

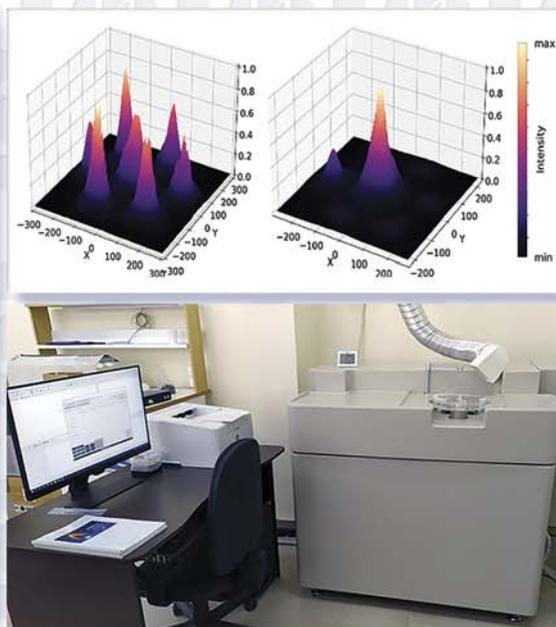
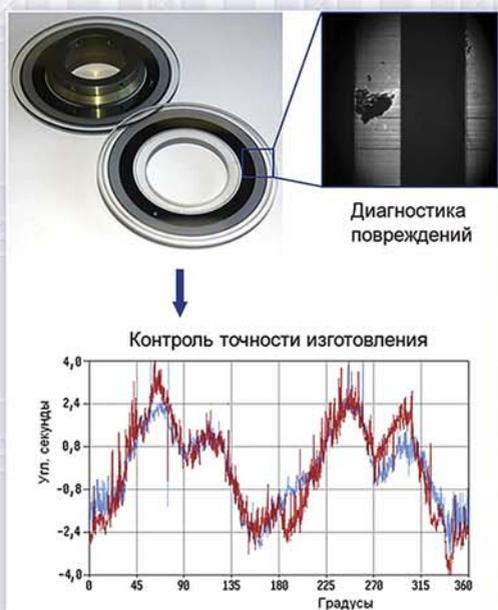
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук

ИАиЭ СО РАН



# Институт автоматики и электрометрии в 2023 году



## Отчет о деятельности

Новосибирск

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт автоматики и электрометрии  
Сибирского отделения Российской академии наук  
ИАиЭ СО РАН

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ  
в 2023 году

Отчет о деятельности

НОВОСИБИРСК  
2024

УДК 535 + 53.08 + 535.4 + 538.9 + 539.1 + 621.391 + 681.5 + 681.7 + 004.3  
+ 004.9

ББК 22.34 + 22.38 + 32.81 + 32.965 + 72.5

И71

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

Ответственный за выпуск  
Учёный секретарь, к.ф.-м.н. Е.И. Донцова

ISBN 978-5-6050986-9-0

© ИАиЭ СО РАН, 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>ТЕМАТИКИ НАУЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ</b> .....	6
<b>1. НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В 2023 ГОДУ</b> .....	8
<b>2. ПРОЕКТЫ ГОСЗАДАНИЯ ИНСТИТУТА</b> .....	24
<b>3. РФФИ, РФФИ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ</b> .....	86
<b>4. ПРИКЛАДНЫЕ РАЗРАБОТКИ И ПРОЕКТЫ</b> .....	88
<b>5. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ</b> .....	92
5.1. ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИАиЭ СО РАН.....	92
5.2. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, КАДРЫ, ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ.....	92
5.3. МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ.....	95
5.4. ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ.....	95
<b>6. ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИАиЭ СО РАН в 2023 г.</b> .....	99
6.1. МОНОГРАФИИ.....	99
6.2. СТАТЬИ.....	99
6.3. МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ, СЕМИНАРОВ.....	113
6.4. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ.....	124
6.5. АВТОРЕФЕРАТЫ.....	124
6.6. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ.....	125
6.7. ПУБЛИКАЦИИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В ОТЧЕТ 2022 ГОДА.....	125

## **ВВЕДЕНИЕ**

Научные исследования в Институте в 2023 году выполнялись по следующим направлениями:

**Фотоника:** • лазеры • волоконная оптика и сенсорика • технологии прецизионной обработки и модификации материалов • средства дистанционной диагностики физических параметров объектов и процессов.

**Автоматизированные системы управления технологическими процессами, информатика и ИТ:** • автоматизированные системы управления • системы виртуальной реальности • обучающие мультимедийные системы • математическое моделирование • аналитические и системные решения для различных процессов • разработка процесс-ориентированных языков технологического программирования.

**Биофизика и биомедицина:** • развитие методов терагерцовой спектроскопии и спектроскопии конденсированных сред для выявления болезней на их ранней стадии • создание волоконных лазеров для задач ранней неинвазивной диагностики • методы газового анализа • развитие нейросетевых методов для медицины.

Всего по указанным выше направлениям выполнялось 14 базовых проектов госзадания в соответствии с утверждёнными Планами НИР на отчётный период (из них 10 – по направлению «Оптика (включая лазерную оптику и квантовую оптику)» и 4 – по направлению «Компьютерные, информационные науки и биоинформатика»).

Ученые Института в 2023 г. вели проекты в рамках 12 грантов РФФИ, а также в рамках договорных работ с различными группами заказчиков. Поддерживаются соглашения и меморандумы о сотрудничестве с вузами и ассоциациями. Традиционно ведётся работа с администрацией и предприятиями Новосибирской области в рамках прикладных работ и проектов развития.

В декабре 2023 года на территории ИАиЭ СО РАН открыта Лаборатория «Оптика и сенсорика» *Передовой инженерной школы (ПИШ) «Когнитивная инженерия» НГУ*. Целью ПИШ НГУ является создание и реализации новой модели совместной деятельности университета и промышленных партнеров, объединенных выполнением комплексных технологических проектов и подготовкой передовых инженерных кадров. Для этого на базе нашего Института в рамках ПИШ *запущено создание технологической платформы по волоконной сенсорике и фотонике*, обладающей передовыми компетенциями, позволяющими создавать системы мониторинга объектов для различных отраслей экономики.

ИИиЭ СО РАН является участником консорциума ЦК НТИ «Фотоника», завершается основная работа по проектам.

Институт принимал участие в работе и организации научных конференций, выставочной деятельности. Продолжалось обсуждение с местными органами управления Проекта Центра оптических информационных технологий и прикладной фотоники (ЦОИТиПФ) в рамках программы Академгородок 2.0.

В стенах института действует *Центр коллективного пользования (ЦКП) «Спектроскопия и оптика»*, занимающийся исследованием структуры, динамики и релаксации на наномасштабах в кристаллах с дефектами, аморфных веществах и стёклах; развивающий технологии элементов волоконной, интегральной и дифракционной оптики, лазерного 3D послойного синтеза прецизионных изделий из термостойких и композиционных порошковых материалов, а также выполняющий работы под заказ.

По результатам исследований научных работников Института опубликовано 234 статьи в высокорейтинговых изданиях, в том числе 136 по государственному заданию.

Отчет подготовлен на основе материалов, представленных научными лабораториями, административными и вспомогательными подразделениями и службами Института, а также отчётных сведений, подаваемых в Минобрнауки РФ, сведений для систем мониторинга научно-исследовательской деятельности. В нем кратко приведены наиболее важные научные и научно-технические результаты, полученные при выполнении исследований в 2023 г. в рамках проектов госзадания Минобрнауки РФ. Изложены основные направления научно-исследовательских проектов, приведены общие показатели и список публикаций сотрудников Института за отчётный год.

Сайт ИИиЭ СО РАН: <https://www.iae.nsk.su>

Телеграм-канал ИИиЭ СО РАН: [https://t.me/iae\\_sb\\_ras](https://t.me/iae_sb_ras)



Страница ВКонтakte: [https://vk.com/iae\\_sb\\_ras](https://vk.com/iae_sb_ras)



**ТЕМАТИКИ НАУЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ  
(ЛАБОРАТОРИИ, ТЕМАТИЧЕСКИЕ ГРУППЫ)**

- (01): Физики лазеров** – *С.Л. Микерин, к.ф.-м.н.*  
*Physics of Lasers – S.L. Mikerin, Ph. D.*
- (01-1): Газоанализа** – *А.А. Аполонский, к.ф.-м.н.*  
*Gas analysis – A.A. Apolonski, Ph. D.*
- (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. Суrowцев, чл.-корр. РАН, проф. РАН*  
*Condensed matter spectroscopy – N.V. Surovtsev, Corr. Mem. of RAS, Prof.*
- (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** – *В.А. Лабусов, д.т.н.*  
*Multi-channel Analyzers of Optical and X-ray Radiation – V.A. Labusov, Dr. Sci.*
- (05-2): Трёхмерных лазерных технологий** – *П.Е. Твердохлеб, д.т.н., проф.*  
*3D laser technologies – P.E. Tverdokhleб, Dr. Sci., Prof.*
- (06): Дифракционной оптики** – *Корольков В.П., д.т.н.*  
*Diffraction Optics – V.P. Korolkov, Dr. Sci.*
- (07): Лазерной графики** – *В.П. Бессмельцев, к.т.н.*  
*Laser Graphics – V.P. Bessmeltsev, Ph. D.*
- (07-1): Лазерной гравиметрии** – *И.С. Сизиков*  
*Laser gravimetry – I.S. Sizikov*
- (09): Нечетких технологий** – *К.Ю. Котов, к.т.н.*  
*Fuzzy Technologies – K.Yu. Kotov, Ph. D.*
- (10): Цифровых методов обработки изображений** – *В.П. Косых, к.т.н.*  
*Digital Methods for Image Processing – V.P. Kosykh, Ph. D.*
- (10-1): Информатики и прикладной математики** – *А.В. Лихачев, д.т.н.*  
*Informatics and Applied Mathematics – A.V. Likhachev, Dr. Sci.*

- (11): **Фотоники** – Д.А. Шапиро, д.ф.-м.н., проф.  
 Photonics – D.A. Shapiro, Dr. Sci., Prof.
- (11-3): **Нелинейной оптики** – Е.В. Подивилов, д.ф.-м.н.  
 Nonlinear Optics – E.V. Podivilov, Dr. Sci.
- (12): **Вероятностных методов исследования информационных процессов** – А.Л. Резник, д.т.н.  
 Probability Research Methods for Information Processing – A.L. Reznik, Dr. Sci.
- (13): **Программных систем машинной графики** – М.М. Лаврентьев, д.ф.-м.н., проф.  
 Software Systems for Computer Graphics – M.M. Lavrentyev, Dr. Sci., Prof.
- (14): **Синтезирующих систем визуализации** – Б.С. Долговесов, к.т.н.  
 Computer Visualization Systems – B.S. Dolgovesov, Ph. D.
- (15): **Информационной оптики** – С.М. Борзов, к.т.н.  
 Information Optics – S.M. Borzov, 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
- (17-1): **Волоконных лазеров с синхронизацией мод** – Д.С. Харенко, к.ф.-м.н.  
 Mode-Locked Fiber Lasers – D.S. Kharenko, Ph. D.
- (17-2): **Фемтосекундных лазерных технологий** – А.В. Достовалов, к.ф.-м.н.  
 Femtosecond Laser Technologies A.V. Dostovalov, – Ph. D.
- (18): **Оптических сенсорных систем** – С.И. Каблукон, д.ф.-м.н., проф. РАН  
 Optical Sensing Systems – S.I. Kablukov, Ph. D., Prof. of RAS
- (19): **Киберфизических систем** – В.Е. Зюбин, д.т.н.  
 Cyber-Physical Systems – V.E. Zyubin, Dr. Sci.
- (19-1): **Нейронных сетей** – К.И. Будников, к.т.н.  
 Neural networks – K.I. Budnikov, Ph. D.
- (20): **Терагерцовой фотоники** – Н.А. Николаев, к.т.н.  
 Terahertz Photonics – N.A. Nikolaev, Ph. D.

## **1. НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО– ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В 2023 ГОДУ**

В 2023 г. Ученым Советом ИАиЭ СО РАН признаны важнейшими 7 результатов.

In 2023, seven results were recognized by the Scientific Council of the Institute of Automation and Electrometry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences as the most important results.

### **Физическое направление:**

#### **1.1. Измерительно-диагностический комплекс контроля точности изготовления оптических угломерных структур**

#### **The measurement and diagnostic complex for controlling of the manufacturing accuracy of the optical angle measuring structures**

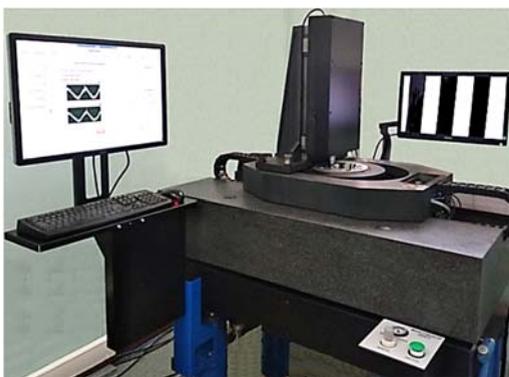
*Авторы: А.В. Кирьянов, А.А. Зотов, А.Г. Каракотский, В.П. Кирьянов,  
А.Е. Маточкин, А.Д. Петухов, В.В. Чуканов*

*Authors: A.V. Kiryanov, A.A. Zotov, A.G. Karakotsky, V.P. Kiryanov,  
A.E. Matochkin, A.D. Petukhov, V.V. Chukanov*

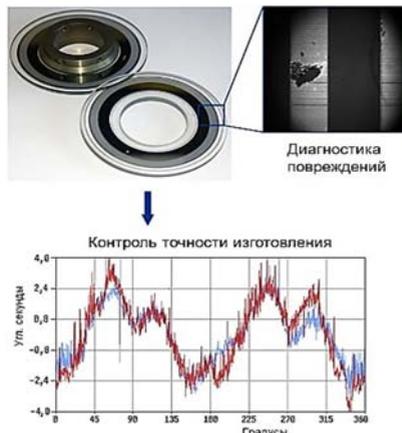
Разработан автоматизированный программно-аппаратный комплекс, предназначенный для контроля точности изготовления и диагностики повреждений фотошаблонов и рабочих образцов оптических угломерных структур, используемых в отсчётных системах устройств гонометрического типа (оптоэлектронных датчиках угла поворота, поворотных столах, тахеометрах и т. д.). Впервые в РФ выполнен с неопределённостью  $\pm 0,5''$  метрологический контроль погрешности изготовления нерегулярных структур на основе псевдослучайных шкал (Var-код).

Комплекс позволяет сократить производственные расходы за счет организации полного входного контроля характеристик оптических элементов, являющихся основным метрологическим элементом в измерительном оборудовании, выпускаемом предприятиями оптико-механической промышленности.

Аналогов в РФ нет. Технические решения в части конструкции комплекса, метода измерений, калибровки угловых датчиков защищены патентами РФ. Результаты исследований использовались при выполнении работ в интересах АО «ПО Уральский оптико-механический завод» (г. Екатеринбург).



**Рис. 1.1.** Внешний вид комплекса  
**Fig. 1.1.** External view of the complex



**Рис. 1.2.** Результат измерения и диагностики

**Fig. 1.2.** Measurement and diagnostics results

An automated hardware-software complex has been developed to control the accuracy of manufacturing and diagnose damage of phototemplates and working samples of optical angle-measuring structures used in reference systems of goniometric devices (optoelectronic rotation angle encoders, rotary tables, total stations, etc.). For the first time in the Russian Federation metrological control of the manufacturing error of irregular structures based on pseudo-random scales (Bar-code) was performed with an uncertainty of  $\pm 0.5''$ .

The complex allows to reduce production costs due to the organisation of full incoming control of characteristics of optical elements, which are the main metrological element in the measuring equipment produced by the enterprises of the opto-mechanical industry.

There are no analogues in the Russian Federation. Technical solutions in terms of the complex design, measurement method, calibration of angular encoders are protected by patents of the Russian Federation. The results of the research were used in the interests of JSC PO Ural Optical and Mechanical Plant (Ekaterinburg).

#### **Публикации/References:**

1. Кирьянов А.В., Бобков А.В., Зотов А.А., Гурин Н.А., Каракоцкий А.Г., Кирьянов В.П. Предварительно программируемая фокусировка микрообъектива углоизмерительной установки // Оптический журнал. – 2021. – № 5 (88). – С. 76–81. DOI 10.17586/1023-5086-2021-88-05-76-81. (Q3).
2. Кирьянов В.П., Петухов А.Д., Кирьянов А.В. Анализ алгоритмов самокалибровки в оптических датчиках угловых перемещений // Автометрия. – 2022. – № 3 (58). – С. 12–23. DOI: 10.15372/AUT20220302. (Q4).

3. Пат. 2782353 С1. Российская Федерация, МПК G01B 21/22. Способ угловых измерений / А.В. Кирьянов, В.П. Кирьянов; заявитель и патентообладатель Институт автоматизации и электрометрии СО РАН. – №2021116222; заявл. 02.06.2021; опубл. 26.10.2022. Бюл. №30. – 2с.: ил.

