_{0.55}\text{In}_{0.45}\text{Te}_2$  single crystals // *Crystal growth and design*. – 2019. – Vol. 19, is. 3. – P. 1805–1814. – DOI 10.1021/acs.cgd.8b01788.
144. Krupa K., Tonello A., Barthelemy A., Mansuryan T., Couderc V., Millot G., Grelu Ph., Modotto D., Babin S.A., Wabnitz S. Multimode nonlinear fiber optics, a spatiotemporal avenue // *APL Photonics*. – 2019. – Vol. 4, is. 11. – P. 110901. – DOI 10.1063/1.5119434.
145. Kuchyanov A.S., Chubakov P.A., Chubakov V.P., Mikerin S.L. Nonlinear interaction of silica photonic crystals with ammonia vapor // *Results in physics*. – 2019. – Vol. 15. – P. 102726. – DOI 10.1016/j.rinp.2019.102726.

146. Kulikov A., Sinyakova N., Kulikova E., Khomenko T., Salakhutdinov N., Kulikov V.A., Volcho K. Effects of acute and chronic treatment of novel psychotropic drug, 8-(Trifluoromethyl)-1, 2, 3, 4, 5-benzopentathiepin-6-amine hydrochloride (TC-2153), on the behavior of zebrafish (*danio rerio*): A comparison with fluoxetine // *Letters in drug design and discovery*. – 2019. – Vol. 16, is. 12. – P. 1321–1328. – DOI 10.2174/1570180816666190221162952.
147. Kuznetsov A.G., Evmenova E.A., Dontsova E.I., Kablukov S.I., Babin S.A. Frequency doubling of multimode diode-pumped GRIN-fiber Raman lasers // *Optics Express*. – 2019. – Vol. 27, is. 24. – P. 34760–34768. – DOI 10.1364/OE.27.034760.
148. Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Wolf A.A., Nemov I.N., Babin S.A., Tyrtyshnyy V.A., Myasnikov D.V. 976-nm all-fiber Raman laser with high beam quality at multimode LD pumping // *Laser physics letters*. – 2019. – Vol. 16, № 10. – P. 105102 (5 p.). – DOI 10.1088/1612-202X/ab4281.
149. Labusov V.A., Boldova S.S., Selunin D.O., Semenov Z.V., Vashchenko P.V., Babin S.A. High-resolution continuum-source electrothermal atomic absorption spectrometer for simultaneous multi-element determination in the spectral range of 190–780 nm // *Journal of analytical atomic spectrometry*. – 2019. – Vol. 34, is. 5. – P. 1005–1010. – DOI 10.1039/C8JA00432C.
150. Lavrentiev M.M., Lysakov K., Marchuk A., Oblaukhov K., Shadrin M. Dependence of tsunami wave maximal heights along a coastline on the source orientation // *Journal of physics: Conference series*. – 2019. – Vol. 1268. – P. 012041 (8 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/1268/1/012041.
151. Lavrentiev M.M., Kuzakov D., Marchuk A. Fast Determination of tsunami source parameters // *Advances in science, technology and engineering systems*. – 2019. – Vol. 4, is. 6. – P. 61–66. – DOI 10.25046/aj040608.
152. Lavrentiev M.M., Lysakov K., Marchuk A., Oblaukhov K., Shadrin M. Fast evaluation of tsunami waves heights around Kamchatka and Kuril islands // *Science of tsunami hazards*. – 2019. – Vol. 38, № 1. – P. 1–13.
153. Lavrentiev M.M., Marchuk A., Kuzakov D. Reconstruction of tsunami source by a part of wave time series // *Journal of physics: Conference series*. – 2019. – Vol. 1268. – P. 012042 (7 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/1268/1/012042.
154. Lavrentiev M.M., Tani A. Solvability to some strongly degenerate parabolic problems // *Journal of mathematical analysis and applications*. – 2019. – Vol. 475, is. 1. – P. 576–594. – DOI 10.1016/j.jmaa.2019.02.056.
155. Leonov D.V., Dzuba S.A., Surovtsev N.V. Normal vibrations of ternary DOPC/DPPC/cholesterol lipid bilayers by low-frequency Raman spectroscopy // *RSC Advances*. – 2019. – Vol. 9, is. 59. – P. 34451–34456. – DOI 10.1039/c9ra06114b.
156. Leonov D.V., Adichtchev S.V., Dzuba S.A., Surovtsev N.V. Vibrational layer eigenmodes of binary phospholipid-cholesterol bilayers at low tem-

- peratures // *Physical review E*. – 2019. – Vol. 99, is. 2. – P. 022417. – DOI 10.1103/PhysRevE.99.022417.
157. Mamrashev A.A., Minakov F.A., Maximov L.V., Nikolaev N.A., Chapovsky P.L. Correction of optical delay line errors in terahertz time-domain spectroscopy // *Electronics*. – 2019. – Vol. 8, is. 12. – P. 1408 (10 p.). – DOI 10.3390/electronics8121408.
  158. Maiti K.S., Lewton M., Fill E., Apolonski A.A. Human beings as islands of stability: Monitoring body states using breath profiles // *Scientific reports*. – 2019. – Vol. 9, is. 1. – P. 16167. – DOI 10.1038/s41598-019-51417-0.
  159. Miloichikova I., Bulavskaya A., Cherepennikov Yu., Gavrikov B., Gargioni E., Belousov D.A., Stuchebrov S. Feasibility of clinical electron beam formation using polymer materials produced by fused deposition modeling // *Physica medica*. – 2019. – Vol. 64. – P. 188–194. – DOI 10.1016/j.ejmp.2019.07.014.
  160. Nesterov V., Nies D., Belai O., Buetefisch S., Kirchhoff J., Mueller M., Brand U. The status of PTB's nanonewton force facility // *IEEE transactions on instrumentation and measurement*. – 2019. – Vol. 68, is. 6. – P. 1982–1989. – DOI 10.1109/TIM.2019.2908692.
  161. Nyushkov B.N., Kobtsev S.M., Antropov A., Kolker D., Pivtsov V. Femtosecond 78-nm tunable Er:fibre laser based on drop-shaped resonator topology // *Journal of lightwave technology*. – 2019. – Vol. 37, is. 4. – P. 1359–1363. – DOI 10.1109/JLT.2019.2893291.
  162. Perminov S.V., Frumin L.L., Shapiro D.A. Discrete dipole approximation for lossy plasmonic background // *Optics letters*. – 2019. – Vol. 44, № 13. – P. 3238–3241. – DOI 10.1364/OL.44.003238.
  163. Podivilov E.V., Kharenko D.S., Gonta V.A., Krupa K., Sidelnikov O.S., Turitsyn S.K., Fedoruk M.P., Babin S.A., Wabnitz S. Hydrodynamic 2D turbulence and spatial beam condensation in multimode optical fibers // *Physical review letters*. – 2019. – Vol. 122, № 10. – P. 103902. – DOI 10.1103/PhysRevLett.122.103902.
  164. Romanenko A.A., Snytnikov A.V., Lazareva G.G. High performance collisional PIC plasma simulation with modern GPUs // *Journal of Physics: Conference series*. – 2019. – Vol. 1336, is. 1. – P. 012005. – DOI 10.1088/1742-6596/1336/1/012005.
  165. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V., Ivleva L.I., Lykov P.A. Comparison of acoustic and nonlinear optic properties of strontium barium niobate crystals of different compositions // *Ferroelectrics*. – 2019. – Vol. 538, № 1. – P. 126–134. – DOI 10.1080/00150193.2019.1569995.
  166. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V., Ivleva L.I., Lykov P. A. Dependence of acoustic anomalies on chemical composition in strontium barium niobate crystals (from conventional ferroelectric to relaxor) probed by Brillouin light scattering // *Там же*, vol. 542, is. 1. – P. 21–27. – DOI 10.1080/00150193.2019.1574657.

167. Reznichenko A.V., Chernykh A.I., Smirnov S.V., Terekhov I.S. Log–log growth of channel capacity for nondispersive nonlinear optical fiber channel in intermediate power range: Extension of the model // *Physical Review E*. – 2019. – Vol. 99, is. 1. – P. 012133 (10 p.) – DOI 10.1103/PhysRevE.99.012133.
168. Reznik A.L., Soloviev A.A., Torgov A.V. Optimal search parameters for a random pulsed–point source with the required accuracy // *International journal of innovative technology and exploring engineering*. – 2019. – Vol. 9, is. 1. – P. 2340–2344. – DOI 10.35940/ijitee.A4982.119119.
169. Reznik A.L., Tuzikov A.V., Soloviev A.A., Torgov A.V., Kovalev V.A. Time–optimal algorithms focused on the search for random pulsed–point sources // *Компьютерная оптика*. – 2019. – Т. 43, № 4. – С. 605–610. – DOI 10.18287/2412–6179–2019–43–4–605–610.
170. Romanyuk O.N., Vyatkin S.I., Antoshchuk S.G. 3D vector fields visualization using graphics processing units // *Herald of advanced information technology*. – 2019. – Vol. 2, № 3. – P. 173–182. – DOI 10.15276/hait.03.2019.1.
171. Romanyuk O. N., Vyatkin S.I., Antoshchuk S.G., Mykhaylov P.I., Chekhmestruk R.Yu. Blending Functionally Defined Surfaces // *Applied Aspects of Information Technology*. – 2019. – Vol. 2, № 4. – P. 271–282. – DOI 10.15276/aait.04.2019.2.
172. Rubtsov N., Bessmeltsev V. P., Grishin M. Modeling of pulsed laser ablation of aluminum under the action of infrared nanosecond laser pulses // *EPJ Web of Conferences: XV All–Russian school–conference of young scientists with international participation "Actual problems of thermal physics and physical hydrodynamics"*, November 20–23, 2018, Novosibirsk. – 2019. – Vol. 196. – P. 00020 (6 p.). – DOI 10.1051/epjconf/201919600020.
173. Sazhina E.A., Okotrub K.A., Amstislavsky S.Ya., Surovtsev N.V. Effect of low temperatures on cytochrome photoresponse in mouse embryos // *Archives of biochemistry and biophysics*. – 2019. – Vol. 669. – P. 32–38. – DOI 10.1016/j.abb.2019.05.017.
174. Semenov A., Abdulkadyrov M., Dobrikov N., Ignatov A., Patrikeev V., Pridnya V., Polyanchikov A., Nasyrov R.K. Computer Generated Holograms (CGH) for Testing, Alignment and Positioning of Astronomical and Space Mirrors Aspherical Surfaces // *EPJ Web of Conferences*. – 2019. – Vol. 215. – P. 09002 (2 p.). – DOI 10.1051/epjconf/201921509002.
175. Shilov N.V., Kondratyev D.A., Anureev I.S., Bodin E.V., Promsky A.V. Platform–independent specification and verification of the standart mathematical square root function // *Automatic control and computer sciences*. – 2019. – Vol. 53, № 7. – P. 595–616. – DOI 10.3103/S0146411619070186.
176. Shtyrina O.V., Yartukina I.A., Skidin A.S., Podivilov E.V., Fedoruk M. P. Theoretical analysis of solutions of cubic–quintic Ginzburg–Landau equation with gain saturation // *Optics express*. – 2019. – Vol. 27, is. 5. – P. 6711–6718. – DOI 10.1364/OE.27.006711.