**1.2. Пространственная и спектральная локализация излучения  
в многосердцевинном волоконном лазере с резонатором  
на основе 3D массива брэгговских решеток**

**Spatial and spectral localization of radiation in a multi-core fiber laser  
with a cavity based on a 3D Bragg grating array**

*Авторы: А.Г. Кузнецов<sup>1</sup>, А.А. Вольф<sup>1</sup>, М.И. Скворцов<sup>1</sup>, А.В. Достовалов<sup>1</sup>,  
Е.В. Подвиллов<sup>1</sup>, С.А. Бабин<sup>1</sup>, О.Н. Егорова<sup>2</sup>, С.Л. Семенов<sup>2</sup>  
(ИЦВО ИОФ РАН)*

*<sup>1</sup>Институт автоматизации и электрометрии СО РАН (ИАиЭ СО РАН), г. Новосибирск  
<sup>2</sup>Научный центр волоконной оптики ИОФ РАН*

*Authors: A.G.Kuznetsov<sup>1</sup>, A.A.Wolf<sup>1</sup>, M.I.Skvortsov<sup>1</sup>, A.V.Dostovalov<sup>1</sup>,  
E.V.Podivilov<sup>1</sup>, S.A.Babin<sup>1</sup>, O.N.Egorova<sup>2</sup>, S.L.Semenov<sup>2</sup>*

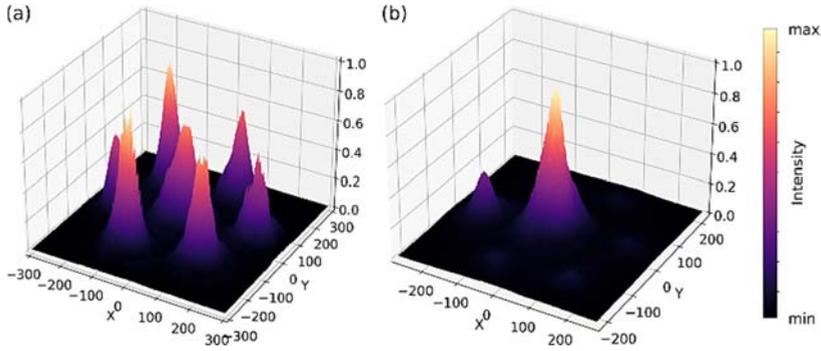
*<sup>1</sup>Institute of Automation and Electrometry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch,  
Novosibirsk (IA&E SB RAS, Novosibirsk)*

*<sup>2</sup>FORC GPI RAS*

Разработана технология фемтосекундной поточечной записи 3D массивов волоконных брэгговских решеток (ВБР) с заданным распределением [1]. В пассивном 7-сердцевинном световоде с резонатором на основе массива плотных ВБР накачка и внутрирезонаторная ВКР генерация распределяются между всеми (связанными) сердцевинами, а выходной пучок ВКР выходит из центральной сердцевины (рис. 1.3), т. е. получена пространственная локализация (сложение пучков). Выходной спектр сужен (<0.2 нм при 5 Вт) из-за увеличенного поля моды в резонаторе и интерференции пучков, отраженных от разных ВБР [1].

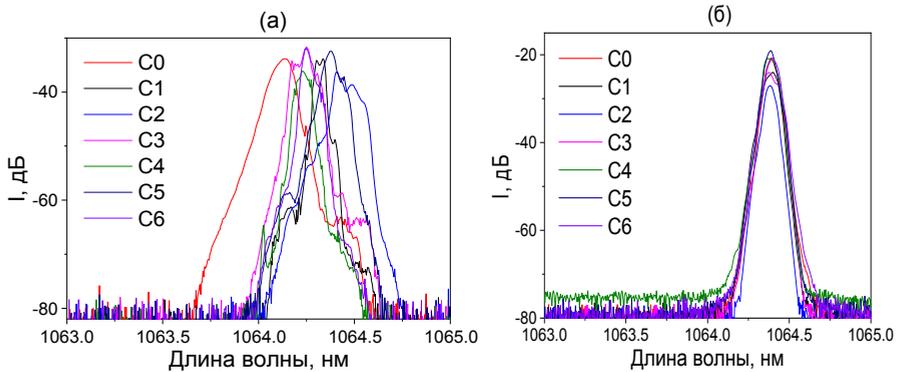
В отсутствие оптической связи в 7-сердцевинном активном (Yb) световоде с массивом из 7 ВБР спектр генерации состоит из 7 независимых линий (рис. 1.4, *a*), тогда как в присутствии оптической связи сердцевин спектр коллапсирует в одну линию (рис. 1.4, *b*), т.е. обнаружена спектральная локализация пучков. Построенная модель показывает, что в этом случае происходит гибридизация супермод, а спектр генерации определяется среднегеометрическим спектром разных ВБР (~0.1 нм при 33 Вт), сужаясь с увеличением их разброса [2].

Таким образом предложен новый подход к управлению пространственно-спектральными характеристиками многосердцевинных волоконных лазеров, имеющий фундаментальную и практическую значимость.



**Рис. 1.3.** Выходной пучок: до порога генерации (накачка) (a) и при 5 Вт ВКР-генерации (Стокс) (b)

**Fig. 1.3.** Output beam: up to the lasing threshold (pumping) (a) and at 5 W SRS lasing (Stokes) (b)



**Рис. 1.4.** Спектр генерации 7-сердцевинного Yb-лазера: без связи (a), со связью (b) сердцевин

**Fig. 1.4.** Generation spectrum of a 7-core Yb laser: without coupling (a), with coupling (b) of the cores

A technology has been developed for femtosecond point-by-point recording of 3D arrays of fiber Bragg gratings (FBGs) with a given distribution [1]. In a passive 7-core fiber with a resonator based on an array of high reflective FBGs, pumping and intracavity SRS generation are distributed among all (connected) cores, and the output SRS beam emerges from the central core (Fig. 1.3), i.e., spatial localization is obtained (beam addition). The output spectrum is narrowed ( $<0.2$  nm at 5 W) due to the increased mode field in the cavity and the interference of beams reflected from different FBGs [1].

In the absence of optical coupling in a 7-core active (Yb) fiber with an array of 7 FBGs, the generation spectrum consists of 7 independent lines (Fig. 1.4, a), while in the presence of optical coupling of the cores the spectrum collapses into one line (Fig. 1.4, b), i.e. spectral localization of the beams

was discovered. The constructed model shows that in this case hybridization of supermodes occurs, and the generation spectrum is determined by the geometric mean spectrum of different FBGs ( $\sim 0.1$  nm at 33 W), narrowing as their spread increases [2].

Thus, a new approach to controlling the spatial-spectral characteristics of multi-core fiber lasers has been proposed, which has fundamental and practical significance.

#### Публикации/References:

1. Wolf A., Dostovalov A., Bronnikov K., Skvortsov M., Wabnitz S., and Babin S. Advances in femtosecond direct writing of fiber Bragg gratings in multicore fibers: technology, sensor and laser applications // Opto-Electronic Advances – 2022. – 5 (4). – P. 210055.
2. Kuznetsov A.G., Wolf A.A., Egorova O.N., Semjonov S.L., Dostovalov A.V., Podivilov E.V., Babin S.A. Spectrum collapse in a 7-core Yb-doped fiber laser with an array of fs-inscribed fiber Bragg gratings // Optics Letters. – 2023. – V. 48, № 13. – P. 3603–3606.

### 1.3. Нелинейно-оптические свойства кристаллов $\text{GaSe}_{(1-x)}\text{S}_x$ на телекоммуникационных частотах

#### Nonlinear optical properties of $\text{GaSe}_{(1-x)}\text{S}_x$ crystals at telecom frequencies

Авторы: *О.Н. Шевченко<sup>1,2</sup>, С.Л. Микерин<sup>1</sup>, К.А. Кох<sup>3</sup>, В.Д. Анцыгин<sup>1</sup>,  
Н.А. Николаев<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск (ИАиЭ СО РАН)*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный университет*

<sup>3</sup>*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск (ИГМ СО РАН)*

Authors: *O.N. Shevchenko<sup>1,2</sup>, S.L. Mikerin<sup>1</sup>, K.A. Kokh<sup>3</sup>, V.D. Antsygin<sup>1</sup>,  
N.A. Nikolaev<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Institute of Automation and Electrometry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk (IA&E SB RAS)*

<sup>2</sup>*Novosibirsk State University*

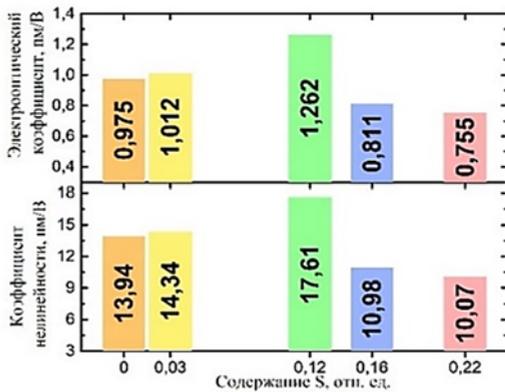
<sup>3</sup>*Institute of Geology and Mineralogy SB RAS*

Впервые проведено исследование нелинейно-оптического взаимодействия волн телекоммуникационного диапазона (с-band, 1550 нм) и волн, перспективных для систем беспроводной связи будущего поколения (0.9–2 мм), соответствующих частотам 140–350 ГГц в кристаллах  $\text{GaSe}_{(1-x)}\text{S}_x$ , где  $x$  принимает значения 0, 0.03, 0.12, 0.16 и 0.22. Показано, что увеличение содержания серы в структуре кристалла нелинейно влияет на значения электрооптического  $r_{22}$  и нелинейного  $d_{22}$  коэффициентов. Такое поведение можно объяснить двумя противодействующими

механизмами: падением экситонного возбуждения при росте значения содержания серы до величины  $x \sim 0.12$  и смещения края поглощения в коротковолновую область спектра; при дальнейшем увеличении концентрации серы происходит уменьшение квадратичной восприимчивости, обусловленное переходом в centrosymmetric фазу, соответствующую кристаллу сульфида галлия (GaS).

В результате определен оптимальный диапазон легирования кристаллов  $\text{GaSe}_{(1-x)}\text{S}_x$ , обеспечивающий максимальную нелинейность и эффективность взаимодействия. Максимальные значения электрооптического  $r_{22}$  и нелинейно-оптического  $d_{22}$  коэффициентов кристаллов  $\text{GaSe}_{(1-x)}\text{S}_x$  наблюдаются при  $x=0.12$ . Измеренные коэффициенты нелегированного GaSe составляют  $r_{22}=0.975$  пм/В и  $d_{22}=13.94$  пм/В, а для наиболее эффективного кристалла  $\text{GaSe}_{0,88}\text{S}_{0,12}$   $r_{22}=1.262$  пм/В и  $d_{22}=17.61$  пм/В.

Полученные результаты по линейным и нелинейным оптическим свойствам кристаллов  $\text{GaSe}_{(1-x)}\text{S}_x$  могут быть полезны при разработке линейных смесителей и модуляторов устройств оптической связи.



**Рис. 1.5.** Величины электрооптического  $r_{22}$  и нелинейного  $d_{22}$  коэффициентов кристаллов GaSe:S

**Fig. 1.5.** Values of electrooptic  $r_{22}$  and nonlinear  $d_{22}$  coefficients of  $\text{GaSe}_{(1-x)}\text{S}_x$  crystals

For the first time, the nonlinear wave interaction of telecom (c-band, 1550 nm) and 6G (140–350 GHz) bands in  $\text{GaSe}_{(1-x)}\text{S}_x$  crystals ( $x = 0, 0.03, 0.12, 0.16, \text{ and } 0.22$ ) was studied. The increase in sulfur content in the crystal structure has a nonlinear effect on the values of the electrooptic  $r_{22}$  and quadratic susceptibility  $d_{22}$  coefficients (Fig.1.5). Two opposing mechanisms can account for this behavior. For  $x < 0.12$ , a decrease in exciton excitation and a blue-shift of the absorption edge are dominating, reducing the loss of IR radiation. When  $x > 0.12$ , the crystal structure transitions to a centrosymmetric phase corresponding to a gallium sulfide (GaS) crystal, which results in a decrease in quadratic susceptibility.

As a result, the optimal sulfur doping has been determined, which ensures maximum nonlinearity and interaction efficiency. At  $x = 0.12$ , the maximal values of the electrooptic and nonlinear coefficients are observed:  $r_{22} =$

1.262 pm/V and  $d_{22} = 17.61$  pm/V. At the same time, for pure GaSe, they take values of  $r_{22} = 0.975$  pm/V and  $d_{22} = 13.94$  pm/V.

The analysis of GaSe<sub>(1-x)</sub>S<sub>x</sub> crystals' linear and nonlinear optical characteristics can be helpful in the creation of nonlinear modulators and mixers for optical communication devices.

#### **Публикации/References:**

1. Mikerin S.L., Shevchenko O.N., Kokh K.A., Nikolaev N.A. Detection of terahertz frequencies in S-doped GaSe crystals using laser pulses at telecom wavelengths // Applied Sciences. – 2023. – V. 13, is. 2045. – P. 11–14. – DOI 10.3390/app13042045.
2. Shevchenko O.N., Kokh K.A., Nikolaev N.A. Detection of THz waves in GaSe:S crystals by femtosecond laser radiation with a telecom wavelength of 1.55  $\mu\text{m}$  // J. Phys.: Conf. Ser. – 2021. – 2067. – P. 012012. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2067/1/012012>
3. Shevchenko O.N., Nikolaev N.A., Antsygin V.D. Estimation of the nonlinear-optical coefficient of GaSe:S crystals according to electro-optical measurements // Proc. SPIE 12920, XVI International Conference on Pulsed Lasers and Laser Applications, 129200G, 2023.

#### **1.4. Создание антиотражающих микроструктур на поверхности нелинейно-оптических кристаллов фемтосекундным лазерным излучением**

##### **Development of anti-reflection microstructures on the surface of nonlinear optical crystals using femtosecond laser radiation**

*Авторы: А.В. Достовалов<sup>1</sup>, В.Е. Федяй<sup>1</sup>, В.А. Симонов<sup>1</sup>,  
А.Э. Симанчук<sup>1</sup>, С.А. Бабин<sup>1</sup>, Л.И. Исаенко<sup>2,3</sup>, А.П. Елисеев<sup>2,3</sup>,  
С.И. Лобанов<sup>2,3</sup>, А.А. Шкляев<sup>2,3</sup>, С.А. Субаев<sup>4,5</sup>,  
А.А. Кучмижак<sup>4,5</sup>*

<sup>1</sup>Институт автоматизации и электрометрии СО РАН (ИАиЭ СО РАН), г. Новосибирск

<sup>2</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН), г. Новосибирск

<sup>3</sup>Новосибирский государственный университет (НГУ), г. Новосибирск

<sup>4</sup>Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН (ИАПУ ДВО РАН), г. Владивосток

<sup>5</sup>Дальневосточный федеральный университет (ДФУ), г. Владивосток

*Authors: A.V.Dostovalov<sup>1</sup>, V.E. Fedyaj<sup>1</sup>, V.A. Simonov<sup>1</sup>, A.E. Simanchuk<sup>1</sup>,  
S.A. Babin<sup>1</sup>, L.I. Isaenko<sup>2,3</sup>, A.P. Eliseev<sup>2,3</sup>, S.I. Lobanov<sup>2,3</sup>,  
A.A. Shklyayev<sup>2,3</sup>, S.A. Subaev<sup>4,5</sup>, A.A. Kuchmizhak<sup>4,5</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Automation and Electrometry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk (IA&E SB RAS, Novosibirsk)

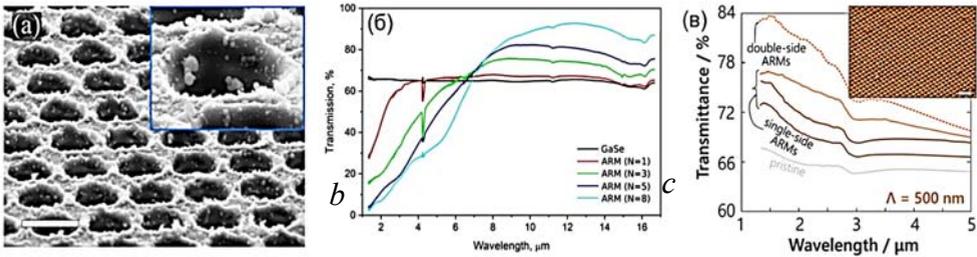
<sup>2</sup>Institute of Geology and Mineralogy SB RAS

<sup>3</sup>Novosibirsk State University

<sup>4</sup>IACP FEB RAS

<sup>5</sup>FEFU

Исследовано воздействие фемтосекундных лазерных импульсов на поверхность нелинейно-оптических кристаллов с высоким показателем преломления ( $n > 2.5$ ). Найдены оптимальные режимы лазерного воздействия для создания антиотражающих микроструктур на поверхности кристаллов GaSe и BaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>. В первом случае при воздействии ИК фс лазерного излучения на поверхность кристалла созданы образцы антиотражающих микроструктур в виде периодических углублений с глубиной 1.7 мкм и периодом 3 мкм, обладающие пропусканием до 94 %, что существенно превышает исходное пропускание кристаллов (65 %) [1, 2]. Во втором случае при воздействии УФ фс лазерного излучения на поверхность кристалла BaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> была создана структура с периодом 500 нм, увеличивающая пропускание образца с 66 до 84 % на длинах волн  $\approx 1.5$  мкм [3]. Таким образом, предложен метод создания антиотражающих микроструктур на поверхности нелинейно-оптических кристаллов с высоким показателем преломления, что открывает возможности для создания высокоэффективных источников излучения ближнего и среднего ИК-диапазона.



**Рис. 1.6.** Изображение антиотражающих микроструктур, полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа, созданных на поверхности кристаллов GaSe при воздействии фс импульсов (а), соответствующие спектры пропускания антиотражающих микроструктур, созданных при различных количествах импульсов 1–8 (б), спектры пропускания антиотражающих микроструктур, созданных на поверхности кристаллов BaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> (с)

**Fig. 1.6.** Scanning electron microscopy image of anti-reflection microstructures formed on the surface of GaSe crystals under the influence of fs pulses (a), corresponding transmission spectra of anti-reflection microstructures created with different numbers of pulses 1–8 (b), transmission spectra of anti-reflection microstructures created on the surface of crystals BaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> (c)

The impact of femtosecond laser pulses on the surface of nonlinear optical crystals with a high refractive index ( $n > 2.5$ ) was studied. Optimal experimental parameters have been found for anti-reflection microstructures formation on the surface of GaSe and BaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> crystals. In the first case, when exposed to IR fs laser radiation on the crystal surface, anti-reflection microstructures were created as periodic isolated craters with a depth of 1.7 μm and

a period of 3  $\mu\text{m}$ , with a transmittance of up to 94 %, which significantly exceeds the initial transmission of the crystals (65 %) [1, 2]. In the second case, when exposed to UV fs laser radiation on the surface of a BaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> crystal, anti-reflection microstructures with a period of 500 nm were created, increasing the transmittance of the sample from 66 to 84% at wavelengths  $\approx 1.5 \mu\text{m}$  [3]. Thus, a method for anti-reflection microstructures formation on the surface of nonlinear optical crystals with a high refractive index was proposed, which opens up the possibility of creating highly efficient near- and mid-IR radiation sources.