177. Sidelnikov O.S., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Wabnitz S. Random mode coupling assists Kerr beam self-cleaning in a graded-index multimode optical fiber // *Optical Fiber Technology*. – 2019. – Vol. 53. – P. 101994. – DOI 10.1016/j.yofte.2019.101994.
178. Skvortsov M.I., Abdullina S.R., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Vlasov A.A., Lobach I.A., Wabnitz S., Babin S.A. Random Raman fiber laser based on a twin-core fiber with FBGs inscribed by femtosecond radiation // *Optics letters*. – 2019. – Vol. 44, is. 2. – P. 295–298. – DOI 10.1364/OL.44.000295.
179. Sturman B.I., Podivilov E.V., Werner C.S., Breunig I. Vectorial perturbation theory for axisymmetric whispering gallery resonators // *Physical review A*. – 2019. – Vol. 99, is. 1. – P. 013810. – DOI 10.1103/PhysRevA.99.013810.
180. Vatnik I.D., Gorbunov O.A., Sugavanam S., Churkin D.V., Podivilov E.V. Spatial location of correlations in a random distributed feedback Raman fiber laser // *Optics letters*. – 2019. – Vol. 44, № 6. – P. 1516–1519. – DOI 10.1364/OL.44.001516.
181. Veiko V.P., Nguen Q.D., Shakhno E.A., Sinev D.A., Lebedeva E.V. Physical similarity of the processes of laser thermochemical recording on thin metal films and modeling the recording of submicron structures // *Optical and quantum electronics*. – 2019. – Vol. 51, is. 11. – P. 348. – DOI 10.1007/s11082-019-2073-8.
182. Veiko V.P., Zakoldaev R.A., Shakhno E.A., Sinev D.A., Nguen Z.K., Baranov A.V., Bogdanov K.V., Gedvilas M., Raciukaitis G., Vishnevskaya L.V., Degtyareva E.N. Thermochemical writing with high spatial resolution on Ti films utilising picosecond laser // *Optical materials express*. – 2019. – Vol. 9, is. 6. – P. 2729–2737. – DOI 10.1364/OME.9.002729.
183. Vyatkin S.I., Romaniuk O.N., Kyrylashchuk S.A., Nechiporuk M.L. Animation of three-dimensional objects using iterative methods // *Modern engineering and innovative technologies: technical sciences*. – 2019. – Is. 7, p. 1. – P. 59–62. – DOI 10.30890/2567-5273.2019-07-01-084.
184. Wang C.-R., Pan Q.-K., Chen F., Lanskii G., Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Andreev Y., Meshalkin A. Phase-matching in KTP crystal for THz wave generation at room temperature and 81 K // *Infrared physics and technology*. – 2019. – Vol. 97. – P. 1–5. – DOI 10.1016/j.infrared.2018.12.012.
185. Wang X., Komarov A.K., Klimczak M., Su L., Tang D., Shen D., Li L., Zhao L. Generation of noise-like pulses with 203 nm 3-dB bandwidth // *Optics Express*. – 2019. – Vol. 27, is. 17. – P. 24147–24153. – DOI 10.1364/OE.27.024147.
186. Wolf A.A., Skvortsov M.I., Kamynin V.A., Zhlyuktova I.V., Abdullina S.R., Dostovalov A.V., Tsvetkov V.B., Babin S.A. All-fiber holmium distributed feedback laser at 2.07  $\mu\text{m}$  // *Optics letters*. – 2019. – Vol. 44, is. 15. – P. 3781–3784. – DOI 10.1364/OL.44.003781.
187. Wolf A.A., Dostovalov A.V., Bronnikov K., Babin S.A. Arrays of fiber Bragg gratings selectively inscribed in different cores of 7-core spun opti-

- cal fiber by IR femtosecond laser pulses // *Optics Express*. – 2019. – Vol. 27, is. 10. – P. 13978–13990. – DOI 10.1364/OE.27.013978.
188. Xia J., He J., Xie K., Zhang X., Hu L., Li Y., Chen X., Ma J., Wen J., Chen J., Pan Q., Zhang J., Vatik I.D., Churkin D., Hu Z. Replica Symmetry Breaking in FRET-Assisted Random Laser Based on Electrospun Polymer Fiber // *Annalen der Physik*. – 2019. – Vol. 531. – P. 1900066 (1–10). – DOI 10.1002/andp.201900066.
189. Yakovleva T.S., Rostom A.M., Tomilin V.A., Il'ichov L.V. Geometric phase in open quantum system as a function of its history // *Quantum studies: mathematics and foundations*. – 2019. – Vol. 6, is. 2. – P. 217–224. – DOI 10.1007/s40509-018-00179-x.
190. Yakovleva T.S., Tomilin V.A., Rostom A.M., Il'ichov L.V. Geometric phase transferred from photonic mode to atomic BEC // *Optics communications*. – 2019. – Vol. 436. – P. 52–56. – DOI 10.1016/j.optcom.2018.12.001.
191. Zabolotskii A.A. Zitterbewegung in a Kerr medium // *Physical review A*. – 2019. – Vol. 99, is. 2. – P. 023839 (7 p.). – DOI 10.1103/PhysRevA.99.023839.
192. Zaitseva I.V., Okotrub K.A., Surovtsev N.V., Mikerin S.L., Krylov A.S. Residual mechanical stresses in pressure treated BaTiO<sub>3</sub> powder // *Ceramics International*. – 2019. – Vol. 45, is. 9. – P. 12455–12460. – DOI 10.1016/j.ceramint.2019.03.179.
193. Zhao J., Zhou J., Li L., Klimczak M., Komarov A.K., Su L., Tang D., Shen D., Zhao L. Narrow-bandwidth h-shaped pulse generation and evolution in a net normal dispersion thulium-doped fiber laser // *Optics Express*. – 2019. – Vol. 27, is. 21. – P. 29770–29780. – DOI 10.1364/OE.27.029770.
194. Zhukov V.I., Pavlenko A.N., Bessmeltsev V.P. Heat transfer at evaporation/boiling in the thin horizontal liquid layer on microstructured surfaces under low pressures // *Journal of physics: Conference series*. – 2019. – Vol. 1369. – P. 012007. – DOI 10.1088/1742-6596/1369/1/012007.

## МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ, СЕМИНАРОВ

1. Аржанов А.И., Каримуллин К.Р., Суровцев Н.В., Наумов А.В. Электрон-фононное взаимодействие в ансамблях полупроводниковых квантовых точек CDSE/CDS/ZNS и композитам на их основе // XVII Всероссийский молодежный самарский конкурс-конференция научных работ по оптике и лазерной физике: сборник трудов конференции / Москва (12–16 ноября 2019). – 2019. – С. 32–38.
2. Бабин С.А., Достовалов А.В., Вольф А.А. Микро- и наноструктурирование оптических материалов с помощью фемтосекундного ИК излучения // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника 2019»: тезисы докладов / Новосибирск (27–31 мая 2019). – 2019. – С. 38. – DOI 10.34077/RCS2019-38.

3. Безруков А.Д., Зарубин И.А. Способы улучшения характеристик спектрометров высокого разрешения // XV Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО–Сибирь». Национальная конференция с международным участием «СибОптика–2019»: сб. материалов / Новосибирск (24–26 апреля 2019). – Т. 8. – 2019. – С. 226–237. – DOI 10.33764/2618–981X–2019–8–226–237.
4. Бессмельцев В.П., Вилейко В.В., Максимов М.В. Высокоразрешающая система измерения основных параметров защитных голограмм для оперативного контроля качества и экспертного анализа // XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям «НОЛОЕХРО 2019»: тезисы докладов / Стрельна, Санкт–Петербург (10–12 сентября 2019). – 2019. – С. 102–108.
5. Бессмельцев В.П., Иванов А.А. Моделирование распределения температуры в слое гидроксипатита в процессе селективного лазерного спекания // XV Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО–Сибирь». Национальная конференция с международным участием «СибОптика–2019»: сб. материалов / Новосибирск (24–26 апреля 2019). – Т. 8. – 2019. – С. 10–18. – DOI 10.33764/2618–981X–2019–8–10–18.
6. Богданов С.А. Исследование солитонных линий связи / научный рук. Фрумин Л.Л. // 57–я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Фотоника и квантовые оптические технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 6.
7. Болдова С.С., Лабусов В.А., Кацков Д.А., Неклюдов О.А., Ващенко П.В. Одновременный многоэлементный анализ природных и биологических объектов на атомно–абсорбционном спектрометре с источником непрерывного спектра // III Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии с международным участием: материалы / Краснодар (29 сентября–5 октября 2019). – 2019. – С. 109.
8. Болдова С.С., Кацков Д.А., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Ващенко П.В. Устранение спектральных помех при одновременном атомно–абсорбционном определении элементов // Там же, с. 110.
9. Бояринцев А.А. Управление движением с использованием адаптивной нейромодели / научный рук. Котов К.Ю. // 57–я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Информационные технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 133.
10. Бударных А.Е., Лобач И.А., Каблуков С.И. Волоконные лазеры с самосканированием частоты для исследования атмосферы в двухмикронном диапазоне // XXV Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»: тезисы докладов / Новосибирск (1–5 июля 2019). – 2019. – С. 81.
11. Бударных А.Е. Тулиевый волоконный лазер с самосканированием частоты / научный рук. Лобач И.А. // 57–я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Фотоника

- и квантовые оптические технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 8.
12. Булина Н.В., Баев С.Г., Хуснутдинов В.Р., Титков А.И., Бессмельцев В.П., Ляхов Н.З. Селективное лазерное спекание механохимически синтезированных нанопорошков гидроксиапатита // III Всероссийская конференция с международным участием, посвященная 75-летию Института химии твердого тела и механохимии СО РАН «Горячие точки химии твердого тела: от новых идей к новым материалам»: тезисы докладов / Новосибирск (1–5 октября 2019). – 2019. – С. 119.
  13. Васильев Е.В., Шелковников В.В., Орлова Н.А., Штейнберг И.Ш. Акрилатно–эпоксидный голографический фотополимерный материал для двухфотонной записи голограмм // XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям «HOLOEXPO 2019»: тезисы докладов / Стрельна, Санкт–Петербург (10–12 сентября 2019). – 2019. – С. 324–330.
  14. Васильева И.Е., Шабанова Е.В., Лабусов В.А. Современное состояние и перспективы развития сцинтилляционной атомно–эмиссионной микроминералогии благородных металлов // XXII Международная Черняевская конференция по химии, аналитике и технологии платиновых металлов: сборник тезисов / Москва (18–22 ноября 2019). – 2019. – С. 26.
  15. Владимирская А.Д. Одночастотный волоконный тулиевый лазер с генерацией в области 1,9 мкм / научный рук. Лобач И.А. // 57–я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Фотоника и квантовые оптические технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 9.
  16. Владимирская А.Д., Вольф А.А., Лобач И.А. Одночастотный волоконный тулиевый лазер с генерацией в области 1,9 мкм // Всероссийская научная конференция молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации»: сборник научных трудов в 9-ти частях / Новосибирск (2–6 декабря 2019). – 2019. – Часть 6: Электроника и биомедицинская техника. – С. 158–160.
  17. Вяткин С.И., Романюк А.Н. Адаптированный метод сплаттинга для медицинских приложений // Міжнародна науково–технічна конференція «Комп'ютерна графіка та розпізнавання зображень»: збірник доповідей. – 2019. – С. 33–40.
  18. Гаранина Н.О., Боровикова О.И. Онтологический подход к проверке событийной совместности множества темпоральных требований // VII Международная конференция «Знания – Онтологии – Теории (ЗОНТ–2019)»: материалы / Новосибирск (7–11 октября 2019). – 2019. – С. 112–121.
  19. Голубева И.А. Исследование свойств полимерных стекол методом импульсной терагерцовой спектроскопии / научный рук. Николаев Н.А. // 57–я Международная научная студенческая конференция «МНСК–