#### **Публикации/References:**

1. Yelisseyev A., Fedyaj V., Simonov V., Isaenko L., Lobanov S., Shklyayev A., Simanchuk A., Babin S., Dostovalov A. Femtosecond Laser Direct Writing of Antireflection Microstructures on the Front and Back Sides of a GaSe // *Crystal. Photonics*. – 2022. – V. 9. – P. 774. <https://doi.org/10.3390/photonics9100774>.
2. Yelisseyev A.P., Isaenko L.I., Lobanov S.I., Dostovalov A.V., Bushunov A.A., Tarabrin M.K., Teslenko A.A., Lazarev V.A., Shklyayev A.A., Babin S.A., Goloshumova A.A., Gromilov S.A. Effect of antireflection microstructures on the optical properties of GaSe // *Opt. Mater. Express* – 2022. – V. 12. – P. 1593–1608.
3. Dostovalov A., Syubaev S., Modin E., Gurbatov S., Cherepakhin A., Tarasova A., Krinitsin P., Yelisseyev A., Isaenko L., Kuchmizhak A. SWIR anti-reflective nanostructures on nonlinear crystals by direct UV femtosecond laser printing // *Appl. Phys. Lett.* – 2023. – V. 123. – P. 061108. <https://doi.org/10.1063/5.0159719>.

### **1.5. Эффективная диагностика рака простаты на основе выдыхаемого воздуха**

#### **Efficient diagnostics of prostate cancer via exhaled air**

*Авторы: K.S. Maiti<sup>2,3</sup>, E. Fill<sup>2,3</sup>, F. Strittmatter<sup>4</sup>, Y. Volz<sup>4</sup>, R. Sroka<sup>3,4</sup>,  
A.A. Аполонский<sup>1,2,3</sup>*

<sup>1</sup>*Институт автоматизации и электрометрии СО РАН (ИАиЭ СО РАН), г. Новосибирск*

<sup>2</sup>*Институт квантовой оптики общества Макса Планка, Германия*

<sup>3</sup>*Мюнхенский университет имени Людвига и Максимилиана, Германия*

<sup>4</sup>*Ludwig-Maximilians-Universität München in Grosshadern (KG LMU), Германия*

*Authors: K.S. Maiti<sup>2,3</sup>, E. Fill<sup>2,3</sup>, F. Strittmatter<sup>4</sup>, Y. Volz<sup>4</sup>, R. Sroka<sup>3,4</sup>,  
A.A. Apolonski<sup>1,2,3</sup>*

<sup>1</sup>*Institute of Automation and Electrometry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch,  
Novosibirsk (IA&E SB RAS, Novosibirsk)*

<sup>2</sup>*Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ),*

<sup>3</sup>*Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU)*

<sup>4</sup>*Ludwig-Maximilians-Universität München in Grosshadern (KG LMU)*

Метаболомная диагностика в настоящее время считается наиболее перспективной для раннего определения заболевания. Представленная работа является заключительной в рамках метаболомного пилотного исследования рака простаты. По его результатам:

- впервые в разделении здоровой и больной групп при использовании алгоритмов машинного обучения были достигнуты точность 95 % для метода опорных векторов и граница достоверности кластеризации  $p < 10^{-4}$  для метода главных компонент. Для сравнения, точность применяемой сейчас диагностики на простатический специфический антиген (ПСА, PSA) ниже 70 %, а граница достоверности кластеризации данных  $p < 5 \cdot 10^{-2}$ ;

- выявлены восемь специфических метаболитов в газовой фазе, пять из которых являются продуктами жизнедеятельности бактерий мочеполовой системы. По аналогии с заражением желудка бактерией *Helicobacter pylori*, способствующей развитию онкологии, и последующим проведением соответствующего курса антибиотиков для её подавления, можно предложить подобную терапию после идентификации соответствующих бактерий.

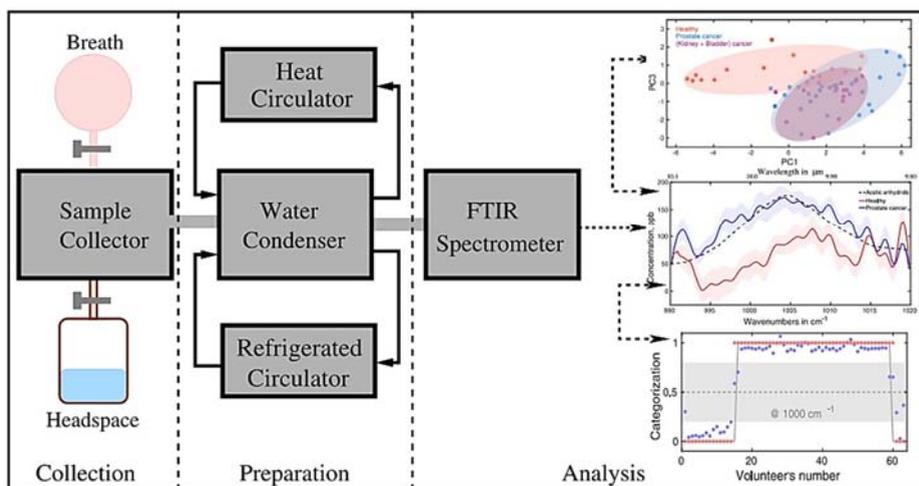
Результат имеет высокую социальную значимость в связи с 4-м местом заболевания по уровню смертности в России. За последние 10 лет прирост заболеваемости раком простаты составил почти 100 %, а смертности – 30 %.

Metabolomic diagnostics is currently the most promising for early detection of diseases. The presented work is the final one in a metabolomic pilot study of prostate cancer. According to its results,

- for the first time, an accuracy of 95 % was achieved in separating healthy and diseased groups using machine learning algorithms (support vector machines), and  $p < 10^{-4}$  for the principal component analysis. For comparison, the accuracy of the currently used PSA diagnostics is below 70 %, and the reliability limit of data clustering is  $p < 5 \times 10^{-2}$ ;

- eight specific metabolites were identified in the gas phase, five of which are the products of the bacterial vital activity of the urogenital system. By analogy with the stomach infection by *Helicobacter pylori* bacteria which contributes to the carcinogenesis, and the subsequent administration of an appropriate course of antibiotics to suppress it, a similar therapy can be offered after identifying the relevant bacteria.

The result has high social significance due to the 4th place of the disease in terms of mortality in Russia. Over the past 10 years, the increase in prostate cancer incidence has been almost 100 %, and mortality – 30%.



**Рис. 1.7.** Диаграмма проведенных исследований в виде трёх функциональных блоков, которые разделены вертикальным пунктиром. Левый блок – сбор биопроб (collection), включающий в себя два вида образцов в виде дыхания (breath) и газообразных выделений биожидкости (headspace), попадающих в сборник образцов (sample collector). Средний блок – подготовка образцов для последующего анализа (preparation). Включает в себя систему конденсации воды (water condenser), систему ее охлаждения (refrigerated circulator) – для вымораживания паров воды и нагрева – для удаления льда (heat circulator). Правый блок – анализ (analysis) полученных данных от приготовленных образцов из левого и среднего блоков. Анализ проводился с помощью Фурье спектрометра (FTIR spectrometer) в среднем инфракрасном диапазоне, данные которого (средний рисунок) обрабатывались либо не обучаемым алгоритмом – методом главных компонент (верхний рисунок), либо обучаемым машинным алгоритмом – методом опорных векторов (нижний рисунок)

**Fig. 1.7.** The diagram of the experiment, drawn in the form of three blocks separated by vertical dash lines. Left block: bio sample collection, which includes two types of samples in the form of exhaled air (breath) and gaseous biofluid emissions (headspace) entering the sample collection system (sample collector). Middle – block for preparing samples for the subsequent analysis (preparation). It includes a water condensation system (water condenser), a water cooling system (refrigerated circulator) – for freezing out water vapor, and a heater – for removing ice (heat circulator). Right block – analysis of the data obtained from the prepared samples from the left and middle blocks. The analysis was carried out by the use of a Fourier spectrometer (FTIR spectrometer) in the mid-infrared range, the data of which (middle picture) was processed either by the unsupervised algorithm – the principal component analysis (top picture), or by the machine learning algorithm – the support vector machine (bottom picture)

## Публикации/References:

1. Maiti K.S., Fill E., Strittmatter F., Volz Y., Sroka R., Apolonski A. Standard operating procedure to reveal prostate cancer specific volatile organic molecules by infrared spectroscopy // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. – 2024. – V. 304. – P. 123266. – DOI 10.1016/j.saa.2023.123266.
2. Maiti K.S., Fill E., Strittmatter F., Volz Y., Sroka R., Apolonski A. Towards reliable diagnostics of prostate cancer via breath // Sci. Rep. – 2021. – V. 11. – P. 18381. – DOI 10.1038/s41598-021-96845-z

## Информационное направление:

### **1.6. Атомно-абсорбционный спектрометр с источником излучения непрерывного спектра для одновременного многоэлементного анализа растворов**

#### **Continuum-source atomic absorption spectrometer for simultaneous multi-element analysis of solutions**

*Авторы: С.С. Болдова<sup>1</sup>, В.А. Лабусов<sup>1</sup>, Д.О. Селюнин<sup>1</sup>, З.В. Семёнов<sup>1</sup>, П.В. Ващенко<sup>1</sup>, С.А. Бабин<sup>1</sup>, Н.А. Колосов<sup>1</sup>, А.Н. Путьмаков<sup>2</sup>, В.Г. Гаранин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск (ИАиЭ СО РАН, Новосибирск)*

<sup>2</sup>*ООО «ВМК-Оптоэлектроника», г. Новосибирск*

*Authors: S.S. Boldova<sup>1</sup>, V.A. Labusov<sup>1</sup>, D.O. Selyunin<sup>1</sup>, Z.V. Semenov<sup>1</sup>, P.V. Vashchenko<sup>1</sup>, S.A. Babin<sup>1</sup>, N.A. Kolosov<sup>1</sup>, A.N. Putmakov<sup>2</sup>, V.G. Garanin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Institute of Automation and Electrometry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk (IA&E SB RAS)*

<sup>2</sup>*VМК-Optoelectronics LLC, Novosibirsk*

Разработан не имеющий аналогов в мире атомно-абсорбционный спектрометр (ААС) высокого разрешения с источником излучения непрерывного спектра (лазерная плазма в ксеноне) и электротермическим атомизатором (ЭТА) для одновременного определения более 40 элементов Периодической системы Д.И. Менделеева в растворах с аналитическими характеристиками, близкими современным ААС-ЭТА с последовательным определением элементов. В отличие от известных решений спектры регистрируются параллельно двумя полихроматорами с установленными на их выходе сборками из 29 линеек фотодетекторов БЛПП-4000 (общее количество фотоячеек в спектре ≈120 тыс.) на этапе атомизации со скоростью 1000 спектров/с с разрешением 10 пм (190–350 нм) и 30 пм (350–855 нм). Диапазон одновременно определяемых

концентраций элементов составляет до 4 порядков при пределах обнаружения до сотых долей мкг/л.

Спектрометр внедрён в производство на предприятии «ВМК-Оптоэлектроника» под наименованием Гранд-ААС. В 2023 год зарегистрирован в Госреестре средств измерений РФ под № 89108-23 и введён в эксплуатацию в Институте общей и неорганической химии РАН, г. Москва.



**Рис. 1.8.** Спектрометр Гранд-ААС в ЦКП Института общей и неорганической химии РАН, Москва

**Fig. 1.8.** Grand-AAS spectrometer at the the Center for Shared Use of the Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry (Moscow)

An internationally advanced high-resolution atomic absorption spectrometer (AAS) with a continuum source (laser plasma in xenon) and an electrothermal atomizer (ETA) for simultaneous determination of more than 40 elements of Periodic Table in solutions has been developed whose analytical performance is close to that of modern AAS-ETA for sequential determination of elements. Unlike in existing designs, atomization spectra are recorded simultaneously by two polychromators with assemblies of 29 arrays of BLPP-4000 photodetectors mounted at the polychromator output (total number of photocells in the spectrum  $\approx 120\,000$ ) at a rate of 1000 spectra/s with a resolution of 10 pm (190–350 nm) and 30 pm (350–855 nm). The range of simultaneously determined concentrations of elements is up to four orders of magnitude with detection limits up to hundredths of a microgram per liter.

The spectrometer was put into production under the name Grand-AAS by the VMK-Optoelectronics company. In 2023, it was registered in the State Register of Measuring Instruments of the Russian Federation under No.

89108-23 and put into operation at the Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences (Moscow).

#### **Публикации/References:**

1. Labusov V.A., Boldova S.S., Selyunin 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 // *J. Anal. At. Spectrom.* – 2019. – 34. P. 1005–1010. <https://doi.org/10.1039/c8ja00432c>.
2. Болдова С.С., Колосов Н.А., Лабусов В.А. Расширение диапазона определения элементов на атомно-абсорбционном спектрометре «Гранд-ААС» с использованием нескольких их линий поглощения // *Аналитика и контроль.* – 2021. – Т. 25, № 4. – С. 318–325. <http://dx.doi.org/10.15826/analitika.2021.25.4.010>.
3. Колосов Н.А., Болдова С.С., Лабусов В.А. Оценка возможности контроля температуры электротермического атомизатора по сигналам поглощения элементов // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов.* – 2022. – Т. 88, № 1, ч. II. – С. 83–88. DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2022-88-1-II-83-88>
4. Ващенко П.В., Болдова С.С., Колосов Н.А., Лабусов В.А. Моделирование атомно-абсорбционного спектрометра с источником излучения непрерывного спектра // *Аналитика и контроль.* – 2023. – Т. 27, № 3. С. 168–179. – DOI: 10.15826/analitika.2023.27.3.005.

### **1.7. Технология прямой лазерной записи дифракционных структур на двухслойных материалах Zr/SiO<sub>2</sub>, Si/Ti И Si/Cr**

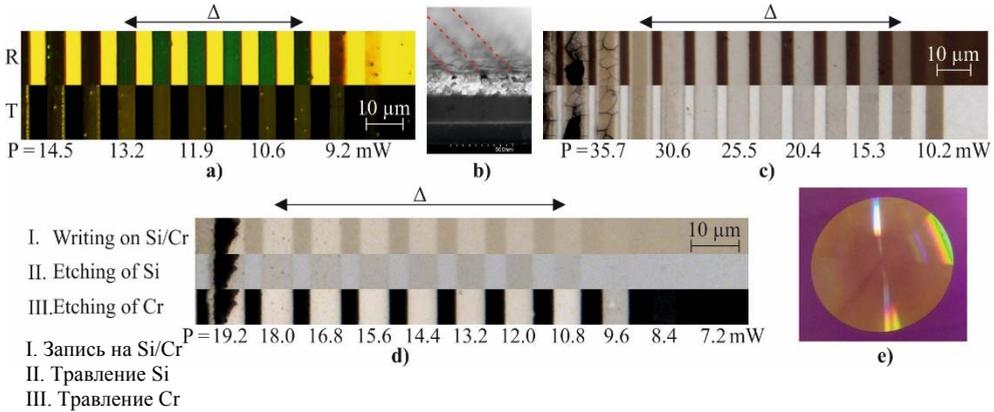
#### **Technology of direct laser writing of diffractive structures on bi-layer materials Zr/SiO<sub>2</sub>, Si/Ti AND Si/Cr**

*Авторы: Д.А. Белоусов, Р.И. Куц, В.П. Корольков, К.А. Окотруб,  
А.И. Малышев, А.Р. Саметов, С.Л. Микерин*

*Authors: D.A. Belousov, R.I. Kuts, V.P. Korolkov, K.A. Okotrub,  
A.I. Malyshev, A.R. Sametov, S.L. Mikerin*

Разработана термохимическая лазерная технология прямой лазерной записи амплитудных и фазовых дифракционных структур на двухслойных материалах Zr/SiO<sub>2</sub>, Si/Ti и Si/Cr. Обнаружена аномально высокая разность фаз при отражении света между экспонированными и исходными участками Zr/SiO<sub>2</sub> и образование нанополостей внутри материала вдоль трека лазерного пучка. Продемонстрировано формирование на материале Zr/SiO<sub>2</sub> отражательных дифракционных структур по полнотью «сухой» (без жидкостного селективного травления) технологии. Использование термохимической реакции образования силицидов для Si/Ti и Si/Cr существенно расширило диапазон мощности лазерного пучка для термохимической записи ( $\Delta$ ) по сравнению с реакцией окисления и улучшило пространственное разрешение. Сформированные металл-силицидные маски могут быть проявлены двухэтапным травле-

нием и затем использованы как оптические маски или маски для последующего травления подложки. Значительное изменение отражения при записи на данных материалах позволяет реализовать in-situ контроль формируемого рисунка непосредственно на установке лазерной записи.



**Рис. 1.9.** Микроизображения записанных структур: *a* – на Zr/SiO<sub>2</sub> (R – на отражение, T – на пропускание); *b* – нанополости на сколе Zr/SiO<sub>2</sub> (СЭМ); *c* – на Si/Ti до (сверху) и после (снизу) стравливания слоя Si (микроизображения на отражение); *d* – этапы проявления маски, записанной на Si/Cr (микроизображения на отражение); *e* – фотография дифракционной линзы (диаметр 50 мм), записанной на Si/Cr

**Fig. 1.9.** Microimages of written structures: *a* – for Zr/SiO<sub>2</sub> (R – reflection microimage, T – transmission microimage); *b* – nanocavities on a Zr/SiO<sub>2</sub> cleavage (SEM); *c* – on Si/Ti before (top) and after (bottom) etching of the Si layer (reflection microimages); *d* – stages of developing a mask written on Si/Cr (reflection microimages); *e* – photo of a diffraction lens (diameter 50 mm) written on Si/Cr

A thermochemical laser technology for direct laser writing of amplitude and phase diffraction structures on by-layer materials Zr/SiO<sub>2</sub>, Si/Ti and Si/Cr has been developed. Due to the anomalously high phase difference when light is reflected between the exposed and initial Zr/SiO<sub>2</sub> areas, the formation of reflection gratings with a diffraction efficiency of over 30 % has been demonstrated using a completely «dry» (without liquid selective etching) technology. The use of a thermochemical reaction for the formation of silicides significantly expanded the laser beam power range for thermochemical writing ( $\Delta$ ) on bi-layer Si/Ti and Si/Cr films compared to the oxidation reaction and improved spatial resolution. The formed metal-silicide masks are developed by dual-step etching, providing unique selectivity, and then used for photolithography or as substrate etch masks. A significant change in reflection during laser writing on by-layer materials allows for in-situ control

of the formed pattern without development. The patentable technology expands the scope of application of laser writing systems created jointly by the IAE SB RAS and TDI SIE SB RAS.

**Публикации/References:**

1. Belousov D.A., Kuts R.I., Okotrub K.A., Korolkov V.P. Direct Laser Writing of Diffractive Structures on Bi-Layer Si/Ti Films Coated on Fused Silica Substrates // *Photonics*. – 2023. – V. 10. – P. 771. <https://doi.org/10.3390/photonics10070771>
2. Kuts R., Korolkov V., Mikerin S., Okotrub K., Belousov D., Malyshev A., Sametov A., Shimansky R., Gavrilova T. Volumetric thermochemical laser writing of nanostructured reflective diffraction gratings on a dual-layer material Zr/SiO<sub>2</sub> // *Journal of Optical Technology*. – 2023. – V. 90. – № 4. – P. 163–169. – DOI: 10.1364/JOT.90.000163.
3. Belousov D.A., Kuts R.I., Korolkov V.P. Thermochemical laser writing of silicide masks on dual-layer films a-Si/Cr // *SPIE Proceedings. Photonics Asia*. – 2023. (Beijing, China, 14–16 October 2023). – Paper 12768-88.

## 2. ПРОЕКТЫ ГОСЗАДАНИЯ ИНСТИТУТА

**ПРОЕКТ:** Новые нелинейные эффекты при распространении высокоэнергетических импульсов в оптическом волокне и микроструктурах.

№ гос. рег. АААА-А21-121012190005-2

Исполнители проекта:

Лаборатория нелинейной физики

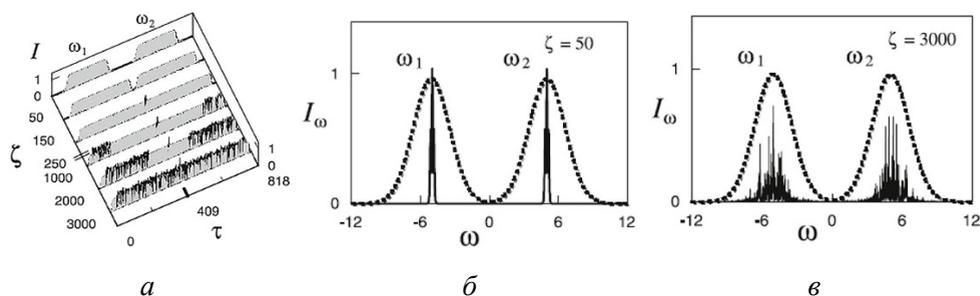
Лаборатория фотоники

Тематическая группа нелинейной оптики

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

*Ультракороткие импульсы в волоконных лазерах*

Проанализирована гармоническая пассивная синхронизация мод волоконных лазеров. Исследованы механизмы возникновения неустойчивостей и методы их подавления. Определена предельная частота повторения импульсов. Изучена хаотизация излучения при формировании цветных и поляризационных доменов. Показано, что изменение частоты поляризационных характеристик может быть реализовано в лазерах с поперечной анизотропией (рис. 2.1). Результаты полезны для разработки методов управления режимами генерации волоконных лазеров [1–3].

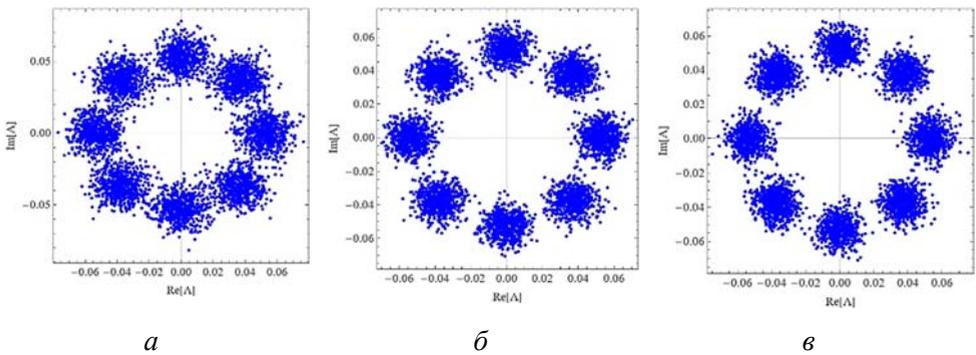


**Рис. 2.1:** *a* – временное распределение интенсивности излучения  $I(\tau)$  на частотах  $\omega_1$  и  $\omega_2$  с ростом числа проходов поля через резонатор  $\zeta$ ; *б* – Спектральное распределение интенсивности  $I_\omega$  в начале переходного процесса  $\zeta = 50$ ; *в* – в установившемся режиме генерации  $\zeta = 3000$

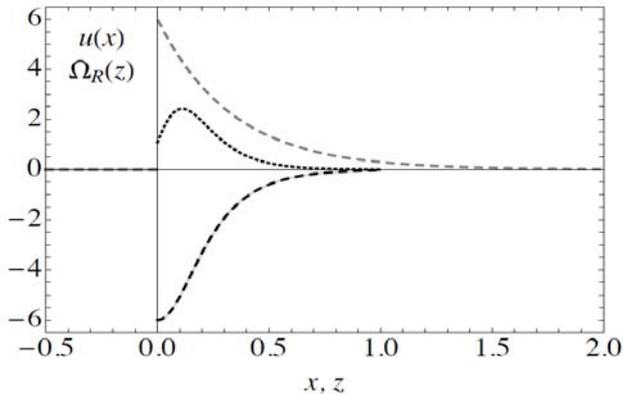
*Нелинейные схемы волоконной оптической связи. Статистика нелинейного шума в высокоскоростной оптической линии связи без компенсации дисперсии*

Новый подход к компенсации дисперсии использует цифровой процессор на приемной стороне, устраняя необходимость компенсации

на всем протяжении линии связи. Предложенный формат использует две поляризации и гауссовские импульсы с изменяющимся чирпом. Выявлен временной сдвиг между импульсами. Моделирование с форматом 8-PSK показывает снижение нелинейных искажений сигнала (рис. 2.2). Результаты пригодны для проектирования новых линий связи [4]. Решена правая обратная задача рассеяния для системы Захарова-Шабата на основе алгоритма Toeplitz Inner Bordering (ТИБ) (рис. 2.3). Установлено соотношение между правыми и левыми коэффициентами рассеяния, предлагается вспомогательное ядро для численного решения, а алгоритм ТИБ, исходно разработанный для левой задачи, успешно адаптирован для восстановления потенциалов из данных правой задачи рассеяния.



**Рис. 2.2.** Сигнальная диаграмма:  $C = 0, m = 1$  (а);  $C = 0.5, m = 2$  (б);  $C = 0.25, m = 4$  (в)



**Рис. 2.3.** Численная реконструкция усеченного потенциала в виде гиперболического секанса. Сплошная светло-серая линия показывает вещественную часть точного потенциала (мнимая часть равна нулю), черным пунктиром показана его реконструированная версия. Пунктирная линия представляет собой абсолютную вычислительную ошибку, умноженную на  $10^4$ . Серая пунктирная линия показывает точное ядро

### *Нелинейные схемы волоконной оптической связи. Связь левой и правой задачи рассеяния для уравнений Гельфанда-Левитана-Марченко*

Исследовано влияние проводимости доменной стенки, распространённого явления в сегнетоэлектриках, на формирование доменов при спонтанном изменении поляризации. В микрорезонаторах с высоким коэффициентом добротности схема накачки (1-я или 2-я гармоника) и корреляция знаков дисперсии определяют широкие двойные гребенки, что дает возможность прогнозировать их появление. Эти выводы имеют практическое значение для разработки устройств с микрорезонаторами на основе ниобата лития [6–8].

### *Когерентное взаимодействие с микроструктурами*

Проводимость доменных стенок рассматривается в настоящее время как общий сегнетоэлектрический эффект. Показано, что он оказывает сильное влияние на формирование доменов при полевом обращении спонтанной поляризации благодаря понижению энергии образования встречных зародышей [9]. Для высокодобротных  $\chi^2$  микрорезонаторов на основе ниобата лития выявлено сильное влияние схемы накачки (в 1-ю или 2-ю гармоники), а также необходимое соотношение знаков дисперсии в области 1-й и 2-й гармоник, на формирование спектрально широких дуальных комбов. Полученные результаты предсказывают конкретные эффекты [10]. Дан обзор механизмов генерации дуальных солитонов и соответствующих частотных комбов (гребёнок) в высокодобротных  $\chi^2$  микрорезонаторов на основе ниобата лития. Обзор включает выявления необходимых и достаточных условий для формирования спектрально широких комбов, а также подробный количественный анализ их свойств [11].

### **Публикации:**

1. Komarov A., Dmitriev A., Komarov K., Semaan G., Zhao L., Sanchez F. Noise-like color pulses and domains in ring fiber lasers with an anomalous dispersion cavity // *Optics Communications*. – 2023. – V. 538. – P. 129478 (8 p.). – DOI 10.1016/j.optcom.2023.129478.
2. Sanchez F., Komarov A., Semaan G. Dissipative soliton resonance in fiber lasers // Там же. – V. 541. – P. 129543 (11 p.). – DOI 10.1016/j.optcom.2023.129543.
3. Li C., Lan H., Komarov A., Tang X., Tang M., Zhu H., Luo Z., Zhao L. Soliton polarization dynamics in a fiber laser of zero dispersion // *Applied Optics*. – 2023. – V. 62, is. 30. – P. 8091–8097. – DOI 10.1364/AO.502660.
4. Шапиро Е.Г., Шапиро Д.А. Фазово-модулированный формат передачи данных с нецентральной чирпированием по высокоскоростной оптической линии связи без компенсации дисперсии // *Квантовая электроника*. – 2023. – Т. 53. – № 6. – С. 510–514. <https://quantum-electronics.ru/fazovo-modulirovannyj-format-pereda/>
5. Chernyavsky A.E., Frumin L.L., Gelash A.A. Right and left inverse scattering problems formulations for the Zakharov–Shabat system // *Journal of Inverse and Ill-posed Problems*. – (in print). <https://doi.org/10.1515/jiip-2022-0087>

6. Белай О.В., Киселев С.П., Киселев В.П. Численное моделирование методом молекулярной динамики соударения наночастицы с преградой в условиях холодного газодинамического напыления // ПМТФ. – 2023. - Т.64, № 6. DOI: 10.15372/PMTF202315303
7. Пай В.В., Лукьянов Я.Л., Фруммин Л.Л. О влиянии зависимости коэффициента вязкости от температуры на процесс высокоскоростной деформации металла // Известия ВолгГТУ, сер. Сварка взрывом и свойства сварных соединений. – 2023. - №11 (282). – С.12-15. DOI:10.35211/1990-5297-2023-11-282-12-15
8. Sturman B., Podivilov E. Effect of domain wall conductivity on domain formation energy // Ferroelectrics. – 2023. – V. 604, is. 1. – P. 80–90. – DOI 10.1080/00150193.2023.2168983.
9. Smirnov S., Podivilov E., Sturman B. Effects of dispersion and pumping scheme on soliton-comb regimes in  $\chi(2)$  microresonators // Journal of the Optical Society of America B. – 2023. – V. 40, is. 3. – P. 516–522. – DOI 10.1364/JOSAB.481257.
10. Smirnov S., Podivilov E., Sturman B. Self-starting soliton-comb regimes in  $\chi(2)$  microresonators // Photonics. – 2023. – V. 10. N. 6. – P. 640 (25 p.).– DOI: 10.3390/photonics10060640

**ПРОЕКТ: Когерентные эффекты и эффекты столкновений для атомов и их конденсатов, находящихся в поле излучения.**

**№ гос. рег. 121021800168-4**

Исполнители проекта:

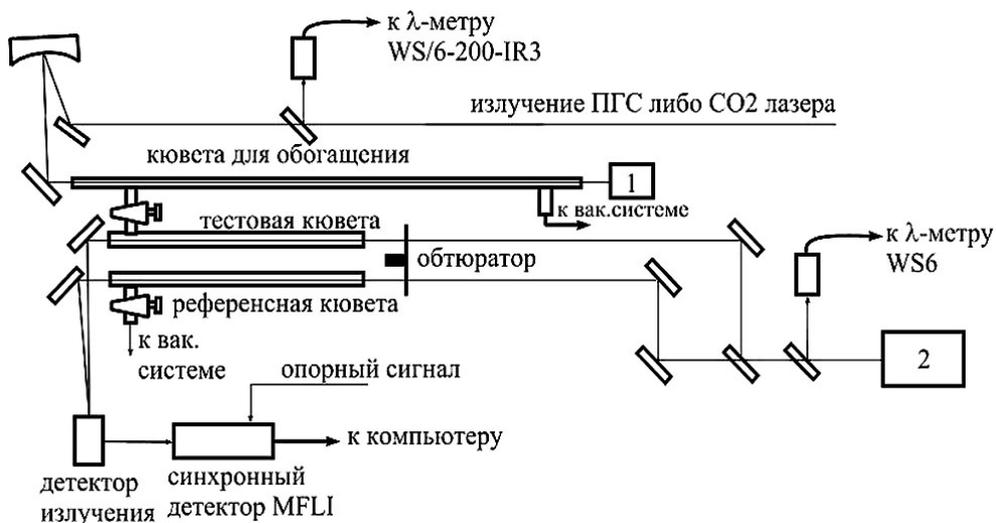
**Лаборатория нелинейной спектроскопии газов**

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

*Исследование ядерных спиновых изомеров молекул при возбуждении их колебательно-вращательных переходов мощным излучением параметрического генератора света (ПГС) в среднем ИК-диапазоне*

Экспериментально осуществлено разделение спиновых изомеров молекул этилена ( $C_2H_4$ ) с помощью эффекта светоиндуцированного дрейфа (СИД). Для создания эффекта СИД в этом эксперименте использовано излучение  $CO_2$ -лазера на линии  $10P_{44}$  (длина волны 10.86 мкм) с мощностью 10 Вт. Схема экспериментальной установки показана на рис. 2.4. Именно таким методом нами было зарегистрировано обогащение спиновых изомеров этилена. Эти первые эксперименты по обогащению спиновых изомеров этилена показали необходимость и возможность модернизации экспериментальной установки для усиления эффекта обогащения и увеличения точности регистрации.

*Расширение новой концепции описания квантовых систем с причинными петлями с отдельных кубитов на системы квантовой оптики – многофотонные состояния электромагнитных мод с взаимодействиями между ними*

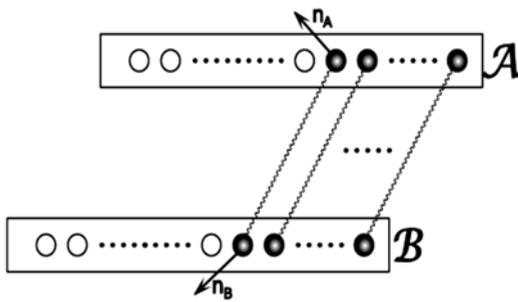


**Рис. 2.4.** Схема установки для детектирования обогащения ядерных спиновых изомеров молекул: 1 – измеритель мощности излучения; 2 – перестраиваемый по частоте полупроводниковый лазер. Стеклаянная кювета для обогащения имеет внутренний диаметр 1 мм и длину 1.5 м

Результаты исследования поведения взаимодействующих фотонных мод в пространстве-времени с нетривиальной причинной структурой, отражённые в [1], относятся к актуальной области и представляются важными в контексте будущей фундаментальной теории, объединяющей квантовую физику и гравитацию.

Предложена стратегия снижения вероятности ошибки декодирования при рассогласовании декодера и канала связи [2]. Если контакт квантового декодирующего устройства с внешним миром опосредован интерфейсом, меняющим трактовку информации о результатах декодирования, можно повысить качество последнего путём выбора оптимального распутывания в процессе квантового обучения. Найдено уравнение для определения структуры оптимального распутывания.

Предложен принципиально новый взгляд на эффект спиновых корреляций, контролирующих относительное смещение агентов при их случайном блуждании (рис. 2.5): этот эффект можно трактовать как движение в пространствах положительной или отрицательной кривизны [3]. Найдены новые проявления квантовой геометрической фазы в нестандартных ситуациях. Предложены практические применения операционного определения геометрической фазы, распространённого на открытые квантовые системы, обменивающиеся с окружением информацией и энергией. Это сделано на примере измерения слабой керровской нелинейности во взаимодействии между парой фотонов в условиях пре- и постселекции.



**Рис. 2.5.** Очередной шаг агентов А и В предваряется выбором случайных направлений  $n_A$  и  $n_B$ , вдоль которых измеряются проекции спинов частиц. Смещения агентов определяются результатами измерений. Волнистые линии соединяют частицы, образующие запутанные синглетные пары. Крайние левые (светлые) частицы описывают уже использованные пары из цепочки

Найдены новые проявления квантовой геометрической фазы в нестандартных ситуациях. Предложены практические применения операционного определения геометрической фазы, распространённого на открытые квантовые системы, обменивающиеся с окружением информацией и энергией. Это сделано на примере измерения слабой керровской нелинейности во взаимодействии между парой фотонов в условиях пре- и пост-селекции.

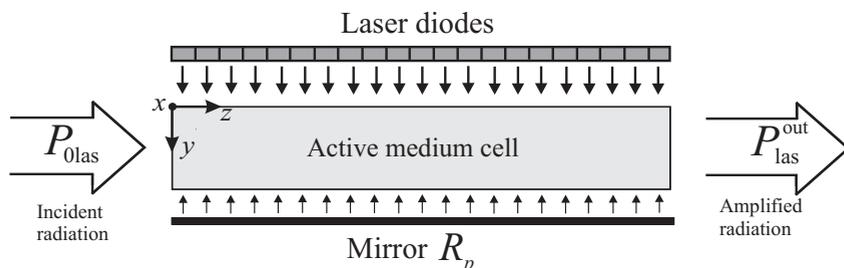
Результаты, посвященные обратной связи в квантовых измерениях и отраженные в публикации [4], с точки зрения классической теории управления, достаточно удивительны. Несмотря на то, что обратная связь не управляет состоянием квантовой системы как таковой, а лишь контролирует способ её информационного взаимодействия с окружением, она, тем не менее, способна воздействовать на эволюцию системы. В рассматриваемой конкретной модели атомарного конденсата Бозе-Эйнштейна это оказалось возможным благодаря возникновению перепутанности между его состоянием и состоянием зондирующего поля, фаза которого приобретает операторную природу в результате взаимодействия с конденсатом. Присутствие обратной связи проявляется в условных состояниях квантовой системы, привязанных к определённой истории её контактов с окружением.

*Теоретическое исследование работы усилителя лазерного излучения на метастабильных атомах инертных газов с поперечной диодной накачкой*

На основе пятиуровневой модели атомов активной среды разработана аналитическая модель усилителя лазерного излучения на метастабильных атомах инертных газов с поперечной диодной накачкой.

В общем случае работа усилителя (его схема представлена на рис. 2.6) описывается системой дифференциальных уравнений, которые

могут быть решены только численно. Однако, если усиливаемое излучение достигает достаточно высокой интенсивности, исходные уравнения допускают простое аналитическое решение, из которого легко находятся все важнейшие характеристики усилителя и оптимальные параметры как рабочей среды, так и излучения накачки [5].