- 2019»: материалы. Секция «Фотоника и квантовые оптические технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 11.
20. Горнев И.А. Создание среды разработки для языка Рефлекс / научный рук. Лях Т.В. // 57–я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Информационные технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 100.
  21. Громилин Г.И., Косых В.П., Попов С.А., Дрожников Б.Н., Козлов К. В., Стрельцов В.А. Особенности межкадровой обработки последовательности изображений, формируемых сканирующим устройством на основе многорядного ФПУ // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника 2019»: тезисы докладов / Новосибирск (27–31 мая 2019). – 2019. – С. 141. – DOI 10.34077/RCSP2019–141.
  22. Гурин Н.А., Корольков В.П., Батомункуев Ю.Ц., Спесивцев Е.В. Методика записи масок по многослойным покрытиям: часть 1 // Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО–Сибирь XV». Национальная конференция с международным участием «СибОптика–2019»: сб. материалов / Новосибирск (24–26 апреля 2019). – Т. 8. – 2019. – С. 47–51. – DOI 10.33764/2618–981X–2019–8–47–51.
  23. Двинянин А.А. Разработка набора виртуальных стендов для комплекса динамической верификации промышленных алгоритмов управления на языке Reflex / научный рук. Лях Т.В. // 57–я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Информационные технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 45.
  24. Дервянко Д.И., Шелковников В.В., Алиев С.И., Орлова Н.А., Басистый В.С., Пен Е.Ф. Использование поглощения комплекса с переносом заряда между компонентами гибридного фотополимерного материала для записи микроструктур в синей области видимого спектра // XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям «НОЛОEXPO 2019»: тезисы докладов / Стрельна, Санкт–Петербург (10–12 сентября 2019). – 2019. – С. 311–317.
  25. Димова А.С., Котов К.Ю., Семенюк Е.Д., Соболев М.А. Управление полетом парашюта в режиме преследования цели // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ–2019): труды / Москва (17–20 июня 2019). – 2019. – С. 285–289.
  26. Долговесов Б.С., Шадрин М.Ю., Брагин В.И. Система регистрации потоковых аудиовизуальных данных нового поколения для комплексного тренажера ТДК–7СТ4 // XIII Международная научно–практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос»: материалы / Звездный городок, Московская обл., Россия (13–15 ноября 2019). – 2019. – С. 164–166.
  27. Ежов Д.М., Кочнев З.С., Николаев Н.А., Мамрашев А.А., Светличный В.А., Черепанов В.Н. Исследование оптических свойств растворов

- наночастиц оксидов Ti и Fe для задач ТГц оптики = Study on optical properties of the solutions of Ti and Fe oxides nanoparticles for THz photonic applications // XIV Международная конференция по импульсным лазерам и применениям лазеров (AMPL-2019) / Томск (15–20 сентября 2019). – 2019. – P. F–4.
28. Елисафенко А.Е. Повышение пространственной локализации световых пучков при фокусировке зонными пластинками с зубчатыми границами зон / научный рук. Седухин А.Г. // 57-я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Фотоника и квантовые оптические технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 14.
  29. Журавель Ф.А., Косцов Э.Г., Скурлатов А.И., Щербаченко А.М. Методика измерения наноперемещений подвижных элементов MEMS // XV Международная научно–техническая конференция «Оптические методы исследования потоков»: труды / Москва (24–28 июня 2019). – 2019. – С. 81–89.
  30. Иванов А.А. Моделирование процесса селективного лазерного спекания для определения параметров обработки гидроксиапатита / научный рук. Бессмельцев В.П. // 57-я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Инструментальные методы и техника экспериментальной физики» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 7.
  31. Ильичев Л.В. Дуальный партнер уравнения Дирака // XV Международная конференция «Финслеровы обобщения теории относительности» (FERT–2019): материалы конференции / Москва (24–27 октября 2019). – 2019. – С. 138–141.
  32. Каримуллин К.Р., Аржанов А.И., Еремчев И.Ю., Кульницкий Б.А., Наумов А.В., Суровцев Н.В. Исследование внутренней динамики в слоистых ансамблях коллоидных квантовых точек методами фотонного эха, люминесцентной и рамановской спектроскопии // XIII Международные чтения по квантовой оптике (IWQO – 2019): сборник тезисов / Владимир (9–14 сентября 2019). – 2019. – С. 322–325.
  33. Каширина Е.К. Волоконный неодимовый лазер с самосканированием частоты / научный рук. Каблуков С.И. // 57-я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Фотоника и квантовые оптические технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 17.
  34. Колосов Н.А., Болдова С.С. Исследование влияния спектральных помех на результаты определения элементов на атомно–абсорбционном спектрометре с источником непрерывного спектра // XV Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО–Сибирь». Национальная конференция с международным участием «СибОптика–2019»: сб. материалов / Новосибирск (24–26 апреля 2019). – Т. 8. – 2019. – С. 168–175. – DOI 10.33764/2618–981X–2019–8–168–175.

35. Корольков В.П., Седухин А.Г., Качкин А.Е., Елисафенко А.Е. Оптимизация оптического канала X–Y лазерного нанолитографа для записи на фото– и термочувствительных материалах // Там же, с. 28–33. – DOI 10.33764/2618–981X–2019–8–28–33.
36. Корольков В.П., Шиманский Р.В., Хомутов В.Н., Седухин А.Г., Насыров Р.К., Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Завьялова М.А. Перспективы создания лазерного нанолитографа для задач дифракционной оптики и нанофотоники // V Международная конференция и молодежная школа «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ–2019): сборник трудов / Самара (21–24 мая 2019). – Т. 1. «Компьютерная оптика и нанофотоника». – 2019. – С. 283–290.
37. Корольков В.П., Насыров Р.К., Седухин А.Г., Шиманский Р.В., Белосусов Д.А., Куц Р.И. Прямая лазерная запись высокоапертурных синтезированных голограмм: материалы и методы // XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям «HOLOEXPO 2019»: тезисы докладов / Стрельна, Санкт–Петербург (10–12 сентября 2019). – 2019. – С. 54–59.
38. Косых В.П., Громилин Г.И., Яковенко Н.С. Обнаружение малоразмерных объектов в двухцветных изображениях с пространственно–нестационарным фоном // Всероссийская конференция с международным участием (SDM–2019) «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов»: сборник трудов / Бердск (26–30 августа 2019). – 2019. – С. 284–287.
39. Краснов Д.В. Разработка архитектуры механизма отладки программ, написанных на языке IndustrialC / научный рук. Зюбин В.Е. // 57–я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Информационные технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 103.
40. Кузнецов С.А., Гельфанд А.В., Федоринин В.Н., Аржанников А.В., Николаев Н.А. Функциональные оптические элементы и устройства терагерцовой фотоники на основе метаповерхностей // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника 2019»: тезисы докладов / Новосибирск (27–31 мая 2019). – 2019. – С. 84. – DOI 10.34077/RCSP2019–84.
41. Куц Р.И., Корольков В.П., Шиманский Р.В., Хомутов В.Н., Малышев А.И. Экспериментальное исследование взаимосвязи изменений коэффициентов пропускания и отражения пленок циркония при прямой лазерной записи // XV Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО–Сибирь». Национальная конференция с международным участием «СибОптика–2019»: сб. материалов / Новосибирск (24–26 апреля 2019). – Т. 8. – 2019. – С. 34–40. – DOI 10.33764/2618–981X–2019–8–34–40.
42. Лабусов В.А., Болдова, С.С. Атомно–абсорбционный спектрометр с источником непрерывного спектра и электротермическим атомизатором

- ром для одновременного определения элементов // XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: сборник тезисов / Санкт-Петербург (9–13 сентября 2019). – Т. 4. – 2019. – С. 183.
43. Лабусов В.А., Бехтерев А.В., Зарубин И.А. Новые оптические спектрометры на основе анализаторов МАЭС // XXII Международная Чернышевская конференция по химии, аналитике и технологии платиновых металлов: сборник тезисов / Москва (18–22 ноября 2019). – 2019. – С. 41.
  44. Лабусов В.А., Бехтерев А.В., Зарубин И.А. Новые оптические спектрометры для атомно-эмиссионного и атомно-абсорбционного анализа // III Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии с международным участием: материалы / Краснодар (29 сентября–5 октября 2019). – 2019. – С. 117.
  45. Лаврентьев М.М., Городняя Л.В., Держо М.А., Мигинский Д.С. Вопрос карьерных перспектив в области ИТ // 12-я Международная Ершовская конференция по информатике (PSI 19): труды семинара «Наукоемкое программное обеспечение» / Новосибирск (2–5 июля 2019). – 2019. – С. 111–120.
  46. Лаврентьев М.М., Городняя Л.В., Держо М.А., Мигинский Д.С. Вопрос карьерных перспектив в области ИТ // 17-я открытая Всероссийская конференция «Преподавание информационных технологий в Российской Федерации»: материалы / Новосибирск (16–17 мая 2019). – 2019. – С. 188–191.
  47. Лаврентьев М.М., Васючкова Т.С., Городняя Л.В., Держо М.А., Иванчева Н.А., Белаго И.В., Бартош В.С. Начальная профориентация студентов ФИТ НГУ // 17-я открытая Всероссийская конференция «Преподавание информационных технологий в Российской Федерации»: материалы / Новосибирск (16–17 мая 2019). – 2019. – С. 180–183.
  48. Лаврентьев М.М., Васючкова Т.С., Городняя Л.В., Держо М.А., Иванчева Н.А., Белаго И.В., Бартош В.С. Развитие профессиональной ориентации студентов ИТ-специальностей // 12-я Международная Ершовская конференция по информатике (PSI 19): труды семинара «Информатика образования» / Новосибирск (2–5 июля 2019). – 2019. – С. 47–50.
  49. Ланский Г.В., Андреев Ю.М., Лубенко Д.М., Лосев В.Ф., Мамрашев А.А., Николаев Н.А. Генерация ТГц излучения в кристалле ВВО при комнатной температуре = Generation of THz emission in nonlinear VVO crystal at room temperature // XIV Международная конференция по импульсным лазерам и применениям лазеров (AMPL-2019) / Томск (15–20 сентября 2019). – 2019. – Р. F–8.
  50. Лихачев А.В., Кийченко Т.С., Лихачев Н.А. Рентгеновская томография сварных трубопроводов // Международная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Б.Е. Патона «Сварка в России – 2019»: Современное состояние и перспективы: тезисы докладов / Томск (3–7 сентября 2019). – 2019. – С. 164–165.