**Рис. 2.6.** Схема усилителя лазерного излучения на метастабильных атомах инертных газов с поперечной диодной накачкой

#### Публикации:

1. Shepelin A.V., Tomilin V.A., Ilichov L.V. Photonic Mode in a Space-Time with a Causal Loop: Comparison of D-CTC and S-CTC Models // *Gravitation and Cosmology*. – 2023. – V. 29, № 2. – P. 121–127. – DOI 10.1134/S0202289323020111. – EDN DJXHCK.
2. Tomilin V.A., Il'ichov L.V. Trainable unravelling for quantum state discrimination // *Cybernetics and Physics*. – 2023. – V. 12(2). – P. 152. DOI:10.35470/2226-4116-2023-12-2-152-156.
3. Rostom A.M., Tomilin V.A., Il'ichov L.V. Geometric model of quantum navigation during (anti-)search on a plane // *Quantum Physics*. – 2023. – V. 1. – 4 p. 10.48550/arXiv.2311.07516.
4. Tomilin V.A., Il'ichov L.V. Unravelling-based (auto)control of back-action in atomic Bose-Einstein condensate // *Frontiers of Physics*. – (in print). № 41202 – DOI 10.1007/s11467-023-1375-2.
5. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Усилитель лазерного излучения на метастабильных атомах инертных газов с поперечной диодной накачкой // *Оптика и спектроскопия*. – 2023. – Т. 131. – № 9. – С. 1241–1248. – DOI: 10.61011/OS.2023.09.56611.4682-23.

**ПРОЕКТ: Научные основы, методы и интеллектуальные информационные технологии обнаружения и классификации объектов в задачах мониторинга и прогнозирования эволюции динамических сцен.**

**№ гос. рег. 121022000116-0**

Исполнители проекта:

**Лаборатория информационной оптики**

**Лаборатория цифровых методов обработки**

**Лаборатория вероятностных методов исследования информационных процессов**

**Тематическая группа информатики и прикладной математики**  
Научный руководитель **к.т.н. Борзов С.М.**

*Разработка и исследование программно-аппаратных средств обнаружения СВО (светоотражающих объектов). Разработка и исследование программно-алгоритмических средств обнаружения и распознавания малоразмерных объектов (в том числе с применением нейросетевых технологий). Исследование возможности применения туннельной схемы считывания в неохлаждаемых оптико-акустических приемниках с нанооптоэлектромеханическими элементами на основе SLG графенов для достижения теоретически предельной чувствительности, повышения быстродействия, расширения температурного диапазона и уменьшения виброчувствительности*

Разработаны и исследованы программно-аппаратные средства обнаружения светоотражающих объектов на основе зондирования импульсным лазерным излучением без применения электрооптического преобразователя в качестве внешнего затвора. Показана возможность определения дальности до обнаруживаемых объектов за счет измерения их сигнала при различном положении зоны видимости системы лазерной импульсной локации [1]. Продемонстрирована эффективность разработанных алгоритмов и программно-аппаратных средств при обнаружении малоконтрастных световозвращающих объектов в условиях интенсивного солнечного освещения, в том числе при наличии в поле зрения зеркальных и диффузных отражающих поверхностей.

Рассмотрена задача обнаружения и классификации малоразмерных объектов на изображениях с применением моделей нейронных сетей Faster R-CNN на базе ResNet50 и YOLOv5 [2, 3]. Использовались предобученные на изображениях баз ImageNet и COCO сети из библиотеки PyTorch, которые дополнительно обучались на изображениях 3D-моделей автомобилей с применением специальным образом сформированных обучающих выборок. В результате анализа результатов классификации установлено, что точность классификации для Faster RCNN существенно выше. Алгоритм YOLO работает быстрее алгоритмов семейства R-CNN за счёт того, что поддерживает дробление на постоянное количество ячеек вместо того, чтобы определять регионы интереса и рассчитывать решение для каждого региона отдельно, однако качество распознавания объектов сложной формы у такого подхода существенно ниже. Это связано с меньшим числом ограничивающих рамок для каждого потенциального объекта.

Показана перспективность применения однослойного графена для изготовления мембран оптико-акустических приёмников (ОАП)

слабых потоков оптического излучения ИК- и ТГц-диапазонов. Основными факторами, обусловливавшими данный выбор, являются предельно малая толщина и предельно высокие эластичность и механическая прочность материала, гарантировавшие значительное повышение чувствительности. Показано, что достижение предельных метрологических характеристик ОАП возможно за счёт совмещения уникальных возможностей двух разработок: мембраны из однослойного графена и туннельного детектора микродеформаций [4].

На основе анализа основных современных тенденций в сфере построения гиперспектральной аппаратуры показано, что при создании малогабаритных приборов нового поколения, ориентированных на применения в наземных системах обнаружения объектов, перспективным является использование интегральных оптико-электронных схем и оптических узлов в планарном исполнении [5]. В частности, отмечена целесообразность применения в системах сканирования микрозеркальных матриц, а в системах спектроразделения – планарных интерферометров Маха-Цендера. Это позволяет отказаться от громоздких, медленных и не всегда надежных механических узлов и создавать приборы с оперативной регистрацией гиперспектральных изображений.

В качестве альтернативного решения могут рассматриваться по кадровые спектрометры с мозаичными интерференционными фильтрами различного типа, нанесенными непосредственно на поверхность КМОП-сенсора. Однако при их создании необходимо экспериментальное обоснование целесообразности выбора тех либо других информационных параметров (пространственного и спектрального разрешения, разрядности квантования яркости сигналов) для решения конкретных прикладных задач.

*Разработка методов компенсации изменений пространственно-нестационарного фона в последовательности изображений посредством локальных геометрических преобразований. Разработка метода формирования локальных моделей пространственно-нестационарного фона на основе анализа текущих внутрикадровых и межкадровых связей в последовательности изображений*

Разработан метод компенсации изменений пространственно-нестационарного фона в последовательности изображений с помощью локальных геометрических преобразований, основанный на выявлении межкадровых связей и позволяющий приводить все изображения последовательности в единую систему координат [6–8]. Предложен и реализован в ПО способ измерения расстояний до объектов по последовательностям снимков, полученным с разных точек съемки некалиброванной

камерой с малым углом зрения, использующий приведение изображений к общей системе координат для измерения углов между линиями визирования объектов и точек съемки. На примере анализа последовательностей снимков участка городской застройки показано, что относительные ошибки оценок расстояний не превышают 3 %, что для многих практических задач является вполне приемлемым значением.

Исследованы два способа формирования локальных моделей пространственно-нестационарного фона на основе анализа внутрикадровых связей: в виде детерминированных функций с оцениваемыми параметрами и в виде реализации стационарного случайного процесса. Разработана методика оценивания параметров и построения моделей посредством линейной фильтрации подлежащего анализу изображения. На изображениях с двумя различными типами пространственно-нестационарных фонов, содержащих множество малоразмерных объектов различной формы и амплитуды, выполнено численное моделирование подавления фона и обнаружения объектов с применением двух детерминированных и одной ЛССП (локальный стационарный случайный процесс модели). Продемонстрировано преимущество последней при выделении слабых объектов в области резких изменений фона. Рабочие характеристики обнаружителей, основанных на их применении, показывают примерную эквивалентность модели, представленной двумерным полиномом 3-й степени, и ССП-модели, если не требуется обеспечение очень малой ( $<10^{-4}$ ) вероятности ложной тревоги.

*Оценивание надежности регистрации случайных точечных полей с использованием специализированных высокопроизводительных программных систем.*

Проведены работы, связанные с оценкой надежности методов и систем регистрации случайных точечных изображений в зависимости от требуемой точности регистрации, количества пороговых уровней сканирующей апертуры и «насыщенности» регистрируемого изображения, задаваемой интенсивностью формирующего пуассоновского потока [9–12]. Возникающая задача весьма сложна, и к настоящему времени ее точное решение известно лишь для случая, когда сканирующая апертура имеет один пороговый уровень. Примененная схема расчета обобщающих соотношений, описывающих надежность регистрации случайных изображений для апертуры с произвольным числом пороговых уровней, состояла из двух этапов. На первом этапе использовалась разработанная в рамках проекта высокоскоростная программная система, осуществляющая аналитическое вычисление многомерных интегральных выражений по замкнутым областям в  $n$ -мерном пространстве (модификация одной из таких систем с распараллеливанием вычислений реализована в

2023 году на многоядерном кластере Новосибирского государственного университета). С ее помощью производился расчет максимально широкого набора частных решений задачи. На втором этапе устанавливались и строго доказывались итоговые обобщающие вероятностно-аналитические формулы, знание которых необходимо для выбора оптимального числа пороговых уровней сканирующего детекторного приемника при телевизионном считывании случайных точечных изображений. На втором этапе для ранжирования и классификации взаимозависимых числовых последовательностей использовались ранее введенные обобщенные числа Каталана.

Полученные с использованием высокоскоростных программно-аналитических расчетов точные вероятностные соотношения и формулы требуются при решении многих практических и научно-прикладных задач, связанных с цифровой обработкой изображений. В биомедицинских исследованиях знание таких зависимостей требуется при классификации анализируемых изображений на стандартные и аномальные с целью оперативного выявления опухолевых и других болезнетворных образований. Эквивалентные в математическом плане вопросы возникают в задачах обнаружения, локализации и сопровождения целей-источников излучения.

Важным моментом, который может быть особо отмечен, является то, что компьютерно-аналитические методы, разработанные в рамках проекта специально для решения задач интеллектуального анализа и оценки надежности регистрации случайных точечных изображений, имеют самостоятельное значение и могут быть успешно применены во многих других областях, не связанных с обработкой изображений.

### **Публикации:**

1. Алантьев Д.В., Борзов С.М., Козик В.И., Потатуркин О.И., Узилов С.Б. Экспериментальные исследования эффективности активно-импульсного метода обнаружения световозвращающих объектов // Подготовлено к печати.
2. Борзов С.М., Нежевенко Е.С. Нейросетевые технологии в задачах обнаружения и классификации объектов // Автометрия. – 2023. – Т. 59, № 3. – С. 52–71. – DOI 10.15372/AUT20230307. – EDN UWYAQY.
3. Борзов С.М., Нежевенко Е.С., Потатуркин О.И. Исследование эффективности популярных нейросетевых моделей детектирования объектов в поле наблюдения // Вычислительные технологии. – 2023. – № 6. – С. 68–80.
4. Котляр П.Е. Детекторы ИК- и ТГц-излучения на оптико-акустических преобразователях (обзор) // Автометрия. – 2023. – Т. 59, № 4. – С. 88–114. – DOI 10.15372/AUT20230410. – EDN ZASRBA.
5. Борзов С.М., Котляр П.Е., Потатуркин О.И. Малогабаритные гиперспектрометры с оперативной регистрацией изображений // Там же. – № 6. – С. 113–123.
6. Лихачев А.В. Алгоритм поиска оптимальных значений параметров детекторов особых точек по локальным характеристикам изображения // Там же, № 5. – С. 15–24. – DOI 10.15372/AUT20230502. – EDN WCBMZA.

7. Косых В.П., Громилин Г.И., Яковенко Н.С. Измерение расстояний до объектов по сериям снимков, полученным с разных точек съемки камерой с малым углом зрения (подготовлена к печати).
8. Косых В.П., Громилин Г.И., Яковенко Н.С. Трехканальная согласованная фильтрация малоразмерных подвижных объектов в последовательности изображений, формируемых матричным фотоприемником // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2023): сборник трудов всероссийской конференции с международным участием (г. Бердск, 22–25 августа 2023). – Новосибирск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий», 2023. – с. 87–92. – DOI 10.25743/sdm.2023.15.21.015. – EDN WOFWJP.
9. Reznik A.L., Soloviev A.A. Methods, algorithms and programs of computer algebra in problems of registration and analysis of random point structures // Computer Optics. – 2023. – V. 47. – № 6. – P. 1011–1017. – DOI 10.18287/2412-6179-CO-1330. – EDN UWEBTZ.
10. Reznik A.L., Soloviev A.A. Solving Fundamental and Applied Problems of Digital Image Processing at the Institute of Automation and Electrometry and Other Scientific Schools of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2023. – V. 33. – P. 1260–1268.
11. Reznik A.L., Tuzikov A.V., Soloviev A.A., Torgov A.V. Symbolic computation programs and generalized Catalan numbers in problems of analysis of random point structures // Computational Technologies – 2023. – V. 28, № 1. – P. 61–71. – DOI 10.25743/ICT.2023.28.1.007. – EDN DIXOGX.
12. Резник А.Л., Соловьев А.А. Многомерное расширение классических чисел Каталана для решения прикладных задач анализа случайных точечных изображений // Известия АлтГУ. Математика и механика. – 2023. – Т. 132, № 4. С. 84–88. DOI: 10.14258/izvasu(2023)4-13).

**ПРОЕКТ: Развитие высокоинформативных оптических методов исследования состава и микроструктуры материалов и веществ.**  
**№ гос. рег. 121022000126-9**

Исполнители проекта:

**Лаборатория оптических информационных систем**

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

Научный руководитель д.т.н. **Лабусов В.А.**

**Тематическая группа трехмерных лазерных технологий**

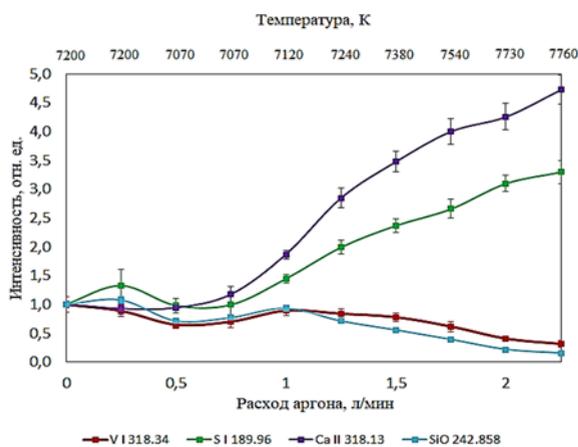
Научный руководитель д.т.н., проф. **Твердохлеб П.Е.**

*Развитие метода сцинтилляционного атомно-эмиссионного спектрального анализа для определения благородных металлов в геологических порошках*

Совместно с предприятием «ВМК-Оптоэлектроника» для атомно-эмиссионного спектрометра с многоканальной регистрацией спектра

«Гранд-Поток» создано новое устройство воронки для ввода аргона в плазму при одновременном введении порошка геологической пробы в дуговой разряд по способу просыпки-вдувания [1–10]. Наилучшие геометрические размеры воронки были выбраны, исходя из предварительного изучения влияния расхода аргона (от 0 до 2.25 л/мин) на интенсивность спектральных линий.

Изучено влияние расхода аргона на температуру плазмы дугового разряда и интенсивность 38 атомных и ионных спектральных линий 22 элементов и молекулярной полосы SiO. Расчеты, выполненные по измеренным интенсивностям атомных и ионных линий железа, свидетельствуют о росте температуры плазмы на 350–540 К при увеличении расхода аргона до 2.25 л/мин. При этом увеличение расхода аргона приводит к росту интенсивности ионных линий элементов до 4.7 раз, а атомных линий с энергией ионизации выше 8 эВ – до 2.9 раз (рис. 2.7). Для линий с энергией ионизации ниже 8 эВ наблюдается снижение интенсивности. Продемонстрировано значительное (более чем в 6 раз) снижение интенсивности канта молекулярной полосы SiO 242.858 нм – спектральной помехи при определении золота в геологических пробах. Получено снижение пределов обнаружения золота в 2 раза при регистрации спектральной линии Au I 267.595 нм способом сцинтилляционного атомно-эмиссионного спектрального анализа.



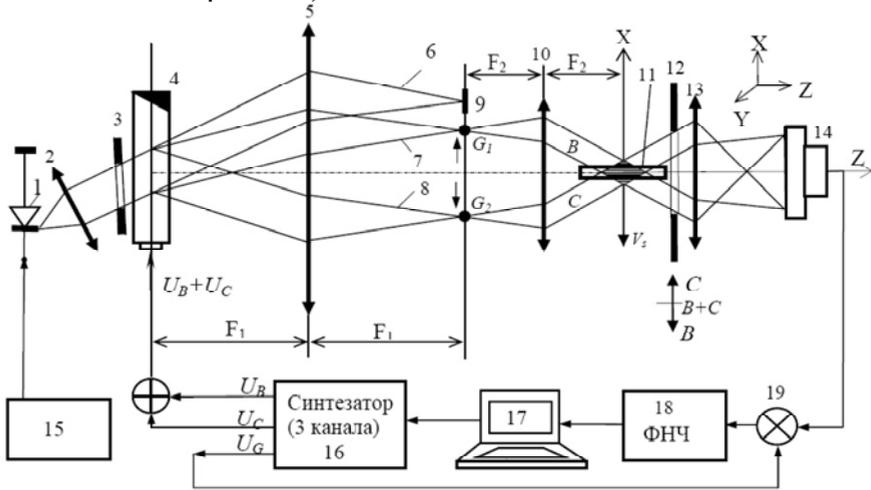
**Рис. 2.7.** Зависимости нормированных значений интенсивности спектральных линий V, S, Ca и молекулярной полосы SiO от расхода аргона, полученные при возбуждении СО РЗ-6 в установке «Поток»

Выполненные исследования указывают на рост отношения сигнал/шум на линиях аналитов в спектрах, полученных при вводе аргона в плазму, и будут полезны для улучшения аналитических характеристик результатов атомно-эмиссионного анализа геологических порошковых проб на широкий круг химических элементов.

*Исследование характеристик экспериментального прототипа гетеродинного томографа и его элементов. Исследование свойств внутренней*

*структуры тестовых образцов оптических рассеивающих материалов и объемных голографических решеток. Исследования новых светочувствительных оптических материалов в режимах одно- и двухфотонной многослойной записи больших объемов информации*

Исследованы характеристики экспериментального прототипа гетеродинного томографа и его элементов (схема оптико-электронной системы показана на рис. 2.8).



**Рис. 2.8.** Оптико-электронная система томографа: 1 – полупроводниковый лазер, 2 – коллиматор, 3 – диафрагма, 4 – акустооптический дефлектор, 5, 10 – элементы конфокальной оптической системы, 7, 8 – рабочие пучки света, 9 – экран, блокирующий пучок 6, 11 – тестовая объемная решетка, 12 – подвижный экран, 13 – объектив, 14 – гетеродинный фотодетектор, 15 – блок питания лазера, 16 – синтезатор частот, 17 – компьютер, 18 – фильтр нижних частот, 19 – перемножитель

Экспериментально подтверждено, что пучки света 7, 8, генерируемые акустооптической системой томографа под управлением синтезатора частот 16, обеспечивают: 1) освещение тестовой объемной решетки 11 пространственно перемещаемыми и частотно-модулируемыми пучками, наклонно падающими на ее поверхности с противоположных сторон; 2) формирование бегущих объемных интерференционных решеток с пространственными частотами от 3450 до 3520 л/мм и одновременным их поворотом в пределах нескольких градусов; 3) послойное восстановление дифрагированных световых волн с «именными» доплеровскими сдвигами частот; 4) совместную коллинеарную гетеродинную обработку дифрагированных световых волн с целью определения амплитуды и фазы излучения, рассеянного в парциальных слоях анализируемой тестовой решетки. Последнее осуществляется с помощью гетеродинного фотодетектора 14 и окружающих его элементов 12, 13, 17 – 19.

Успешно апробирована методика тестирования интерференционного объема томографа (на рис. 2.8 отмечен осью X) с помощью тонкого прецизионно перемещаемого зеркала. Подтвержден практически линейный закон изменения частоты выходного сигнала фотодетектора 14 в зависимости от глубины залегания отражающего слоя в анализируемой тестовой решетке. Получены оценки чувствительности исследуемого томографа (экспериментальное значение – 241.5 Гц/мкм, расчетное – 244.1 Гц/мкм) и его пространственной разрешающей способности по двойному критерию Рэлея (экспериментальное значение – 4.84 мкм, расчетное – 4.1 мкм).

Совместно с НИОХ СО РАН исследованы дифракционные и спектральные свойства объемных отражательных решеток, изготовленных с использованием толстослойных (30–50 мкм) фотополимерных материалов (ФПМ). Найдены условия формирования ангармонического распределения профиля показателя преломления, из-за чего возникают высокие порядки дифракции. Установлено: 1) с увеличением интенсивности падающего излучения величина второго порядка дифракции сначала возрастает, достигает максимального значения в окрестности 24 мВт/см<sup>2</sup>, а затем снижается; 2) полимерная матрица на основе поливинилацетата (ПВА) позволяет получить голографические решетки с существенно большим ангармоническим распределением профиля модуляции показателя преломления, чем в ФПМ с полиуретановой матрицей. Получены образцы решеток с эффективностью 90 % первого и второго порядков дифракции. Запись голограмм осуществлялась по двухпучковой схеме с использованием DPSS лазера с длиной волны излучения 639 нм. Интенсивность падающего излучения составляла 12 мВт/см<sup>2</sup> (в одном пучке), экспозиция – 30 мДж/см<sup>2</sup> [11–16].

Ключевым элементом многослойной оптической памяти является «толстая» светочувствительная среда, которая должна удовлетворять двум противоречивым требованиям: она должна быть условно прозрачной, чтобы проводить однородную запись объемных микрорешеток по всей ее толщине; но вместе с тем достаточно поглощающей, чтобы обладать приемлемой светочувствительностью.

На основе анализа наших многолетних результатов 3D лазерной микромодификации «толстых» слоев электрооптических кристаллов и ФПМ показано, что такие противоречия могут быть преодолены за счет легирования известных и/или синтеза новых светочувствительных сред и их работе в нелинейных режимах двухступенчатого и двухфотонного поглощения. Экспериментально подтверждено, что: 1) при легировании танталата лития железом до уровня  $66 \times 10^{17}/\text{см}^3$  и реализации режима двухступенчатого поглощения при наносекундной записи микрорешетки необходима энергия порядка 0.2 мкДж. Для сравнения отметим,

что при записи такой же микрорешетки в нелегированных образцах танталата лития, работающих в режимах линейного поглощения, требуется энергия на порядок больше; 2) при экспонировании в режиме двухфотонного поглощения образцов ФПМ с катионным раскрытием цикла (созданы в НИОХ СО РАН) четырьмя наносекундными импульсами с интенсивностью световых пучков  $9.5 \text{ ГВт/см}^2$  амплитуда модуляции показателя преломления составляла  $\Delta n = 1.5 \times 10^{-3}$ , а энергия записи одной микрорешетки равнялась  $0.76 \text{ мкДж}$ ; 3) при экспонировании образцов новых ФПМ, представляющих собой раствор органических компонент в матрице поливинилацетата, одним наносекундным импульсом (при суммарной интенсивности записывающих пучков  $8 \text{ ГВт/см}^2$ ) достигнута  $\Delta n = 3.1 \times 10^{-3}$ . Запись проводилась в режиме двухступенчатого синглет-триплетного поглощения. В этом случае энергия записи микрорешеток составляла  $0.043 \text{ мкДж}$ , что является рекордным значением для всех проведенных нами исследований.

### Публикации:

1. Komin O.V., Pelipasov O.V. Continuation of investigation of effect of O2 in plasma gas on parameters of nitrogen microwave-induced plasma optical emission spectrometry // *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. – 2023. – V. 207. – P. 106742. – DOI 10.1016/j.sab.2023.106742.
2. Ващенко П.В., Болдова С.С., Колосов Н.А., Лабусов В.А. Моделирование атомно-абсорбционного спектрометра с источником излучения непрерывного спектра // *Аналитика и контроль*. – 2023. – Т. 27, № 3. С. 168–179. – DOI: 10.15826/analitika.2023.27.3.005
3. Додонов С.В., Дзюба А.А., Лабусов В.А. Исследование влияния потока аргона, вводимого в дуговой разряд, при атомно-эмиссионном спектральном анализе порошковых проб способом просыпки-вдувания // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. – 2023. – Т. 89, № 12. – С. 13–21. – DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-12-13-21>.
4. Ельчин А.С., Комин О.В., Пелипасов О.В. Исследование влияния добавления аргона на параметры азотной микроволновой плазмы // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 17–19 мая 2023)*,: сборник материалов в 8 т. Т. 8: Национальная конференция с международным участием «СибОптика-2023. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей». – Новосибирск, СГУГиТ, – 2023. – № 1. – С. 52–59. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-1-52-59.
5. Колосов Н.А., Болдова С.С. Сравнительное исследование характеристик графитовых печей для атомно-абсорбционных спектрометров с электротермическим атомизатором продольного нагрева // *Там же*. – С. 120–125. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-1-120-125.
6. Васильева И.Е., Шабанова Е.В., Лабусов В.А., Дзюба А.А. Развитие дуговой атомно-эмиссионной спектрометрии в фокусе анализа твердых геологических образцов // *Научно-практическая конференция «Актуальные проблемы поисковой геологии» (Москва, 22–24 ноября 2022)*. Сборник докладов. – Москва, ФГБУ «ВИМС». – 2023. – С. 58–71. – <https://vims-geo.ru/ru/news/nauchno-prakticheskaya-konferenciya-aktualnye-voprosy-poiskovoj-geologii-v-fgbu-vims/>.

7. Комин О.В., Пелипасов О.В. Влияние O<sub>2</sub> и Ag на параметры азотной микроволновой плазмы оптического спектрометра «Гранд-СВЧ» // IV Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии с международным участием (г. Краснодар, 24–30 сентября 2023). Материалы конференции: – С. 135. ([www.analytconf.ru](http://www.analytconf.ru), [https://www.analytconf.ru/files/2023/Materialy\\_IV\\_Vserossiyskoi\\_konferencii\\_po\\_analyticheskoy\\_spektroskopii\\_s\\_mezhdunarodnym\\_uchastiem\\_v2.pdf](https://www.analytconf.ru/files/2023/Materialy_IV_Vserossiyskoi_konferencii_po_analyticheskoy_spektroskopii_s_mezhdunarodnym_uchastiem_v2.pdf)).
8. Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Комин О.В., Скоробогатов Д.Н., Зарубин И.А., Семенов З.В., Селюнин Д.О., Саушкин М.С., Боровиков В.М. Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой «Гранд-ИСП» для одновременного определения элементов // Там же. – С. 150. ([www.analytconf.ru](http://www.analytconf.ru), [https://www.analytconf.ru/files/2023/Materialy\\_IV\\_Vserossiyskoi\\_konferencii\\_po\\_analyticheskoy\\_spektroskopii\\_s\\_mezhdunarodnym\\_uchastiem\\_v2.pdf](https://www.analytconf.ru/files/2023/Materialy_IV_Vserossiyskoi_konferencii_po_analyticheskoy_spektroskopii_s_mezhdunarodnym_uchastiem_v2.pdf)).
9. Лабусов В.А., Гаранин В.Г. Оптические спектрометры для контроля химического состава веществ и материалов // XI Конгресс российской технологической платформы «Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – фотоника» (Москва, 28–30 марта 2023). Научно-практическая конференция «Контрольно-измерительные и диагностические технологии фотоники для обрабатывающей промышленности»: ЛазерИнформ, май 2023. – Выпуск № 9–10(744–745). – С. 14. (<https://bibl.laser.nsc.ru/download/laser-inform/744all-1.pdf>).
10. Лабусов В.А., Гаранин В.Г. Спектрометры оптические Гранд – новое средство измерения массовых долей определяемых элементов // II отраслевая конференция «Современные методы аналитического контроля: перспективы и возможности» СМАК-2023 (г. Озерск Челябинской области, 9–12 октября 2023).
11. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Анализ характеристик волноводного устройства для объединения внешних оптических пучков // Оптика и спектроскопия. – 2023. – Т. 131, № 1. – С. 95–99. – DOI 10.21883/OS.2023.01.54544.4035-22. – EDN FMVHIU.
12. Деревянко Д.И., Пен Е.Ф., Шелковников В.В. Отражательные голографические фотополимерные решетки с ангармоническим распределением профиля модуляции показателя преломления // Оптический журнал. – 2023. – Т. 90. – № 5. – С. 86–92. – DOI: 10.17586/1023-5086-2023-90-05-86-92.
13. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Дифракционные интеграторы для объединения внешних лазерных пучков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс (г. Новосибирск 17–19 мая 2023), сборник материалов в 8 т. Т. 8: Национальная конференция с международным участием «СибОптика-2023. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей». – Новосибирск, СГУГиТ, 2023. – № 1. – С. 23–28. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-1-23-28.
14. Алиев С.И., Деревянко Д.И., Пен Е.Ф., Шелковников В.В. Эффективная толщина пропускающих голограмм в фотополимерных материалах // XX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям (г. Сочи, 12–15 сентября 2023). <https://holoexpo.ru/program/>
15. Алиев С.И., Деревянко Д.И., Шелковников В.В., Пен Е.Ф. Влияние пост-экспозиционной термической обработки на свойства фазовых голографических решёток // XX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям (г. Сочи, 12–15 сентября 2023). – Тезисы докладов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. – С. 459–463. <https://old.holoexpo.ru/upload/20/009D65FEF614A23C/paper.pdf>.
16. Устройство для тестирования динамики усадки голографического светочувствительного материала: пат. 215245 Рос. Федерация на полезную модель. Пен Е.Ф. опубл. 05.12.2022. Бюл. № 34. – 2 с.

**ПРОЕКТ: Физические основы лазерных и сенсорных систем с использованием структурированных волоконных световодов и микрорезонаторов.**

№ гос. рег. 121030500067-5

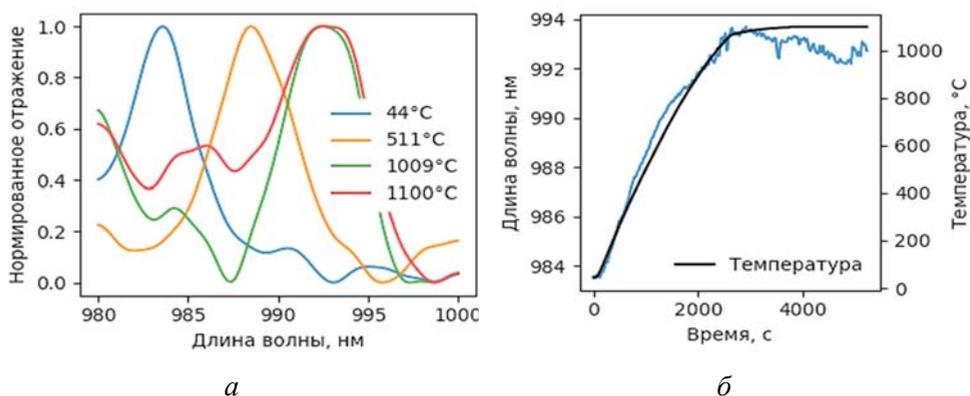
Исполнители проекта:

**Лаборатория волоконной оптики**

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

*Создание сложных структур оптических волокон, внутри прозрачных материалов и на поверхности с помощью фемтосекундного лазерного излучения*

Продemonстрирована возможность создания волоконных брэгговских решеток (ВБР) показателя преломления внутри специальных (бессердцевинных) световодов фемтосекундным лазерным излучением. Для исследования возможности создания компактных сенсорных устройств на основе таких структур проведены эксперименты по высокотемпературному нагреву созданных ВБР. Бессердцевинный световод с записанной ВБР помещался в нагревательную зону высокотемпературной трубчатой печи. Измерения спектров отражения производились каждые 30 с при изменении температуры нагревательной зоны с 40 до 1100 °С и показали, что ВБР в данном температурном диапазоне практически не деградируют (рис. 2.9). Таким образом высокотемпературные тесты продемонстрировали перспективность применения данного типа волокна и методики записи ВБР для разработки компактных сенсорных устройств для эксплуатации в жестких внешних условиях.



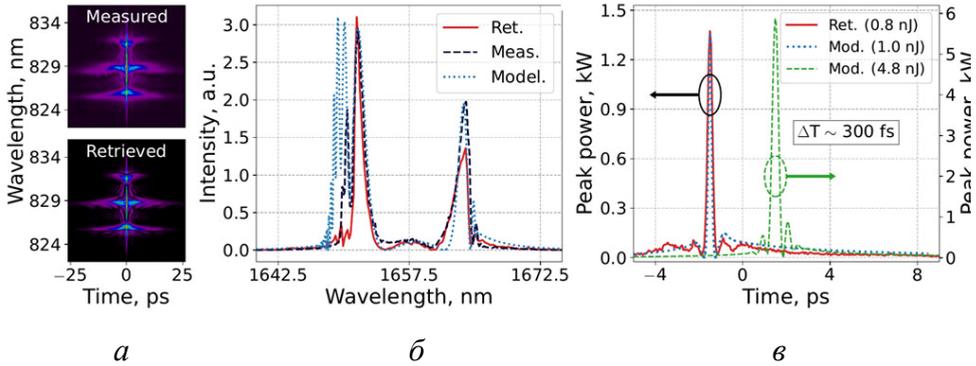
**Рис. 2.9:** *а* – нормированные спектры отражения ВБР при различных температурах; *б* – зависимость положения максимума отражения ВБР от температуры

Кроме того, массивы ВБР применены в качестве температурных датчиков при лазерной интерстициальной термотерапии (ЛИТТ) – малоинвазивной процедуре, используемой для лечения поражения путем светового облучения и последующего повышения температуры. Продолжены работы по нанесению фемтосекндными импульсами антиотражающего рельефа на поверхности нелинейных кристаллов [1, 2].

#### *Генерация фемтосекундных импульсов и оптическая обработка сигналов в волоконных системах*

В рамках работ по генерации и обработке короткоимпульсных оптических сигналов разработанная численная модель для расчёта волоконных лазерных систем опробована для описания ряда практически значимых экспериментов. Для волоконного лазера с синхронизацией мод, генерирующего необычно широкий оптический спектр (более 60 дБ по уровню –10 дБ), удалось не только воспроизвести измеренные параметры, но и раскрыть внутриврезонаторную эволюцию временной и спектральной огибающих импульса и обнаружить способ дальнейшего увеличения ширины до 100 нм. Для генератора диссипативных ВКР-солитонов на длинах волн вблизи 1.7 мкм во внешнем волоконном резонаторе численно исследована зависимость качества импульсов от коэффициента вывода из резонатора и получено соответствие рассчитанной и экспериментально восстановленной форм временной огибающей сжатого импульса (рис. 2.10). Показано, что генерация узкополосных ультракоротких импульсов может быть получена не только с использованием нелинейного усиливающего петлевого зеркала, но и в резонаторе с синхронизацией мод на основе эффекта нелинейного вращения поляризации. Разработанная численная модель в дальнейшем будет использоваться для разработки и оптимизации сложных волоконно-оптических систем [3–7].

Кроме того, реализована экспериментальная установка по измерению концентрации аммиака методом дисперсионного преобразования Фурье. Источником излучения являлся специализированный короткоимпульсный волоконный лазер с центральной длиной волны 1531 нм, что перекрывается с сильными линиями поглощения аммиака и позволяет проводить высокоскоростные измерения концентрации в пределах от 0.1 до 35 %. Продемонстрирована концепция полностью оптического переключения в градиентном многомодовом волокне, в которой качество мощного сигнального луча, заведённого под углом, значительно улучшается лишь при наличии слабого затравочного луча, заведённого в то же волокно, но строго перпендикулярно поверхности скола [8–11].



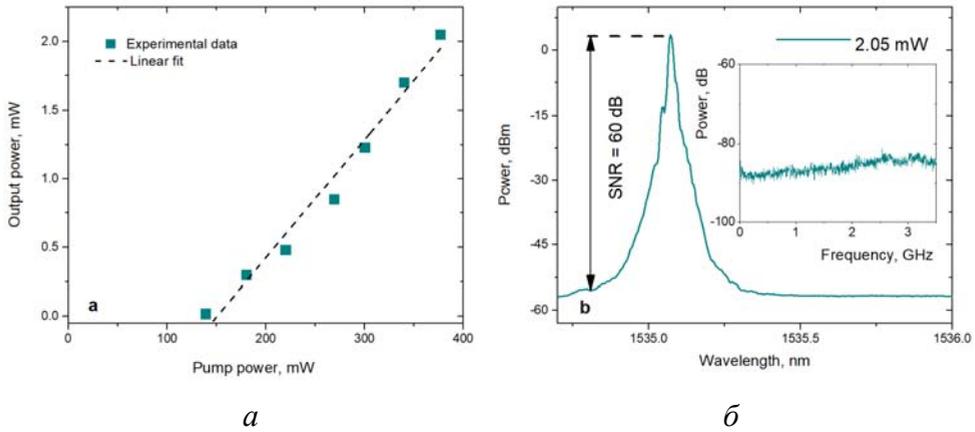
**Рис. 2.10.** Полное сравнение измеренных, полученных и рассчитанных данных, включая FROG-спектрограммы (а), оптические спектры (б) и временную форму сжатых диссипативных ВКР-солитонов (в)

*Исследование режимов усиления и генерации в структурированных волокнах с использованием активных сред и эффекта ВКР*

При двухкаскадном усилении в схеме МОРА на основе висмутового волокна с непрерывной накачкой на длине волны 1205 нм получено 16-кратное увеличение мощности сильночирпованных диссипативных ВКР-солитонов вблизи 1275 нм, что соответствует уровню их энергии на выходе 20 нДж, достаточному для применения в многофотонной микроскопии.