51. Лубенко Д.М., Лосев В.Ф., Ежов Д.М., Андреев Ю.М., Ланский Г.В., Мамрашев А.А., Николаев Н.А., Лисенко А.А. Генерация ТГц излучения в ZnGeP<sub>2</sub> с накачкой 950 нм Ti:Sapphire лазером // Юбилейная международная молодежная конференция по люминесценции и лазерной физике, посвященная 50-летию первой школы по люминесценции в Иркутске: материалы / Иркутск (1–6 июля 2019). – 2019. – С. 53–54.
52. Лукашов В.В., Игуменов И.К., Атутов С.Н., Чубаков П.А. Измерения концентрации паров Zr(dpm)<sub>4</sub> при сублимации одиночной частицы // Всероссийская конференция с элементами научной школы для молодых ученых «XXXV Сибирский теплофизический семинар, посвященный 75-летию заслуженного деятеля науки РФ В.И. Терехова»: тезисы докладов / Новосибирск (27–29 августа 2019). – 2019. – С. 86.
53. Макалев А.И. Разработка формата конфигурационных файлов для системы отслеживания обновлений в приложении 2ГИС / научный рук. Зюбин В.Е. // 57-я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Информационные технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 69.
54. Найденов А.М. Разработка биологически-подобной топологии нейронной сети для выявления и анализа движения / научный рук. Кугаевских А.В. // Там же, с. 148.
55. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Автоматизированное напыление аморфных халькогенидных слоев // XV Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО–Сибирь». Национальная конференция с международным участием «СибОптика–2019»: сб. материалов / Новосибирск (24–26 апреля 2019). – Т. 8. – 2019. – С. 64–68. – DOI 10.33764/2618–981X–2019–8–64–68.
56. Насыров Р.К., Белоусов Д.А., Седухин А.Г., Корольков В.П., Хомутов В.Н. Влияние ошибок изготовления ДОЭ на распределение интенсивности света в задачах мультипликации и гомогенизации пучков // XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям «HOLOEXPO 2019»: тезисы докладов / Стрельна, Санкт–Петербург (10–12 сентября 2019). – 2019. – С. 211–215.
57. Нежевенко Е.С. Нейросетевая классификация крупноразмерных многоугонных полигонов с формированием признаков путем преобразования Гильберта–Хуанга гиперспектральных данных // Всероссийская конференция с международным участием (SDM–2019) «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов»: сборник трудов / Бердск (26–30 августа 2019). – 2019. – С. 141–145.
58. Нефедов Д.В. Разработка синтаксиса параметризации процессов в процесс–ориентированном языке IndustrialC / научный рук. Зюбин В.Е. // 57-я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Информационные технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 107.

59. Николаев Н.А., Мамрашев А.А., Андреев Ю.М., Ланский Г.В. Генерация терагерцового излучения в нелинейнооптических кристаллах ВВО, LBO и КТР под действием интенсивного лазерного излучения // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника 2019»: тезисы докладов / Новосибирск (27–31 мая 2019). – 2019. – С. 77. – DOI 10.34077/RCSP2019–77.
60. Николаев Н.А., Кузнецов С.А. Терагерцовая метаповерхность с чувствительным к углу падения резонансом для исследования пленок субмикронной толщины // VIII Международная конференция по фотонике и информационной оптике: сборник научных трудов / Москва (23–25 января 2019). – 2019. – С. 111–112.
61. Новоселов А.Р., Алдохин П.А., Маточкин А.Е., Добровольский П.П., Шатунов К.П. Эффективные методы контроля формы поверхности компонент флип–чип фотоприемников // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника 2019»: тезисы докладов / Новосибирск (27–31 мая 2019). – 2019. – С. 139. – DOI 10.34077/RCSP2019–139.
62. Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н. Атомно–эмиссионный спектрометр с микроволновой плазмой «Гранд–СВЧ» для одновременного определения элементов // III Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии с международным участием: материалы / Краснодар (29 сентября–5 октября 2019). – 2019. – С. 120.
63. Пелипасов О.В., Путьмаков А.Н., Лабусов В.А. Возможности спектрометра с микроволновой плазмой «Гранд–СВЧ» при анализе объектов окружающей среды // XI Всероссийская конференция по анализу объектов окружающей среды с международным участием «ЭКОАНАЛИТИКА–2019»: тезисы докладов / Пермь (27 мая – 1 июня 2019). – 2019. – С. 125.
64. Пелипасов О.В., Комин О.В. Исследование радиального способа наблюдения источника возбуждения спектров на основе микроволновой плазмы // XV Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО–Сибирь». Национальная конференция с международным участием «СибОптика–2019»: сб. материалов / Новосибирск (24–26 апреля 2019). – Т. 8. – 2019. – С. 191–199. – DOI 10.33764/2618–981X–2019–8–191–199.
65. Пен Е.Ф. Голографические решётки в качестве пассивных трекеров солнечного излучения // VIII Международная конференция по фотонике и информационной оптике: сборник научных трудов / Москва (23–25 января 2019). – 2019. – С. 707–708.
66. Пономарева М.А., Наливайко, В.И. Халькогенидные стекла для оптических элементов фотоники // XI Международная конференция «Фундаментальные проблемы оптики – 2019»: сборник трудов / Санкт–Петербург (21–25 октября 2019). – 2019. – С. 334–336.

67. Потатуркин О.И., Борзов С.М. Комплексная мульти- и гиперспектральная обработка изображений видимого и ИК диапазонов в задачах обнаружения и классификации объектов на неоднородном фоне // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотозлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника 2019»: тезисы докладов / Новосибирск (27–31 мая 2019). – 2019. – С. 90. – DOI 10.34077/RCSP2019–90.
68. Резник А.Л., Тузиков А.В., Торгов А.В., Соловьев А.А., Ковалев В.А. Быстродействующие алгоритмы локализации случайных точечно-импульсных объектов // Всероссийская конференция по математике с международным участием «МАК: математики – Алтайскому краю»: сборник трудов / Барнаул (27 июня–1 июля 2019). – 2019. – С. 93–96.
69. Резник А.Л., Тузиков А.В., Торгов А.В., Соловьев А.А., Ковалев В.А. Локализация точечных источников со случайным пространственным расположением и случайной дисциплиной генерации импульсов // Всероссийская конференция с международным участием (SDM–2019) «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов»: сборник трудов / Бердск (26–30 августа 2019). – 2019. – С. 178–182.
70. Романченко А.М. Evaluation of feature detectors on a large set of images / научный рук. Шакенов А.К. // Всероссийская молодежная научно-практическая конференция с международным участием «LINGUANET»: сборник материалов / Севастополь (17 мая 2019). – 2019. – С. 332–337.
71. Рыбак А.А., Николаев Н.А., Кузнецов С.А. Повышение технических характеристик импульсных терагерцовых спектрометров с помощью микроструктурных квазиоптических фильтров нижних частот // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотозлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника 2019»: тезисы докладов / Новосибирск (27–31 мая 2019). – 2019. – С. 153. – DOI 10.34077/RCSP2019–153.
72. Рыбак А.А. Применение высокоэффективных микроструктурных фильтров нижних частот в терагерцовой импульсной спектроскопии // Международная научно-техническая конференция «Молодежь. Инновации. Технологии»: сборник научных трудов / Новосибирск (23–25 апреля 2019). – 2019. – С. 140–141.
73. Рыбак А.А. Применение квазиоптических микроструктур в качестве антиалиасных фильтров для задач импульсной терагерцовой спектроскопии // Юбилейная международная молодежная конференция по люминесценции и лазерной физике, посвященная 50-летию первой школы по люминесценции в Иркутске: материалы / Иркутск (1–6 июля 2019). – 2019. – С. 79.
74. Рыбак А.А. Применение микроструктурных квазиоптических фильтров нижних частот для повышения технических характеристик импульсно-го терагерцового спектрометра / научный рук. Николаев Н.А. // 57–я

- Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Фотоника и квантовые оптические технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 22.
75. Сажина Е.А. Исследование зарядового состояния цитохромов в эмбрионах мыши при криоконсервации / научный рук. Окотруб К.А. // Там же, секция «Физические методы в естественных науках» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 69.
76. Санжиев Е.С. Автоматическая верификация алгоритмов управления на виртуальных лабораторных стендах / научный рук. Зюбин В.Е. // Там же, секция «Информационные технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 110.
77. Сапрыкин Э.Г., Черненко А.А. Когерентные резонансы насыщенного поглощения в спектроскопии однонаправленных волн закрытых переходов // Юбилейная международная молодежная конференция по люминесценции и лазерной физике, посвященная 50-летию первой школы по люминесценции в Иркутске: материалы / Иркутск (1–6 июля 2019). – 2019. – С. 106.
78. Селиванова Г.А., Сколяпова А.Д., Амосов Е.В., Шундрин И.К., Карпова Е.В., Багрянская И.Ю., Коротаяев С.В., Шелковников В.В., Плеханов А.И., Микерин С.Л., Симанчук А.Э., Третьяков Е.В. Азохромофоры, содержащие трицианодифенильный и/или тиadiaзольный блоки. Синтез, свойства // Международная научная конференция «Полифункциональные химические материалы и технологии»: материалы Томск (22–25 мая 2019). – 2019. – Т. 2. – С. 78–80.
79. Согрешилин А.А. Исследование влияния конфигурации рецептивных полей на качество сегментации изображений / научный рук. Кугаевских А.В. // 57-я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Информационные технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 13.
80. Содномай А.Б. Исследование характера насыщения усиления в легированных волокнах / научный рук. Лобач И.А. // Там же, секция «Фотоника и квантовые оптические технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 25.
81. Тимофеев В.Ю., Сизиков И.С., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Носов Д.А., Валитов М.Г., Бойко Е.В. Мониторинг силы тяжести и смещений в Байкальском регионе // 11-й Всероссийский симпозиум «Физика геосфер»: материалы докладов / Владивосток (9–14 сентября 2019). – 2019. – С. 195–199.
82. Тимофеев В.Ю., Валитов М.Г., Сизиков И.С., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Стусь Ю.Ф., Носов Д.А., Кулинич Р.Г., Горнов П.Ю., Калиш Е.Н. Мониторинг силы тяжести и смещений на юге Приморья // Там же, с. 200–204.
83. Титков А.И., Логутенко О.А., Воробьев А.М., Мальбахова И.А., Булина Н.В., Баев С.Г., Бессмельцев В.П., Юхин Ю.М., Ляхов Н.З. Лазерное спекание наночастиц Ag и Cu/Ag со структурой ядро-оболочка для со-

- здания электропроводящих элементов технологиями 2D- и 3D-печати // III Всероссийская конференция с международным участием, посвященная 75-летию Института химии твердого тела и механохимии СО РАН «Горячие точки химии твердого тела: от новых идей к новым материалам»: тезисы докладов / Новосибирск (1–5 октября 2019). – 2019. – С. 133.
84. Узлов Д.А., Миляев И.Ю. Исследование состязательных атак на глубокое обучение и механизмы защиты от них / научный рук. Кугаевских А.В. // 57-я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Информационные технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 151.
85. Фадеев С.И. Исследование нелинейных колебаний в микрогенераторе тактовой частоты с различными вариантами импульсного электростатического воздействия // Марчуковские научные чтения – 2019: Международная конференция Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики: сборник тезисов / Новосибирск (1–5 июля 2019)
86. Фарафонова М.А. Создание библиотеки сбора и обработки данных от беспроводных модулей регистрации электрофизиологических сигналов / научные рук. Зюбин В.Е., Тарасов Е.А. // 57-я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Информационные технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 54.
87. Чжан С. Аккуратное измерение времени пребывания (dwelltime) на поверхности монокристаллического сапфира / научный рук. Атутов С.Н. // Там же, секция «Физические методы в естественных науках» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 46.
88. Шакенов А.К. Комбинация нейронной сети и линейной фильтрации для обнаружения объектов // Всероссийская конференция с международным участием (SDM–2019) «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов»: сборник трудов / Бердск (26–30 августа 2019). – 2019. – С. 218–222.
89. Шевченко О.Н. Влияние диафрагмирования пучка широкополосного импульсного терагерцового спектрометра на измерение оптических свойств образцов / научный рук. Николаев Н.А. // 57-я Международная научная студенческая конференция «МНСК–2019»: материалы. Секция «Фотоника и квантовые оптические технологии» / Новосибирск (14–19 апреля 2019). – 2019. – С. 30.
90. Шиманский Р.В. Запись и обработка микроизображений для контроля точности изготовления прецизионных синтезированных голограмм // V международная конференция и молодежная школа «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ–2019): сборник трудов / Самара (21–24 мая 2019). – Т. 1. «Компьютерная оптика и нанофотоника». – 2019. – С. 267–273.

91. Шиманский Р.В., Корольков В.П., Качкин А.Е. Разработка и исследования прецизионного пьезоэлектрического привода Y–координаты для круговой лазерной записывающей системы // XV Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО–Сибирь». Национальная конференция с международным участием «СибОптика–2019»: сб. материалов / Новосибирск (24–26 апреля 2019). – Т. 8. – 2019. – С. 57–63. – DOI 10.33764/2618–981X–2019–8–57–63.
92. Шойдин С.А., Корольков В.П. Актуализация основной профессиональной образовательной программы: из опыта подготовки инженерных кадров // Международная научно–методическая конференция «Актуальные вопросы образования. Современные тренды непрерывного образования в России»: сборник материалов / Новосибирск (25–28 февраля 2019). – Т. 2. – 2019. – С. 190–194.
93. Abalmassov V.A. The role of uncompensated electric charges in the polarization dynamics induced by femtosecond high–intensity infrared laser pulses // 3rd International conference "Scanning probe microscopy". 4th Russia–China workshop on dielectric and ferroelectric materials. International youth conference "Functional imaging of nanomaterials": abstract book / Yekaterinburg (August 25–28, 2019). – 2019. – СТ. OB–17. – P. 110.
94. Abdullina S.R., Skvortsov M.I., Vlasov A.A., Podivilov E.V., Babin S.A. Distributed–feedback Raman Laser based on Random FBG Array in a Short PM Fiber // OSA Technical Digest. OSA Frontiers in Optics/ Laser Science 2019 / Washington, USA (September 15–19, 2019). – 2019. – СТ. JW3A.60. – DOI 10.1364/FIO.2019.JW3A.60.
95. Abdullina S.R., Skvortsov M.I., Wolf A.A., Podivilov E.V., Babin S. A., Wabnitz S., Ghofraniha N., Gentilini S., Conti C. Random Raman lasing based on random FBG array in fibers of different types // 28th Annual International Laser Physics Workshop (LPHYS'19) / Gyeongju, South Korea (July 8–12, 2019). – 2019. – СТ. S8.1.2.
96. Anureev I.S. Operational Semantics of Reflex // 12th A.P. Ershov informatics conference (PSI'19): preliminary proceedings. X Workshop “Program Semantics, Specification and Verification: Theory and Applications”: abstracts / Novosibirsk (July 2–5, 2019). – 2019. – P. 20.
97. Anureev I., Garanina N., Liakh T.V., Rozov A.S., Schulte H., Zyubin V.E. Towards safe cyber–physical systems: the reflex language and its transformational semantics // International Siberian conference on Control and communications (SIBCON): proceedings / Tomsk (April 18–20, 2019). – 2019. – СТ. 8729633. – DOI 10.1109/SIBCON.2019.8729633.
98. Anureev I., Garanina N., Liakh T.V., Rozov A.S., Zyubin V.E., Gorlatch S. Two–step deductive verification of control software using Reflex // 12th A.P. Ershov informatics conference (PSI'19): preliminary proceedings / Novosibirsk (July 2–5, 2019). – 2019. P. 50–63. – DOI 10.1007/978–3–030–37487–7\_5.
99. Babin S.A., Evmenova E.A., Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Podivilov E.V. Beam cleaning effects in multimode LD–pumped CRIN–fiber Ra-

- man laser // 7th International conference and exhibition on optics and electro-optics “Oasis 7”: abstract book / Tel-Aviv, Israel (April 1–2, 2019). – 2019. – CT. 84
100. Babin S.A. Diode-Pumped Multimode Raman Fiber Lasers // Conference on Lasers and Electro-Optics Europe – European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC) / Munich, Germany (June 23–27, 2019). – 2019. – CT. 8872926. – DOI 10.1109/CLEOE-EQEC.2019.8872926.
  101. Babin S.A. Raman lasing in multimode and multicore fibers // Advanced fiber laser conference (AFL 2019): technical program and abstracts / Changsha, China (November 22–24, 2019). – 2019. – P. 29–30.
  102. Bednyakova A.E., Kharenko D.S., Yarovikov A.P. On modelling of NPE mode-locked fiber laser in presence of Raman scattering // Optics InfoBase Conference Papers. – 2019. – Part F140 (CLEO / Europe Munich, Germany (June 23–27, 2019)). – P. 60.
  103. Belousov D.A., Korolkov V.P., Khomutov V.N., Nasyrov R.K. Laser beam diffraction inspection of periodic metal/oxide structures with submicron period // Proceedings of SPIE: vol. 11030: Holography: Advances and Modern Trends VI. – 2019. – CT. 110301C. – DOI 10.1117/12.2520960.
  104. Bronnikov K.A., Dostovalov A.V., Terentyev V.S., Korolkov V.P., Babin S.A. Thermochemical LIPSS formation on Si films with an astigmatic Gaussian beam // International Symposium “Fundamentals of Laser Assisted Micro- & Nanotechnologies” (FLAMN-19): abstract book / St. Petersburg (June 30–July 4, 2019). – 2019. – CT. PS3-W06-2. – P. 195.
  105. Budarnykh A.E., Vladimirskaya A.D., Skvortsov M. I., Wolf A.A., Lobach I.A., Kablukov S.I. Tm-doped fiber laser with control of spectral dynamics // Proceedings of SPIE: vol. 11028: Optical sensors 2019. – 2019. – CT. 110282T. – DOI 10.1117/12.2522437.
  106. Budnikov K.I., Nestyulya R.V., Kurochkin A.V. HTTP Filtering Device Model on Industrial-Type Hardware Platform // International Russian Automation Conference (RusAutoCon): proceedings / Sochi, Russia (September 8–14, 2019). – 2019. – CT. 8867647. – DOI 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867647.
  107. Budnikov K.I., Kurochkin A.V. Software simulation of the information web-system with regulation of access to Internet content // 12th A.P. Ershov informatics conference (PSI 19): preliminary proceedings / Novosibirsk (July 2–5, 2019). – 2019. – P. 95–102.
  108. Churkin D.V., Smirnov S.V. Laminar and turbulent generation states of different parity-time symmetry properties in coupled Raman fiber lasers // Proceedings of SPIE: vol. 11195: Quantum and Nonlinear Optics VI 2019. “SPIE/COS PHOTONICS ASIA” / Hangzhou, China (October 20–23, 2019). – CT. 1119508. – DOI 10.1117/12.2538908
  109. Derevyashkin S.V., Soboleva E.A., Shelkovnikov V.V., Korolkov V.P., Malyshev A.I., Spesivtsev E.V. Triacrylamide polyfluorinated chalcone derivative as high resistant light-sensitive material for technology of diffrac-

- tive optical elements // Proceedings of SPIE: vol. 11030: Holography: Advances and Modern Trends VI. – 2019. – CT. 110301D. – DOI 10.1117/12.2521139.
110. Dostovalov A.V., Bronnikov K.A., Belousov D.A., Korolkov V.P., Babin S.A. Fast formation of hybrid periodic surface structures on Hf thin-film by focused femtosecond laser beam // Proceedings of SPIE: vol. 11183: Advanced Laser Processing and Manufacturing III. – 2019. – CT. 111830U. – DOI 10.1117/12.2537672.
  111. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Bronnikov K.A., Babin S.A. FBGs inscription in multicore fibers with an ordinary and an astigmatic Gaussian beam // International Symposium “Fundamentals of Laser Assisted Micro- & Nanotechnologies” (FLAMN-19): abstract book / St. Petersburg (June 30–July 4, 2019). – 2019. – CT. PS1-W04-2. – P. 153.
  112. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Evmenova E.A., Skvortsov M.I., Abdullina S.R., Bronnikov K.A., Yakushin S.S., Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Babin S.A. Femtosecond laser inscription of fiber Bragg gratings for laser and sensing applications // International conference “Advanced Laser Technologies (ALT`19)”: book of abstracts / Prague, Czech Republic (September 15–20, 2019). – 2019. – CT. paper HiLASE-I-13. – DOI 10.24411/9999-011A-2019-00191.
  113. Dostovalov A.V., Derrien T.J.-Y., Korolkov V.P., Babin S.A., Bulgakova N.M. Multiplicity of laser-excited electromagnetic modes and their roles in LIPSS formation on thin metallic films // CLEO: Science and innovations 2019. Session "Fundamentals of ultrafast light matter interaction" / San Jose, California, US (May 5–10, 2019). – 2019. – CT. 8750608. – DOI 10.23919/CLEO.2019.8750608.
  114. Dostovalov A.V., Derrien T.J.-Y., Korolkov V.P., Babin S.A., Bulgakova N.M. Multiplicity of laser-excited electromagnetic modes and their roles in LIPSS formation on thin metallic films // Там же. – CT. SM3H.1. – DOI 10.1364/CLEO\_SI.2019.SM3H.1.
  115. Dostovalov A.V., Bronnikov K.A., Okotrub K.A., Terentyev V.S., Derrien T.J.Y., Lizunov S., Mocek T., Korolkov V.P., Bulgakova N.M., Babin S.A. Thermochemical laser-induced periodic structures formation on metals and semiconductors surfaces // International conference “Advanced Laser Technologies (ALT`19)”: book of abstracts / Prague, Czech Republic (September 15–20, 2019). – 2019. – CT. paper LP-I-15. – DOI 10.24411/9999-011A-2019-00056.
  116. Evmenova E.A., Kuznetsov A.G., Nemov I.N., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Babin S.A. Cascaded Raman lasing in a multimode diode-pumped graded-index fiber // Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2019): proceedings / San Jose, California, US (May 5–10, 2019). – 2019. – CT. 8750656. – DOI 10.23919/CLEO.2019.8750656.
  117. Evmenova E.A., Kuznetsov A.G., Nemov I.N., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Babin S.A. Cascaded Raman