Исследованы возможности узкополосной генерации в области 1.5 и 2 мкм в новых схемах резонатора. На основе сильно легированного Er<sup>3+</sup> волокна с коэффициентом усиления  $\approx 3.1$  дБ/см реализован одночастотный волоконный лазер с рекордно короткой длиной активной части резонатора – 1.8 см. Значительное сокращение длины резонатора было достигнуто за счет использования диэлектрического высокоотражающего тонкопленочного зеркала, нанесенного на торец активного волокна. Вместе с ВБР общая длина резонатора составила 3.3 см. Максимальная выходная мощностью равнялась 2.05 мВт при мощности накачки в 370 мВт, отношение сигнал/шум составляло не менее 60 дБ (рис. 2.11). Шумовой пик наблюдался на частоте 527 кГц, его пиковое значение соответствовало –90 дБ/Гц. Измеренная мгновенная ширина линии лазера при максимальной выходной мощности составила  $\sim 100$  Гц, а ширина на интервале времени  $\sim 100$  мкс – 5.5 кГц. Методика фемтосекундной лазерной модификации показателя преломления позволяет создавать в световоде структуры, обеспечивающие повышенный уровень рэлеевского рассеяния. Применение такой структуры позволило реализовать одночастотный режим генерации для гольмиевого волоконного лазера в конфигурации полуоткрытого резонатора со случайной распределенной обратной связью с уровнем выходной мощности до

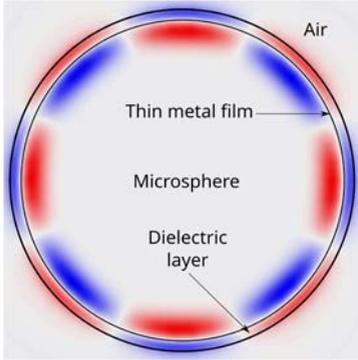
90 мВт. Максимальная выходная мощность составила 370 мВт при мощности накачки 3.9 Вт, при этом ширина линии не превышала 3 пм [12–19].



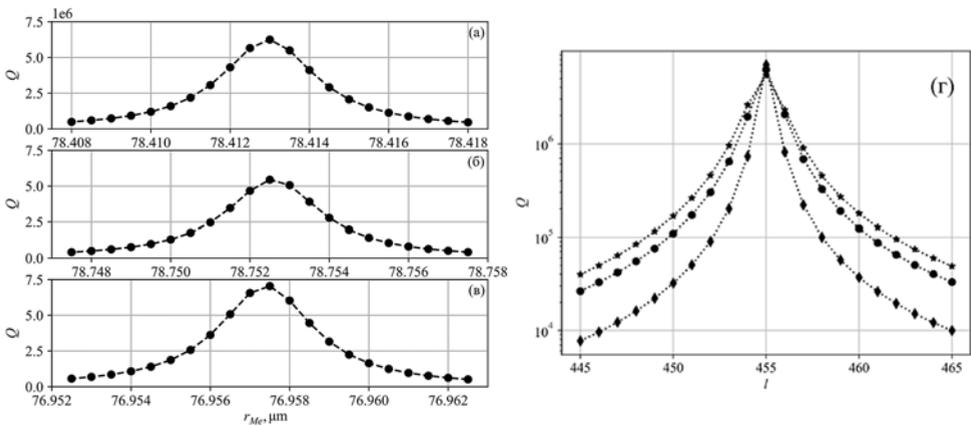
**Рис. 2.11:** *a* – зависимость мощности выходного излучения одночастотного лазера на основе сильно легированного  $\text{Er}^{3+}$  волокна от мощности накачки; *б* – оптический спектр излучения при максимальной выходной мощности; на вставке – РЧ спектр излучения

*Исследование возможности создания волоконно-интегрированных микрорезонаторов и перестраиваемых/одночастотных лазеров на их основе*

В рамках исследования волоконных и интегрально-оптических микроструктур с целью создания оптических сенсорных чувствительных элементов предложен новый метод селекции в микросферических резонаторах на основе тонкой металлической пленки, что дает возможность разработки новых сверхчувствительных элементов температуры или магнитного поля (рис. 2.12). Выделяется по потерям та радиальная мода, для которой узел поля попадает на пленку и таким образом испытывает минимальные потери. Остальные моды быстро подавляются так, что существует зависимость по потерям как от радиального числа  $q$ , так и от полярного индекса  $l$ , что означает селекцию мод как по пространственной радиальной координате, так и по длине волны (рис. 2.13). Кроме того, исследованы резонансные свойства оптических цилиндрических резонаторов при травлении оболочки плавиковой кислотой, что дает возможность оценивать данный метод в целях разработки новых микрорезонаторных устройств с прецизионным контролем диаметра резонатора. Также проведено исследование нового варианта сенсора на основе модового Интерферометра Маха-Цандера, выполненного с помощью утоненного волокна [20–23].



**Рис. 2.12.** Сечение микросферического резонатора с тонкой металлической пленкой



**Рис. 2.13.** Зависимость добротности  $Q$  от положения  $r_{Me}$  тонкой металлической пленки в окрестности минимума поля моды  $TE_{455,455,q}$ : (а) –  $q = 2$ , (б) –  $q = 3$ , пленка в окрестности первого минимума, (в) –  $q = 3$ , пленка в окрестности второго минимума, (г) – добротности мод  $TE_{l,l,q}$  для разных  $l$ : кружки –  $q = 2$ ; звездочки –  $q = 3$ , пленка в первом нуле; ромбы –  $q = 3$ , пленка во втором нуле поля моды

**Публикации:**

1. Wolf A., De Landro, Giraudeau C., Verde J., Ambarki K., Korganbayev S., Odeen H., Saccomandi P. Characterization of Susceptibility artifacts in Magnetic Resonance Thermometry images during laser interstitial thermal therapy: dimension analysis and temperature error estimation // *Physics in Medicine and Biology*. – 2023. – V. 68 (8). – P. 085022. <https://doi.org/10.1088/1361-6560/acbc62>
2. Dostovalov A., Syubaev S., Modin E., Gurbatov S., Cherepakhin A., Tarasova A., Krinitsin P., Yelisseyev A., Isaenko L., Kuchmizhak A. SWIR anti-reflective nanostructures on nonlinear crystals by direct UV femtosecond laser printing // *Appl. Phys. Lett.* – 2023. – V. 123. – P. 061108. <https://doi.org/10.1063/5.0159719>
3. Efremov V.D., Kuznetsov A.G., Kharenko D.S., Babin S.A., Abdrakhmanov I. Ultra-broadband NPE-based femtosecond fiber laser // *Photonics*. – 2023. – V. 10 (1). – P. 85. <https://doi.org/10.3390/photonics10010085>

4. Zhdanov I., Volosi V.M., Koliada N.A., Kharenko D.S., Babin S., Nikolaev N.A., Turitsyn S.K. Raman dissipative soliton source of ultrashort pulses in NIR-III spectral window // *Optics Express*. – 2023. – V. 31, № 21. – P. 35156–35163. – DOI 10.1364/OE.499249. – EDN ARGLYN.
5. Волоси В.М., Жданов И., Коляда Н.А., Харенко Д.С., Бабин С.А. Исследование параметров диссипативных ВКР-солитонов, генерируемых вблизи 1,7 мкм // *Прикладная фотоника*. – 2023. – Т. 10, № 7. – С. 67–80. <http://doi.org/10.15593/2411-4375/2023.7.05>
6. Волоси В.М., Жданов И., Коляда Н.А., Харенко Д.С., Бабин С.А. Исследование параметров диссипативных ВКР-солитонов, генерируемых вблизи 1,7 мкм // *Фотон-экспресс*. – 2023. – № 6(190). – С. 259–260. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-259-260. – EDN YCBMHY.
7. Ефремов В.Д., Харенко Д.С. Исследование генерации узкополосных сверхкоротких импульсов в различных волоконных схемах // *Там же*. – С. 450–451. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-450-451. – EDN IFZKEE.
8. Aprelov N.A., Vatnik I.D., Kharenko D.S. and Redyuk A.A. Dispersive Fourier Transform Spectrometer Based on Mode-Locked Er-Doped Fiber Laser for Ammonia Sensing // *Photonics*. – 2024 – 11 (1), 45 (в печати). <https://doi.org/10.3390/photonics11010045>
9. Kharenko D., Ferraro M., Mangini F., Leventoux Y., Tonello A., Zitelli M., Mansuryan T., Sun Y., Fevrier S., Krupa K., Wabnitz S., Couderc V. Multimode Optical Fiber Beam-By-Beam Cleanup // *J. Light. Technol.* – 2023. – V. 41. – P. 3164–3174. DOI: 10.1109/JLT.2023.3239385 Q1.
10. Kharenko D.S., Gervaziev M., Mangini F., Ferraro M., Sun Y., Gervaziev M., Parra-Rivas P., Couderc V., Wabnitz S. Modal phase-locking in multimode nonlinear optical fibers // *Opt. Lett.* – 2023. – V. 48(14). – P. 3677–3680. <https://doi.org/10.1364/OL.494543 Q1>
11. Koliada N.A., Filonov A., Kuznetsov S.A., Pivtsov V.S., Farnosov S.A., Isaeva Y.G., Chepurov S.V. The Effect of Ambient Temperature Fluctuations on the Output Parameters of the Fiber Femtosecond Frequency Comb // *Las. Phys. Lett.* – 2023. – V.20(9). – P. 095101. – DOI: 10.1088/1612-202X/ace3bf.
12. Skvortsov I., Proskurina K.V., Golikov E.V., Dostovalov A.V., Terentyev V.S., Egorova O.N., Semjonov S.L., Babin S.A. Distributed Bragg reflector laser based on composite fiber heavily doped with erbium ions // *Photonics*. – 2023. – V. 10. – P. 679. <https://doi.org/10.3390/photonics10060679>
13. Babin S.A., Filatova A., Fale A.E., Kamynin V.A., Wolf A.A., Zhluktova I.V., Nanii O.E., Smirnov A.P., Fedoseev A.I., Tsvetkov V.B. Investigation of Absorption Dynamics from the Excited State 5I7 of Holmium Ions in Optical Silica-Based Fibers // *J. Lightwave Technol.* – 2023. – V. 41 (19). – P. 6400–6407. DOI: 10.1109/JLT.2023.3278534 Q1.
14. Абдуллина С.Р., Скворцов М.И., Достовалов А.В., Проскурина К.В., Мункуева Ж.Э., Бабин С.А. Узкополосный гольмиевый лазер со случайной распределенной обратной связью на основе искусственного рэлеевского рассеяния // *Квантовая электроника*. – 2023. – 53 (12). С. 767–771.
15. Горбунов О.А., Ватник И.Д., Подивилов Е.В., Смирнов С.В., Чуркин Д.В. Численное изучение механизмов генерации и затухания узких спектральных мод в излучении волоконного ВКР-лазера со случайно распределенной обратной связью // *Прикладная фотоника*. – 2023. – 10 (5). – С. 87–97. <https://doi.org/10.15593/2411-4375/2023.5.06>
16. Абдуллина С.Р., Скворцов М.И., Достовалов А.В., Проскурина К.В., Мункуева Ж.Э., Бабин С.А. Узкополосный гольмиевый лазер со случайной

- распределенной обратной связью на основе структур, записанных фемтосекундным излучением // Фотон-экспресс. – 2023. – № 6(190). – С. 225–226. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-225-226. – EDN ISPJXQ.
17. Скворцов М.И., Проскурина К.В., Голиков Е.В., Достовалов А.В., Терентьев В.С., Бабин С.А., Егорова О.Н., Семенов С.Л. Компактные одночастотные лазеры на основе высоколегированного эрбиевого световода // Там же. – С. 213–214. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-213-214. – EDN CVXVEQ.
  18. Skvortsov I., Proskurina K.V., Golikov E.V., Dostovalov A.V., Terentyev V.S., Egorova O.N., Semjonov S.L., Babin S.A. DBR Laser Based on Composite Fiber Heavily Doped with Erbium Ions // J. Phys. Conf. Ser. (in print).
  19. Skvortsov M.I. et al. Single-frequency ring fiber laser with random distributed feedback provided by artificial Rayleigh scattering // Photonics (in print).
  20. Terentyev V., Simonov V. Mode selection method in spherical optical cavities with thin metal film // Photonics. – 2023. – V. 10(7), Н.789. <https://doi.org/10.3390/photonics10070789>
  21. Терентьев В.С., Симонов В.А. Численное моделирование селекции радиальной моды в микрорезонаторе с помощью тонкой металлической пленки // Фотон-экспресс. – 2023. – № 6(190). – С. 384–385. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-384-385. – EDN LSLYZR.
  22. Макарова Н.А., Терентьев В.С., Ватник И.Д. Изучение распространения света в режиме мод шепчущей галереи в цилиндрическом микрорезонаторе с частично удаленной кварцевой оболочкой методом травления HF // Оптика и спектроскопия (в печати).
  23. Симонов В. А., Ризк Х.А. Измерение показателя преломления жидкости с помощью модового интерферометра Маха-Цендера на основе утоненного волокна // Фотон-экспресс. – 2023. – № 6(190). – С. 296–297. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-296-297.
  24. Патент № 2797692 РФ на изобретение Вольф А.А., Немов И.Н., Скворцов М.И., Чурин А.Е. Стабилизированный источник лазерного излучения с протяженным резонатором в волоконном световоде. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Опубликовано: 07.06.2023 Бюл. № 16.

**ПРОЕКТ: Нелинейная фотоника структурированных сред (нелинейные преобразования частот, формирование поляризованных и когерентных состояний атомов).**

**№ гос. рег. 121031700030-4**

Исполнители проекта:

**Лаборатория физики лазеров**

**Тематическая группа газоанализа**

**Научный руководитель к.ф.-м.н. Микерин С.Л.**

*Создание активных планарных волноводных устройств на коротковолновое окно прозрачности кварцевого волокна (850 нм)*

Применение более простых, и потому более доступных, нелинейно-оптических органических материалов в области спектра вблизи 850 нм в основе планарных устройств фотоники потенциально может

дать решение широкому кругу задач (открытая оптическая связь в окне прозрачности стратосферы 830–890 нм, оптоволоконная связь на дистанциях порядка 100 м и др.) отдельно от решения проблемы синтеза органических нелинейно-оптических соединений с высоким откликом в ИК-диапазоне.

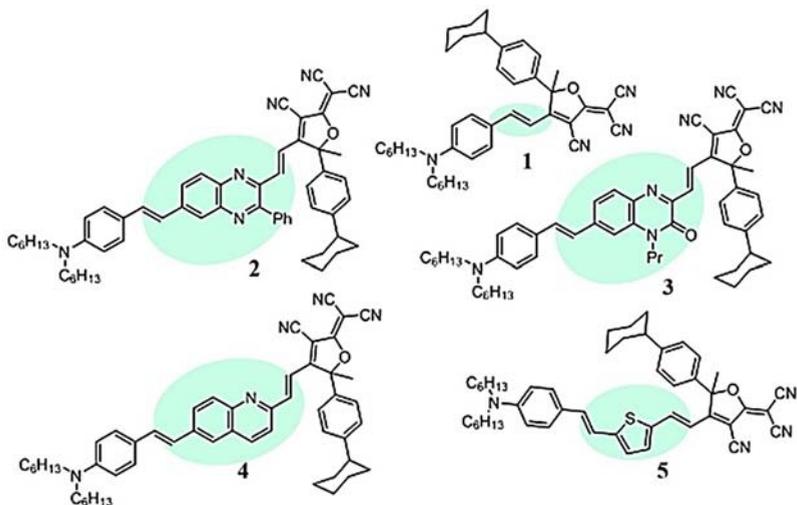
Выполнен поиск экспериментальных подходов к созданию планарных волноводных структур с использованием коммерчески доступного красителя с нелинейно-оптическим откликом типа Disperse Red. На основе подбора доступных полимерных материалов созданы лабораторные макеты активных волноводных структур гребешкового типа. Показан достаточный для практического применения уровень поглощения в материалах, содержащих краситель типа Disperse Red. Продемонстрирован эффект модуляции излучения при значении параметра  $V_{\pi}L \approx 30$  В·см. Отмечена необходимость расширить поиск подходящих оптических материалов и технологий для создания волноводных структур. Особенный интерес представляют материалы, производимые в РФ, так как сведения об их оптических, температурных и других важных свойствах весьма скудны.

В рамках поисковых исследований новых нелинейно-оптических органических материалов изучено влияние степени насыщенности циклическими связями в донор-акцепторном мостике хромофоров на их отклик [1].

Исследовались перспективные хиноксалиновые красители с вариациями мостиков (1–5 на рис. 2.14). Изучение нелинейно-оптических откликов материалов, содержащих 1–5, показало, что увеличение в мостике числа компонентов, делающих циклические связи менее насыщенными, приводит к 2–3-кратному росту нелинейно-оптического коэффициента.

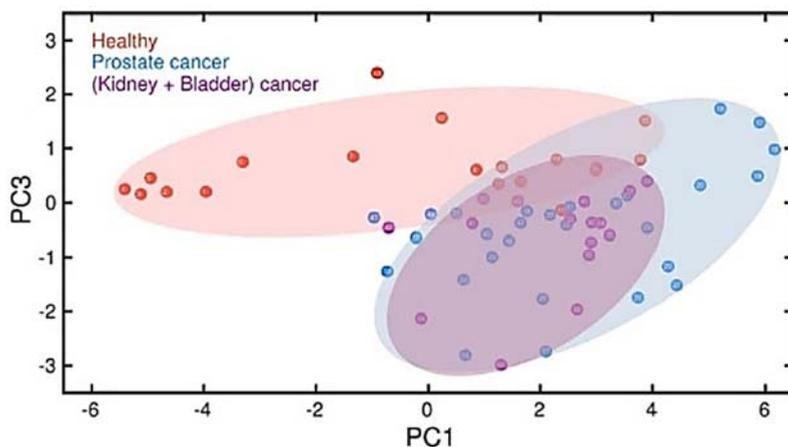
*Разработка критериев оптимальной спектроскопии для заданной газовой смеси и поиск эффективных специальных детекторов для заданного газа*

Совместно с группой ученых из Института квантовой оптики Макса Планка, Мюнхенского университета Людвиг-Максимилиана на базе Урологической клиники и поликлиники LMU Klinikum (Германия) в период 2021–2023 гг. проведено пилотное исследование в малых группах здоровых и заболевших людей (рак предстательной железы, рак мочевого пузыря и почек). С использованием ИК-спектроскопии газовых проб проведено исследование выдыхов групп больных и контрольной группы, отобранных на базе госпиталя, с целью определения уровня различных метаболитов и поиска методики эффективного разделения групп по данным спектроскопии.