- lasing in a multimode diode-pumped graded-index fiber // CLEO: Science and innovations 2019. Session "Multi-mode fiber phenomena II" / San Jose, California, US (May 5–10, 2019). – 2019. – CT. STh4L.4. – DOI 10.1364/CLEO\_SI.2019.STh4L.4.
118. Evmenova E.A., Antropov A.A., Kharenko D.S., Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Babin S.A. Development of robust fiber laser source based on parametric frequency conversion for use in CARS microscopy // Proceedings SPIE: vol. 11190: Optics in Health Care and Biomedical Optics IX. "SPIE/COS PHOTONICS ASIA" / Hangzhou, China (October 20–23, 2019). – 2019. – CT. 111900I (5 p.). – DOI 10.1117/12.2537713.
  119. Ezhov D.M., Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Cherepanov V.N., Svetlichnyi V.A. THz properties of Fe and Ti oxides nanoparticles obtained by pulsed laser ablation // 44th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW–THz) / Maison de la Chimie, Paris, France (September 1–6, 2019). – 2019. – CT. 8874481. – DOI 10.1109/IRMMW–THz.2019.8874481.
  120. Frumin L.L. New approaches to coding information using inverse scattering transform // 5th international conference "Quasilinear Equations, Inverse Problems and their Applications" (QIPA 2019): abstracts / Dolgoprudny, Russia (December 2–4, 2019). – 2019. P. 31.
  121. Garanina N.O., Anureev I.S., Sidorova E., Zyubin V.E., Gorlatch S. An ontology-based approach to support formal verification of concurrent systems // 8th International Symposium "From Data to Models and Back (DataMod)" / Porto, Portugal (October 7–8, 2019). – 2019. – CT. paper 4.
  122. Garanina N.O., Anureev I.S., Zyubin V.E. Constructing Verification-Oriented Domain-Specific Process Ontologies // 12th A.P. Ershov informatics conference (PSI'19): preliminary proceedings. X Workshop "Program Semantics, Specification and Verification: Theory and Applications": abstracts / Novosibirsk (July 2–5, 2019). – 2019. – P. 23.
  123. Han Z., Fast S.S., Klotz E., Vatnik I.D., Churkin D.V. Studying of filtering properties of SNAP microresonators on the surface of optical fibers // Proceedings of SPIE: vol. 11026: Nonlinear optics and applications XI. – 2019. – CT. 110261G. – DOI 10.1117/12.2524942.
  124. Han Z., Vatnik I.D., Churkin D.V. Reflection of whispering gallery modes propagating on the optical fiber surface from its facet // Там же, vol. 11193: Nanophotonics and Micro/Nano Optics V. "SPIE/COS PHOTONICS ASIA" / Hangzhou, China (October 20–23, 2019). – 2019. – CT. 111930Q. – DOI 10.1117/12.2537802.
  125. Huang J., Huang Z., Andreev Y.M., Lanskie G.V., Lisenko A.A., Losev V.F., Lubenko D.M., Nikolaev N.A. THz wave generation in nonlinear crystal beta-BBO // 44th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW–THz) / Maison de la Chimie, Paris, France (September 1–6, 2019). – 2019. – CT. 8874165. – DOI 10.1109/IRMMW–THz.2019.8874165.

126. Ivanova N., Zolotilina A. Development of the tomography algorithm of periodically changing objects / scientific adviser Likhachev A.V. // VIII International Academic and research conference of graduate and postgraduate students "Progress through innovations": proceedings / Novosibirsk (March 28, 2019). – 2019. – P. 66–69.
127. Il'ichov L.V. Category forms of non–signalling and local causality and their duals = Теоретико–категорная форма условий локальной причинности и запрета коммуникации и их дуальные партнеры // XXI International scientific conference "Physical interpretations of relativity theory": abstracts / Moscow (July 1–5, 2019). – 2019. – P. 60–61.
128. Kashirina E.K., Lobach I.A., Kablukov S.I. Self–Sweeping Operation of Nd–Doped Fiber Laser // Conference on Lasers and Electro–Optics Europe – European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe–EQEC) / Munich, Germany (June 23–27, 2019). – 2019. – CT. 8871796. – DOI 10.1109/CLEOE–EQEC.2019.8871796.
129. Kharenko D.S., Sidelnikov O.S., Gonta V.A., Gervaziev M.D., Krupa K., Turitsyn S.K., Fedoruk M.P., Podivilov E.V., Babin S.A., Wabnitz S. Beam self–cleaning in multimode optical fibers and hydrodynamic 2D turbulence // Conference on Lasers and Electro–Optics (CLEO 2019): proceedings / San Jose, California, US (May 5–10, 2019). – 2019. – CT. 8750688. – DOI 10.23919/CLEO.2019.8750688.
130. Kharenko D.S., Sidelnikov O.S., Gonta V. A., Gervaziev M.D., Krupa K., Turitsyn S.K., Fedoruk M.P., Podivilov E.V., Babin S.A., Wabnitz S. Beam self–cleaning in multimode optical fibers and hydrodynamic 2D turbulence // CLEO: QELS Fundamental science 2019. Session "Tailorable phenomena in optical fibers" / San Jose, California, US (May 5–10, 2019). – 2019. – CT. FTh3B.4. – DOI 10.1364/CLEO\_QELS.2019.FTh3B.4.
131. Kharenko D.S., Efremov V.D., Babin S.A. Generation of Raman dissipative solitons in an external phosphosilicate all–fiber cavity // Conference on Lasers and Electro–Optics (CLEO 2019): proceedings / San Jose, California, US (May 5–10, 2019). – 2019. – CT. 8750570. – DOI 10.23919/CLEO.2019.8750570.
132. Kharenko D.S., Efremov V.D., Babin S.A. Generation of Raman dissipative solitons in an external phosphosilicate all–fiber cavity // CLEO: Science and innovations 2019. Session "Fiber parametric sources" / San Jose, California, US (May 5–10, 2019). – 2019. – CT. SF1L.7. – DOI 10.1364/CLEO\_SI.2019.SF1L.7.
133. Kharenko D.S., Zhdanov I.S., Podivilov E.V., Babin S.A., Bednyakova A.E., Fedoruk M.P. Investigation of Raman Dissipative Solitons Generation in an External Phosphosilicate–Fiber Cavity // OSA Technical Digest. "Frontiers in Optics + Laser Science APS/DLS" / Washington DC, US (September 15–19, 2019). – 2019. – CT. JW3A.110. – DOI 10.1364/FIO.2019.JW3A.110.
134. Khomutov V.N., Nasyrov R.K. Angular coordinate error testing of circular writing laser system using Fizeau interferometer // Proceedings of SPIE:

- vol. 11188: Holography, Diffractive Optics and Applications IX. – 2019. – CT. 111881T. – DOI 10.1117/12.2537299.
135. Kiryanov A.V., Kiryanov V.P. Improving synthesis accuracy of topology elements in laser pattern generators with circular scanning mode // V International conference on industrial engineering (ICIE 2019). Vol. 1 “Lecture notes in mechanical engineering”: proceedings / edited by Radionov A.A. and others. – 2019 – P. 497–506. – DOI 10.1007/978-3-030-22041-9\_53.
  136. Komarov A.K., Komarov K.P., Terentyev V.S., Li L., Zhao L.M. Formation, Stability and Structure of Noise-Like Pulses in Passively Mode-Locked Fiber Lasers // OSA Technical Digest. OSA Laser Congress 2019, Advanced Solid State Lasers Conference / Vienna, Austria (September 29–October 3, 2019). – 2019. – CT. paper JTh3A.1 – DOI 10.1364/ASSL.2019.JTh3A.1.
  137. Korolkov V.P., Nasyrov R.K., Sametov A.R., Malyshev A.I., Belousov D.A., Mikerin S.L., Kutz R.I. Direct laser writing of high-NA computer-generated holograms on metal films of the titanium group and chromium // Proceedings of SPIE: vol. 11188: Holography, Diffractive Optics and Applications IX. – 2019. – CT. 111880R. – DOI 10.1117/12.2537269.
  138. Korolkov V.P., Sedukhin A.G., Belousov D.A., Shimansky R.V., Khomutov V.N., Mikerin S.L., Spesivtsev E.V., Kutz R.I. Increasing the spatial resolution of direct laser writing of diffractive structures on thin films of titanium group metals // Там же, vol. 11030: Holography: Advances and Modern Trends VI. – 2019. – CT. 110300A. – DOI 10.1117/12.2520978.
  139. Korolkov V.P., Cherkashin V.V., Khomutov V.N., Belousov D.A. Multi-channel scanning measuring system for testing of diffractive structures and thin transparent films // Там же, ст. 110301E. – DOI 10.1117/12.2521140.
  140. Korolkov V.P., Mikerin S.L., Kutz R., Malyshev A. New super-resolution method of direct laser writing on Zr films // International conference “Advanced Laser Technologies (ALT`19)”: book of abstracts / Prague, Czech Republic (September 15–20, 2019). – 2019. – CT. paper LP-I-17. – DOI 10.24411/9999-011A-2019-00058.
  141. Korolkov V.P., Veiko V.P., Shakhno E.A., Dostovalov A.V., Sinev D.A., Sedukhin A.G., Belousov D.A., Nasyrov R.K. Perspectives of laser local oxidation nanolithography for fabrication of subwavelength and high-na diffractive optical elements // International Symposium “Fundamentals of Laser Assisted Micro- & Nanotechnologies” (FLAMN-19): abstract book / St. Petersburg (June 30–July 4, 2019). – 2019. – CT. W03.04–36. – P. 87.
  142. Kosykh V.P., Gromilin G.I., Yakovenko N.S. Small Objects Detection in Two-Color Images with Spatially Non-Stationary Background // CEUR Workshop Proceedings: All-Russian Conference "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM 2019) / Berdsk (August 26–29, 2019). – 2019. – Vol. 2534. – P. 284–287.
  143. Kuzakov D., Lavrentiev M.M., Marchuk An. Determination of the sensor positions for effective tsunami warning // 19th International multidisciplinary

nary scientific geoconference (SGEM 2019): proceedings / Vienna, Austria (December 9–12, 2019). – 2019. – Vol. 19, is. 1.4. – P. 169–176. – DOI 10.5593/sgem2019V/1.4/S02.022.

144. Kuzakov D., Lavrentiev M.M., Marchuk A. Reconstruction of tsunami source by a part of wave time series before the first maximum // Всероссийская конференция и школа для молодых ученых, посвященные 100-летию академика Овсянникова Л.В. «Математические проблемы механики сплошных сред»: тезисы докладов / Новосибирск (13–17 мая 2019). – 2019. – С. 238–239.
145. Kuznetsov A.G., Nemov I.N., Wolf A.A., Kablukov S.I., Babin S.A., Chen Y., Yao T., Leng J., Zhou P. Beam Cleaning Effects in Multimode GRIN-Fiber Raman Lasers and Amplifiers // 28th Annual International Laser Physics Workshop (LPHYS'19) / Gyeongju, South Korea (July 8–12, 2019). – 2019. – СТ. S8.3.2.
146. Kuznetsov A.G., Vatik I.D., Perego A.M., Churkin D.V., Staliunas K. Experimental evidences of non-hermitian mode-locking in fibre laser // Conference on Lasers and Electro-Optics Europe – European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC) / Munich, Germany (June 23–27, 2019). – 2019. – СТ. 8872992. – DOI 10.1109/CLEO-EQEC.2019.8872992.
147. Kuznetsov A.G., Evmenova E.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Frequency doubling of multimode diode-pumped graded-index fiber Raman lasers // OSA Technical Digest. Laser Congress 2019 (ASSL, LAC, LS&C) / Vienna Austria (September 29–October 3, 2019). – СТ. JW2A.37. – DOI 10.1364/ASSL.2019.JW2A.37.
148. Kuznetsov S.A., Gelfand A.V., Fedorinin V.N., Nikolaev N.A., Lazorskiy P.A., Arzhannikov A.V. High-performance frequency selective surface filters for terahertz applications // 44th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz) / Maison de la Chimie, Paris, France (September 1–6, 2019). – 2019. – СТ. 8874586. – DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8874586.
149. Kuznetsov A.G., Nemov I.N., Wolf A.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Pulsed generation of multimode diode-pumped graded-index fiber Raman laser // Proceedings SPIE: vol. 11181: High-Power Lasers and Applications X “SPIE/COS PHOTONICS ASIA” / (October 20–23, 2019) Hangzhou, China. – 2019. – СТ. 111810K (7 p.). – DOI 10.1117/12.2537769.
150. Kuznetsov A.G., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Kablukov S.I., Babin S.A. Selection of LP<sub>01</sub> and LP<sub>11</sub> modes in multimode graded-index fiber Raman laser by special FBGs // Там же, ст. 1118111 (7 p.). – DOI 10.1117/12.2538637.
151. Lavrentiev M.M., Lysakov K.F., Marchuk A., Oblaukhov K., Shadrin M.Yu. Dependence of tsunami wave maximal heights along a coastline on the source location // Всероссийская конференция и школа для молодых ученых, посвященные 100-летию академика Овсянникова

- Л.В. «Математические проблемы механики сплошных сред»: тезисы докладов / Новосибирск (13–17 мая 2019). – 2019. – С. 240–241.
152. Lavrentiev M.M., Lysakov K.F., Marchuk An.G., Oblaukhov K.K., Shadrin M.Yu. Fast numerical solution to shallow water system for tsunami danger evaluation // Международная конференция в честь 90-летия С.К.Годунова «Математика в приложениях»: тезисы докладов / Новосибирск (4–10 августа 2019). – 2019. – С. 274.
153. Liakh T.V., Rozov A.S., Zyubin V.E. LabVIEW-based automatic verification of process-oriented software // International Siberian conference on Control and communications (SIBCON): proceedings / Tomsk (April 18–20, 2019). – 2019. – Ст. 8729596. – DOI 10.1109/SIBCON.2019.8729596.
154. Liakh T.V., Anureev I.S., Garanina N.O., Rozov A.S., Zyubin V.E. Four-Component Model for Dynamic Verification of Process-Oriented Control Software for Cyber-Physical Systems // SibirCon 2019: proceedings / Novosibirsk (October 21-27, 2019). – 2019. – P. 466-471. – DOI 10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958127.
155. Likhachev A.V., Kiychenko T.S., Likhachev N.A. Regularizing method for the analysis of CT images of welded joints of pipelines // IOP Conference series: Materials science and engineering. – 2019. – Vol. 681. – Ст. 012027. – DOI 10.1088/1757-99X/681/1/012027.
156. Likhachev N.A., Likhachev A.V. Application of Entropy Filter in the Analysis of X-Ray Images // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon 2019) / Vladivostok (October 1–4, 2019). – 2019. – Ст. 8933849. – DOI 10.1109/FarEastCon.2019.8933849.
157. Lubenko D.M., Lansky G.V., Nikolaev N.A., Sandabkin E.A., Losev V.F., Andreev Yu.M. Generation of THz emission in nonlinear BBO crystal at room temperature // Proceedings of SPIE: vol. 11322. XIV International Conference on Pulsed Lasers and Laser Applications (AMPL–2019) / Tomsk. – 2019. – P. 113222C. – DOI 10.1117/12.2554152.
158. Marchuk An.G., Vazhenin A.P., Hayashi K. Numerical modeling of suppression of the tsunami wave by submarine barrier // Международная конференция в честь 90-летия С.К.Годунова «Математика в приложениях»: тезисы докладов / Новосибирск (4–10 августа 2019). – 2019. – С. 164.
159. Mikerin S.L., Simanchuk A.E., Chubakov V.P., Martynenkov A., Orlova N., Kargapolova I., Ishchenko R., Maksimov A., Shelkovnikov V. Electrical conductivity at elevated temperatures of polymer components in planar EO-polymer modulators // International conference "Organic electronics" (ORGEL–2019): book of abstracts / Novosibirsk (September 23–29, 2019). – 2019. – Ст. PP–17 (2 p.). – P. 72–73.
160. Nasyrov K.A., Gateva S., Nasyrov R.K., Petrov N., Tsvetkov S., Krasteva A., Cartaleva S. Asymmetric frequency-tuning behavior of the D1 line hyperfine spectrum of Rb vapor contained in high quality paraffin coated optical cell // Proceedings of SPIE: vol. 11047: 20th International conference

- and school on Quantum electronics: laser physics and applications (ICSQE 2018) / Nessebar, Bulgaria (September 17–21, 2018). – 2019. – CT. 110470U. – DOI 10.1117/12.2516634.
161. Nasyrov K.A., Gateva S., Nasyrov R.K., Petrov N., Tsvetkov S., Andreeva C., Leonov N., Cartaleva S. Frequency-tuning behavior of the D1 line hyperfine spectrum of Rb vapor contained in a high-quality paraffin-coated optical cell // XXI International summer school on vacuum, electron and ion technologies (VEIT): abstracts / Sozopol, Bulgaria (September 23–27, 2019). – 2019. – CT. PB–36. – P. 143.
162. Nasyrov K.A., Gateva S., Tsvetkov S., Nasyrov R.K., Cartaleva S. New behavior of the D1 line hyperfine spectrum of Rb vapor contained in an optical cell with high quality paraffin coating // AIP Conference Proceedings / 2019. – Vol. 2075. – CT. 030006 (6 p.). – DOI 10.1063/1.5091150.
163. Nikolaev N.A., Rybak A., Kuznetsov S., Yang S.–H. Metasurface-Based Anti-Alias Filters for Improved THz-TDS Measurements // 44th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW–THz) / Maison de la Chimie, Paris, France (September 1–6, 2019). – 2019. – CT. 8874107. – DOI 10.1109/IRMMW–THz.2019.8874107.
164. Nikolaev N.A., Lanskii G.V., Mamrashev A.A., Andreev Y. M. Popular nonlinear optical crystals as down-converters of intense laser radiation and materials for millimeter wave applications // Proceedings of SPIE: vol. 11322: XIV International Conference on Pulsed Lasers and Laser Applications (AMPL–2019) / Tomsk. – 2019. – CT. 1132229. – DOI 10.1117/12.2554383.
165. Pankov A.V., Sidelnikov O.S., Vatnik I.D., Sukhorukov A.A., Churkin D.V. Deep learning with synthetic photonic lattices for equalization in optical transmission systems // Proceedings of SPIE: vol. 11192: Real-time Photonic Measurements, Data Management and Processing IV (SPIE/COS PHOTONICS ASIA) / Hangzhou, China (October 20–23, 2019). – 2019. – CT. 111920N. – DOI 10.1117/12.2537462.
166. Podivilov E.V., Sturman B.I. Frequency comb solutions for quadratic nonlinearity // IX International Conference “SOLITONS, COLLAPSES AND TURBULENCE: Achievements, Developments and Perspectives” (SCT–19) in honor of Vladimir Zakharov's 80th birthday / Yaroslavl (August 5–9, 2019). – 2019. – P. 102.
167. Podivilov E.V., Kharenko D.S., Gonta V.A., Krupa K., Sidelnikov O.S., Turitsyn S.K., Fedoruk M.P., Babin S.A., Wabnitz S. Hydrodynamic 2D turbulence and beam self-cleaning in multimode optical fibers // Там же, p. 103–104.
168. Pugachev A.M., Zaytseva I.V. Manifestation of local polar regions in spectroscopic investigations in ferroelectrics and relaxors // 3rd International conference "Scanning probe microscopy". 4th Russia–China workshop on dielectric and ferroelectric materials. International youth conference "Functional imaging of nanomaterials": abstract book / Yekaterinburg (August 25–28, 2019). – 2019. – CT. IA–07. – P. 22.

169. Reznik A.L., Tuzikov A.V., Soloviev A.A., Torgov A.V., Kovalev V.A. High speed algorithms aimed to search for random pulsed–point sources // 14th International conference on pattern recognition and information processing (PRIP'2019) / Minsk, Belarus (May 21–23, 2019). – 2019. – P. 43–48.
170. Reznik A.L., Tuzikov A.V., Torgov A.V., Soloviev A.A., Kovalev V.A. Localization of Point Sources with Random Spatial Position and Random Discipline of Pulse Generation // CEUR Workshop Proceedings: All-Russian Conference "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM 2019) / Berdsk (August 26–29, 2019). – 2019. – Vol. 2534. – P. 178–182.
171. Saprykin E.G., Chernenko A.A. Resonance shapes of the saturated absorption and magnetic scanning on transition with  $J = 1 - J = 2$  in a spectroscopy of unidirectional waves // AIP Conference Proceedings: Vol. 2069: 16th International conference on Luminescence and laser physics / Arshan, Russia (July 2–7, 2018). – 2019. – CT. 030001 (10 p.). – DOI 10.1063/1.5089837.
172. Semaan G., Meng Y., Kemel M., Salhi M., Komarov A.K., Sanchez F. Color domains in passively mode–locked fiber laser // OSA Technical Digest. OSA Laser Congress 2019, Advanced Solid State Lasers Conference / Vienna, Austria (September 29–October 3, 2019). – 2019. – CT. paper JW2A.19. – DOI 10.1364/ASSL.2019.JW2A.19.
173. Semenov A.P., Abdulkadyrov M.A., Dobrikov N.S., Ignatov A.N., Patrikeev V.E., Pridnya V.V., Polyanchikov A.V., Nasyrov R.K. Experience of computer generated holograms (CGH) application for testing, alignment, and positioning of astronomical and space mirrors aspherical surfaces // Proceedings of SPIE: vol. 11341: Applied Optics and Photonics China 2019: Space Optics, Telescopes, and Instrumentation (AOPC 2019) / Beijing, China (July 7–9, 2019). – Ct. 113411L. – DOI 10.1117/12.2547477.
174. Shakenov A.K. Combination of Neural Network and Linear Filtration for Objects Detection // CEUR Workshop Proceedings: All-Russian Conference "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM 2019) / Berdsk (August 26–29, 2019). – 2019. – Vol. 2534. – P. 219–223.
175. Sidelnikov O.S., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Wabnitz S. Random mode coupling assists kerr beam self–cleaning in a graded–index multimode optical fiber // Conference on Lasers and Electro–Optics Europe – European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe–EQEC) / Munich, Germany (June 23–27, 2019). – 2019. – CT. 8871687. – DOI 10.1109/CLEOE–EQEC.2019.8871687.
176. Smirnov S.V., Makarenko M., Vatnik I.D., Churkin D.V. Parity–time symmetric laminar–turbulent transition in coupled Raman fiber lasers // Proceedings of SPIE: vol. 11026: Nonlinear optics and applications XI. – 2019. – CT. 110261F. – DOI 10.1117/12.2524882.

177. Staroletov S., Shilov N., Zyubin V.E., Liakh T.V., Rozov A.S., Konyukhov I., Shilov I., Baar T., Schulte H. Model-driven methods to design of reliable multiagent cyber-physical systems // CEUR Workshop Proceedings: Vol. 2478: Modeling and Analysis of Complex Systems and Processes Workshop (MACSPro) / Vienna, Austria (March 21–23, 2019). – 2019. – P. 74–91.
178. Steinberg I.Sh., Belikov A.Yu., Tverdokhlebov P.E. Laser heterodyne probing as a method of imaging internal inhomogeneities in optical materials // OSA Technical digest. Imaging and applied optics 2019 (COSI, IS, MATH, pcAOP) / Munich, Germany (June 24–27, 2019). – 2019. – CT. IW1C.5 (2 p.). – DOI 10.1364/ISA.2019.IW1C.5.
179. Tkachenko A.Y., Lobach I.A. Modeling of optical frequency domain reflectometer based on self-sweeping fiber laser // Proceedings of SPIE: vol. 11142: Optical Technology and Measurement for Industrial Applications Conference / Yokohama, Japan (April 22–26, 2019). – 2019. – CT. OPTM–P–14, 1114201–158 (2 p.). – Том DOI 10.1117/12.2535570.
180. Tkachenko A.Y., Lobach I.A., Kablukov S.I. Optical frequency domain reflectometry based on self-sweeping fiber laser // Proceedings SPIE: vol. 11199 : VII European Workshop on Optical Fibre Sensors / Limassol, Cyprus (October 1–4, 2019). – 2019. – CT. 111992H (4 p.). – DOI 10.1117/12.2541275.
181. Vatnik I., Gorbunov O., Churkin D., Podivilov E. Spectral correlations in radiation of random distributed feedback Raman fiber laser // Conference on Lasers and Electro-Optics Europe – European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe–EQEC) / Munich, Germany (June 23–27, 2019). – 2019. – CT. 8873192. – DOI 10.1109/CLEO–EQEC.2019.8873192.
182. Vyatkin S.I., Romanyuk A.N., Nechyporuk M.L. A numerical method for animating three-dimensional objects // XII Міжнародна науково-практична конференція "Information technologies and automation – 2019". Секція 1 «Наукові напрямки: Комп'ютерні телекомунікаційні мережі та технології. Математичне моделювання та інформаційні технології»: збірник доповідей / Odessa, Ukraine (October 17–18, 2019). – 2019. – С. 26–28.
183. Vyatkin S.I., Romanyuk A.N., Troianovska T., Tsikhanovska O., Nechyporuk M., Lysenko I. Convolution Surfaces using Volume Bounding // 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT 2019) / Ceske Budejovice, Czech Republic (June 5–7, 2019). – 2019. – CT. 8779894. – P. 461–465. – DOI 10.1109/ACITT.2019.8779894.
184. Vyatkin S.I., Romanyuk A.N., Kostrikova N.S. Function-based representation freeform surfaces // Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерна графіка та розпізнавання зображень»: збірник доповідей. – 2019. – P. 278–282.
185. Vyatkin S.I., Romanyuk O.N., Pavlov S.V., Nykiforova L.E., Lawicki T., Kashaganova G., Oralbekova A.A GPU-based multi-volume rendering for

- medicine // Proceedings of SPIE: vol. 11045: 18th Conference on Optical Fibers and Their Applications / Naleczow, Poland (November 20–23, 2018). – 2019. – СТ. 1104513. – DOI 10.1117/12.2522408.
186. Vyatkin S.I., Romanyuk A.N., Romanyuk O.V., Bashkov E.O. Interactive and packet applications for designing function-based scenes // Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерна графіка та розпізнавання зображень»: збірник доповідей. – 2019. – С. 283–284.
187. Vyatkin S.I., Romanyuk O.N., Pavlov S.V., Popiel P., Abenov A., Begaliev K. Offsetting and blending with perturbation functions // Proceedings of SPIE: vol. 11045: 18th Conference on Optical Fibers and Their Applications / Naleczow, Poland (November 20–23, 2018). – 2019. – СТ. 110450W. – DOI 10.1117/12.2522353.
188. Vyatkin S.I., Romanyuk A.N., Romanyuk O., Snigur A.V., Nechiporuk M. Shadow Generation Method for Volume-Oriented Visualization of Functionally Defined Objects // 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT 2019) / Ceske Budejovice, Czech Republic (June 5–7, 2019). – 2019. – СТ. 8780105. – P. 470–474. – DOI 10.1109/ACITT.2019.8780105.
189. Vyatkin S.I., Romanyuk A.N. Stochastic ray tracing using graphics processing units // Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерна графіка та розпізнавання зображень»: збірник доповідей. – 2019. – P. 285–287.
190. Wolf A.A., Skvortsov M.I., Abdullina S.R., Kamynin V., Zhlyuktova I., Dostovalov A.V., Tsvetkov V., Babin S.A. All-fiber 2.07  $\mu\text{m}$  distributed feedback laser based on  $\pi$ -phase-shifted FBG inscribed in heavily doped holmium fiber by femtosecond laser pulses // Conference on Lasers and Electro-Optics Europe – European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC) / Munich, Germany (June 23–27, 2019). – 2019. – СТ. 8873348. – DOI 10.1109/CLEOE-EQEC.2019.8873348.
191. Wolf A.A., Bronnikov K., Yakushin S., Dostovalov A.V., Zhuravlev S., Salganskii M., Egorova O., Semjonov S., Babin S. A. Femtosecond point-by-point inscription of 3D FBG arrays in 7-core fibers with straight and twisted cores // Proceedings SPIE: vol. 11199 : VII European Workshop on Optical Fibre Sensors / Limassol, Cyprus (October 1–4, 2019). – 2019. – СТ. 1119934. – DOI 10.1117/12.2540925.
192. Wolf A.A., Bronnikov K.A., Dostovalov A.V., Babin S.A. Femtosecond pulse inscription of 3D arrays of bragg gratings in selected cores of a multi-core optical fiber // Conference on Lasers and Electro-Optics Europe – European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC) / Munich, Germany (June 23–27, 2019). – 2019. – СТ. 8873242. – DOI 10.1109/CLEOE-EQEC.2019.8873242.
193. Wolf A.A., Dostovalov A.V., Bronnikov K.A., Babin S.A. Direct core-selective inscription of Bragg grating structures in seven-core optical fibers by femtosecond laser pulses // Proceedings of SPIE: vol. 11029: Micro-

structured and specialty optical fibers VI. – 2019. – СТ. 11029OE. – DOI 10.1117/12.2522248.

194. Zaytseva I.V., Pugachev A.M. The investigation of the time characteristic of local polar inhomogeneities in paraelectric phase in relaxors and ferroelectric crystals: on the example of  $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$  crystals with different chemical composition // 3rd International conference "Scanning probe microscopy". 4th Russia–China workshop on dielectric and ferroelectric materials. International youth conference "Functional imaging of nanomaterials": abstract book of joint international conference / Yekaterinburg (August 25–28, 2019). – 2019. – СТ. QA–15. – P. 79.
195. Zaytseva I.V., Pugachev A.M., Surovtsev N.V., Krylov A.S. Features of Raman spectra in barium titanate pressed powder // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: vol. 699, is. 1: 3rd International conference "Scanning probe microscopy". 4th Russia–China workshop on dielectric and ferroelectric materials. International youth conference "Functional imaging of nanomaterials" / Yekaterinburg (August 25–28, 2019). – 2019. – СТ. 012058. – DOI 10.1088/1757-899X/699/1/012058.
196. Zhdanov I.S., Kharenko D.S., Bednyakova A.E., Fedoruk M.P., Turitsyn S.K., Babin S.A. 4-nJ erbium all-fiber hybrid highly chirped dissipative soliton oscillator // Conference on Lasers and Electro-Optics Europe – European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe–EQEC) / Munich, Germany (June 23–27, 2019). – 2019. – СТ. 8873124. – DOI 10.1109/CLEOE–EQEC.2019.8873124.

#### АВТОРЕФЕРАТЫ

1. Семенов З.В. Исследование метода непрямого оптического контроля толщин многослойных покрытий в широком спектральном диапазоне: дисс. ... канд. технич. наук. Новосибирск, 2019. 157 с.
2. Симонов В.А. Разработка и применение отражательных интерферометров на основе тонкой металлической пленки для селекции мод волоконных лазеров: дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 2019. 19 с.
3. Яковин М.Д. Суперлюминесцентная параметрическая генерация света в кристалле PPLN с накачкой от Nd:YAG лазера с СЗАОМ: дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 2019. 23 с.

#### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

##### Патенты

1. Перестраиваемый волоконный двухзеркальный отражательный интерферометр: пат. 2679474 Рос. Федерация на изобретение. Бабин С.А., Терентьев В.С., Симонов В.А.; опубл. 11.02.2019, Бюл. № 5. 2 с.

2. Высокоточный матричный приёмник инфракрасного и терагерцового излучения: пат. 2682556 Рос. Федерация на изобретение. Гибин И.С., Котляр П.Е.; опубл. 19.03.2019 Бюл. № 8. 1 с.
3. Способ регистрации фазы квадратурных сигналов: пат. 2692965 Рос. Федерация на изобретение. Кириянов В.П, Кириянов А.В., Нагорников Г.И., Чуканов В.В.; опубл. 28.06.2019 Бюл. № 19. 1 с.
4. Устройство для создания периодических структур показателя преломления внутри прозрачных материалов (совместно с НГУ): пат. 2695286 Рос. Федерация на изобретение. Бабин С.А., Вольф А.А., Достовалов А.В., Терентьев В.С.; опубл. 22.07.2019 Бюл. № 21. 2 с.
5. Двухлучевой интерферометр: пат. 2697892 Рос. Федерация на изобретение. Угожаев В.Д.; опубл. 21.08.2019 Бюл. № 24. 2 с.
6. Способ определения содержания элементов и форм их присутствия в дисперсной пробе и её гранулометрического состава (совместно с ООО «ВМК–Оптоэлектроника»): пат. 2702854 Рос. Федерация на изобретение. Ващенко П.В., Гаранин В.Г., Дзюба А.А., Лабусов В.А., Пелипасов О.В.; опубл. 11.10.2019 Бюл. № 29. 2 с.
7. Способ формирования микроканалов на подложках и устройство для его реализации: пат. 2709888 Рос. Федерация на изобретение. Бессмельцев В.П., Голошевский Н.В., Катасонов Д.Н., Киприянов Я.А., Баев С.Г.; опубл. 23.12.2019 Бюл. № 36. 3 с.

#### УЧЕБНО–МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ

1. Пальчиков Е.И., Соломатин Б.Н., Зюбин В.Е., Якушкин С.В., Джафарова О.А., Соколов А.В., Тарасов Е.А., Поликарпов И.А., Личман И.В., Августинovich С.В., Белошапко Г.А., Демьянов Ю.Э., Демьянова Л.В., Полионов И.А. Задачи турнира юных инженеров–исследователей НГУ 2014–2019 гг.: учеб. пособие / Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2019. – 52 с.
2. Твердохлеб П.Е., Пономарева М.А. Оптические свойства тонких диэлектрических пленок: учеб. пособие / рец. Дубнищев Ю.Н., Шапиро Д.А.; Новосибирский гос. технический ун–т, физико–технический факультет. – Новосибирск: Изд–во НГТУ, 2019. – 86 с.

#### ПУБЛИКАЦИИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В ОТЧЕТ 2018 ГОДА

##### СТАТЬИ

##### Научные журналы

1. Гежа Е.Н., Ивкин Е.С., Сердюков О.В., Глазырин В.Е., Глазырин Г.В., Марченко А.И., Семендяев Р.Ю., Фишов А.Г. Системная автоматика для интеграции локальных систем электроснабжения с синхронной малой генерацией в электрические сети // Релейщик. – 2018. – № 2. – С. 24–31.
2. Vyatkin S.I. GPU-based volume-oriented rendering of functionally defined objects // Scientific bulletin of Naval academy. Electrical engineering, automation and computer science series. – 2018. – Vol. XXI,

is. 2. – P. 53–60. – DOI 10.21279/1454–864X–18–I2–005.

3. Vyatkin S.I., Romanyuk A.N., Necheporyk M.L., Roptanov V.I. The method of splatting the filter–based weighted average = Метод расщепления на основе фильтра средневзвешенного // Modern engineering and innovative technologies: technical sciences. – 2018. – Is. 6, part 1. – P. 44–49. – DOI 10.30890/2567–5273.2018–06–01–065.



Россия, 630090, Новосибирск, пр. Акад. Коптюга, 1  
тел.: (383) 330-79-69, факс: (383) 330-88-78,  
e-mail: [iae@iae.nsk.su](mailto:iae@iae.nsk.su); <https://www.iae.nsk.su>