**Рис. 2.14.** Структурные формулы исследованных органических красителей (донорно-акцепторные мостики отмечены овалами)

Достигнута рекордная среди широко применяемых диагностик точность (выше 95 %) в разделении группы больных раком простаты и контрольной (здоровой) группы, а также групп больных раком мочевого пузыря и почек и контрольной группы (рис. 2.15) [2]. Выявлены восемь специфических метаболитов в газовой фазе, пять из которых являются продуктами жизнедеятельности бактерий мочеполовой системы.



**Рис. 2.15.** Диаграмма группировки данных методом главных значений

Разработан метод временных окон, позволяющий эффективно анализировать сложные динамические сигналы [3]. С применением метода к изучению эмиссии разряда в воздухе и смеси кислород-азот по-

казано, что в формировании внеэлектродного (в пространстве) и послеелектродного (во времени) свечения принимают участие по меньшей мере два хемолуминесцентных процесса. Свечение связывается с молекулами NO<sub>2</sub> и синглетного кислорода, рождающимися в возбуждённом состоянии как продукты двух параллельных реакций, относительный вклад которых зависит от параметров разряда. Разработанный метод позволил установить, что непосредственно разряд не может быть источником излучения в виде спектральных линий, относимых к продуктам реакций.

Продемонстрировано, что эмиссионный спектрометр может быть применен в частности для отслеживания изменения концентрации молекул NO, O, O<sub>3</sub>.

Продемонстрирована возможность применения оптического сенсора на основе кремнезёмных опалоподобных плёнок для мониторинга изменений психофизиологического состояния человека или животных [4], при которых изменяется кожное потоотделение. Разработаны макет сенсора компактной конструкции, экспериментальное программное обеспечение для калибровки сенсора и обработки отклика.

*Получение перестраиваемой параметрической импульсной генерации в нелинейном кристалле ZGP в области 2–6 мкм при накачке пикосекундным/фемтосекундным Tm:YAP лазером*

Реализован вариант с криогенным охлаждением лазерного генератора сверхкоротких импульсов с длиной волны 1.9 мкм мощностью 5 Вт на основе перспективных кристаллов калий-лютециевого вольфрамата с ионами Tm<sup>3+</sup> для накачки параметрического преобразователя частоты излучения. Лазер работал в смешанном режиме одновременной модуляции добротности и синхронизации мод (метод СЗАОМ), который позволяет повысить среднюю мощность параметрического генератора. С использованием созданного источника накачки получена суперлюминисцентная параметрическая генерация в нелинейном кристалле ZGP с возможностью перестройки в диапазоне длин волн 2.5–6 мкм и суммарной мощностью холостой и сигнальной волн более 30 мВт.

#### **Публикации:**

1. Islamova L.N., Kalinin A.A., Shustikov A.A., Fazleeva G.M., Gaysin A.I., Shmelev A.G., Simanchuk A.E., Shalin N.I., Sharipova A.V., Babaeva O.B., Vakhonina T.A., Fominykh O.D., Khamatgalimov A.R., Mikerin S.L., Balakina M.Yu. Push-pull chromophores with  $\pi$ -deficient benzoazine and  $\pi$ -excessive thiophene cores in conjugated bridge as sources of quadratic nonlinear optical activity of composite polymer materials and molecular glasses // *Dyes and Pigments* – 2023. – V. 216. – P. 111316. – DOI 10.1016/j.dyepig.2023.111316. – EDN BLMDMN.
2. Apolonski A., Maiti K.S., Fill E., Strittmatter F., Volz Y., Sroka R. Standard operating procedure to reveal prostate cancer specific volatile organic molecules by infrared spectroscopy // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – 2024. – V. 304. – P. 123266-1 - 123266-12. – DOI 10.1016/j.saa.2023.123266.

3. Чубаков П.А., Сорокин В.А., Микерин С.Л., Аполонский А.А. Метод спектральных временных окон для исследования сложных динамических процессов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Междунар. науч. конгр. (г. Новосибирск, 17–19 мая 2023), сб. материалов в 8 т. Т. 8 : Национальная науч. конф. с междунар. участием «СибОптика-2023. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей». № 2. Новосибирск : СГУГиТ, 2023. ISSN 2618-981X. С. 92–99. DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-2-92-99. EDN JEKYWR.
4. Кучьянов А.С., Аполонский А.А., Сорокин В.А., Чубаков П.А. Измерение изменений психофизиологического состояния человека или животных оптическим сенсором // Там же. – С. 88–91. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-2-88-91. – EDN PPBQNB.

**ПРОЕКТ: Развитие методов оптической спектроскопии для задач материаловедения и биологической физики.**

**№ гос. рег. 121032400052-6.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория спектроскопии конденсированных сред**

**Лаборатория информационной оптики**

**Научный руководитель чл.-корр. РАН Суровцев Н.В.**

*Комбинационное рассеяние света (КРС) и рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (РМБ) при исследовании фосфолипидных мембран и стеклующихся материалов*

По спектрам комбинационного рассеяния света, измеренным в широком температурном диапазоне, определена температурная зависимость интенсивности ЛАМ мод суспензий фосфолипидных везикул DPPC; из сравнения с поведением интенсивности линии СС для all-trans конформаций углеводородных хвостов сделан вывод о наличии степеней свободы, высвобождение которых на температурах выше 250 К подавляет ЛАМ-моды, но не влияет на СС-stretch моды. Используя метод КРС и дейтерирование, определена тройная диаграмма POPC-DPPC-Chol с точки зрения эффектов для конформационных состояний [1]. Ширина и частота пика рассеяния Мандельштама-Бриллюэна в стеклующемся пиколине охарактеризованы в широком температурном диапазоне, и показано, что взаимосвязь продольной и ориентационной релаксации немонотонна и требует дальнейшего теоретического анализа. Из анализа данных РМБ была определена среднеквадратичная амплитуда нанометровых флуктуаций сдвигового модуля в салоле [2]. Исследование зависимости поведения водных растворов солей от положения иона в ряду Гофмейстера, выполненное ранее методами КРС и РМБ, было дополнено изучением широких спектров деполяризованного неупру-

ного рассеяния света [3]. Метод РМБ был применен для выяснения эффектов легирования углеродными нанотрубками перспективных материалов кардиохирургии (поликапролактон и полициклогексенкарбонат). Удалось объяснить, почему квазистатический модуль Юнга уменьшается с легированием вопреки ожиданиям [4].

#### *Комбинационное рассеяние света при исследовании биологических мембран*

С помощью спектроскопии КРС был впервые исследован фазовый переход липидов в ооцитах свиньи. Было сделано открытие о том, что после фазового перехода упорядоченные фазы не плавятся даже при температурах культивирования. Методика микроскопического КРС позволила измерить спектры КРС от разных частей сперматозоидов домашней кошки в диапазоне температур от  $-20$  до  $20$  °С и показать, что липидный фазовый переход в сперматозоидах является размытым. Оптимизированы чувствительность и пространственное разрешение спектра КРС с использованием Rb ячейки в качестве notch фильтра для 780 нм возбуждения.

#### *Методы нелинейной оптической спектроскопии*

Методами КРС и сигнала ГВГ охарактеризован дипольный момент и механические напряжения микронных пленок SBN-0.5 и определена роль механических напряжений в их фазовом состоянии. Показано, что пирокоэффициент пленок SBN в номинально параэлектрической фазе определяется локальными полярными областями [5–7]. Были исследованы свойства метастабильных состояний в модели Изинга J1-J2 со взаимодействием со следующими за ближайшими соседями с помощью аналитического приближения случайного локального поля и численного метода Монте-Карло [8]. Методы ГВГ, КРС и численных решений применены для характеристики нелинейных кристаллов и перспективных кристаллических материалов: состояния воды в кордеритах [9, 10], свойства метастабильных состояний в модели Изинга, покрытия никелида титана после плазменной обработки [11], щелочных поливольфраматов [12] и индий-серебряных селенитов [13].

#### *Методы терагерцовой спектроскопии*

Продемонстрирована возможность эффективного применения метода импульсной терагерцовой спектроскопии, совмещенной с машинным обучением для ранней диагностики глиомы [14, 15]. Определены линейные и нелинейные оптические свойства в терагерцовом спектральном диапазоне ряда нелинейно-оптических кристаллов. Показано, что среди популярных кристаллов семейства боратов (триборат лития LBO, тетраборат лития LB4, бета-борат бария  $\beta$ -ВВО) кристалл трибората

висмута (ВВО) является наиболее перспективным оптико-терагерцовым преобразователем излучения мощных лазерных источников ближнего ИК-диапазона [16, 17]. Новый молекулярный кристалл гуанилмочевина гидрофосфита (ГУНП) исследован методами КРС и ТГц спектроскопии и определены параметры терагерцовых мод [18, 19]. Показано, что охлажденный до температуры жидкого азота стехиометрический кристалл танталата лития может быть более эффективным оптико-терагерцовым преобразователем излучения титан-сапфировых усилителей чем кристалл ниобата лития – наиболее распространенный ТГц генератор при данной накачке [20]. Впервые измерен электрооптический коэффициент на длине волны 1.55 мкм для легированных серой кристаллов селенида галлия, который составил  $r_{22} = 0.975$  пм/В для чистого кристалла и 1.262 пм/В для кристалла  $\text{GaSe}_{0.88}\text{S}_{0.12}$ . Результаты исследований ТГц свойств легированных серой кристаллов селенида галлия нашли отражение в публикациях [21, 22]. Впервые экспериментально продемонстрирована техника субдискретизации в импульсной терагерцовой спектроскопии, которая перспективна для мониторинга газовых линий.

#### Публикации:

1. Zaytseva Yu.V., Zaytseva I.V., Surovtsev N.V. Characterization of conformational states of POPC and DPPCd62 in POPC/DPPCd62/cholesterol mixtures using Raman spectroscopy // *Chemistry and Physics of Lipids* 256 – 2023. – 105337.
2. Адищев С.В., Зайцева И.В., Зыкова В.А., Малиновский В.К., Новиков В.Н. Определение среднеквадратичной амплитуды нанометровых флуктуаций сдвигового модуля в салоле методом неупругого рассеяния света // *Автометрия*. – 2023. – Т. 59, № 3. – С. 3–11. – DOI 10.15372/AUT20230301. – EDN JFGGFM.
3. Dobrynina E.A., Zykova V.A., Adichtchev S.V., Surovtsev N.V. Gigahertz elastic modulus and OH stretching frequency correlate with Jones–Dole's B-coefficient in aqueous solutions of the Hofmeister series // *Journal of Chemical Physics*. – 2023. – V. 158, № 3. – P. 034504. – DOI 10.1063/5.0130490. – EDN YMGVTK.
4. Dokuchaeva A.A., Vladimirov S.V., Borodin V.P., Karpova E.V., Vaver A.A., Shiliaev G.E., Chebochakov D.S., Kuznetsov V.A., Surovtsev N.V., Adichtchev S.V., Malikov A.G., Gulov M.A., Zhuravleva I.Y. Influence of Single-Wall Carbon Nanotube Suspension on the Mechanical Properties of Polymeric Films and Electrospun Scaffolds // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – V. 24, № 13. – P. 11092. – DOI 10.3390/ijms241311092. – EDN KMIMPT.
5. Pugachev A.M., Sokolov A.A. Study of domain structure of thin ferroelectric films with a pulse laser // *Ferroelectrics*. – 2023. – V. 605. – P. 83–87. <https://doi.org/10.1080/00150193.2023.2169013>
6. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V., Ivleva L.I., Lykov P.A. Determination of the Burns temperature in strontium barium niobate crystals with various chemical compositions probed by Raman and Brillouin scattering // *Там же*. – 2022. – V. 592. – P. 108–115. <https://doi.org/10.1080/00150193.2022.2052252>
7. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Surovtsev N.V., Raevski I.P., Raevskaya S.I. Nonlinear optical studies of the temperature evolution of local asymmetric regions in solid solutions

- (1-x)PbMg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>O<sub>3-x</sub>PbSc<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>O<sub>3</sub> // Там же. – 2022. – V. 591. – № 1. – P. 106–112. – DOI 10.1080/00150193.2022.2044682. – EDN HVLWWM.
8. Abalmasov V.A., Vugmeister B.E. Metastable states in the J 1– J 2 Ising model // *Physical Review E* – 2023 – V. 107. – P. 034124.  
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.107.03412>.
  9. Abalmasov V., Gorshunov B., Uskov V., Chan Y.T., Uykur, E., Abramov P., Dressel M., Thomas V., Savinov M. Effect of internal pressure on incipient ferroelectricity of nanoconfined water molecules observed in hydrothermally grown beryl crystals // *Physica Status Solidi (b)*. – 2023. – V. 260. – P. 2200405. – DOI 10.1002/pssb.202200405.
  10. Abalmasov V., Uskov V., Gorshunov B., Savinov M. Rigidity of dipolar coupled H<sub>2</sub>O molecular network in external electric field // *Solid State Communications*. – 2023. – V. 371. – P. 115284. – DOI 10.1016/j.ssc.2023.115284.
  11. Zhuravleva I.Yu., Surovtseva M.A., Alshevskaya A.A., Surovtsev N.V., Okotrub K.A., Kim I.I., Nasimov D.A., Bondarenko N.A., Kuzmin O.S., Poveshchenko O.V. Integral Algorithms to Evaluate TiO<sub>2</sub> and N-TiO<sub>2</sub> Thin Films' Cytocompatibility // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2022. – V. 23, № 23. – P. 15183. – DOI 10.3390/ijms232315183. – EDN IUVID.
  12. Solodovnikov S.F., Meshalkin A.B., Sukhikh A.S., Solodovnikova Z.A., Zolotova E.S., Yudin V.N., Kadyrova Yu.M., Khaikina E.G., Mateyshina Yu.G., Uvarov N.F., Pugachev A.M., Kovtunets E.V. Resolving old problems with layered polytungstates related to hexagonal tungsten bronze: phase formation, structures, crystal chemistry and some properties // *Dalton Transactions*. – 2023. – V. 52, № 9. – P. 2770–2785. – DOI 10.1039/D2DT03895A. – EDN KNYIXZ.
  13. Pugachev A., Isaenko L., Dong L., Yelisseyev A., Lobanov S., Korzhneva K., Gromilov S., Sukhikh A., Vedenyapin V., Kurus A., Khamoyan A., Lin Z. A new nonlinear optical crystal Li<sub>0.81</sub>Ag<sub>0.19</sub>InSe<sub>2</sub> with balanced properties for efficient nonlinear conversion in the mid-IR region // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2023. – V. 969 – P. 172382. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.172382>.
  14. Cherkasova O.R., Konnikova M.R., Nazarov M.M., Vrazhnov D.A., Kistenev Y.V., Shkurinov A.P. Terahertz Spectroscopy of Mouse Blood Serum in the Dynamics of Experimental Glioblastoma // *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*. – 2023. – V. 9, № 3. – P. 30308. – DOI 10.18287/JBPE23.09.030308. – EDN NZMTXV.
  15. Cherkasova O., Nikolaev N., Vrazhnov D., Knyazkova A., Konnikova M., Stupak E., Glotov V., Stupak V., Paulish A., Peng Y., Kistenev Y., Shkurinov A. Terahertz Time-Domain Spectroscopy of Glioma Patient Blood Plasma: Diagnosis and Treatment // *Applied Sciences (Switzerland)*. – 2023. – V. 13, № 9. – P. 5434. – DOI 10.3390/app13095434. – EDN JSBNTQ.
  16. Лубенко Д.М., Ежов Д.М., Светличный В.А., Андреев Ю.М., Николаев Н.А. Оптические свойства нелинейных кристаллов семейства боратов и их применение в источниках интенсивного терагерцового излучения // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2023. – Т. 23. – С. 439–447. DOI: 10.17586/2226-1494-2023-23-3-439-447.
  17. Nikolaev N., Bychkova S., Antsygin, Ezhov D., Andreev Y., Svetlichnyi V. Temperature-dependent optical properties of bismuth triborate crystal in the terahertz range: simulation of terahertz generation by collinear three-wave mixing in the main crystal planes // *Photonics*. – 2023. – V. 10, № 7. – P. 713. – DOI 10.3390/photonics10070713. – EDN TOCZZZ.
  18. Nikolaev N., Sinko A., Bychkova S., Antsygin V., Maximov L., Minakov F., Shkurinov A. Characterization of the new semiorganic nonlinear crystal of guanyleurea hydrogen phosphite in the terahertz range // *Proc. SPIE 12776, Infrared, Millimeter-Wave, and Terahertz Technologies X, 1277615 (26 November 2023)*.

19. Surovtsev N.V., Sinko A.S., Kargovsky A.V., Nikolaev N.A., Manomenova V.L., Kozlova N.N., Rudneva E.B., Voloshin A.E., Shkurinov A.P. Polarization sensitive Raman scattering and stimulated terahertz emission from GUHP molecular crystal // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology 13. – 2023. – № 5 – P. 526–538. DOI 10.1109/TTHZ.2023.3286662.
20. Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Maximov L.V., Minakov F.A., Nikolaev N.A., Mikerin S.L. Temperature dependence of terahertz properties of stoichiometric lithium tantalite // Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves. – 2022 – V. 43 – № 12 – P. 895–904. DOI 10.1007/s10762-022-00896-w.
21. Shevchenko O.N., Nikolaev N.A., Antsygin V.D. Estimation of the nonlinear-optical coefficient of GaSe:S crystals according to electro-optical measurements // Proc. SPIE 12920, XVI International Conference on Pulsed Lasers and Laser Applications, 129200G, 2023.
22. Shevchenko O.N., Nikolaev N.A., Antsygin V.D. Nonlinear coefficients at telecom wavelengths responsible for the optical and terahertz wave interactions in GaSe:S crystals // Proc. SPIE 12776, Infrared, Millimeter-Wave, and Terahertz Technologies X, 127760Z (26 November 2023).
23. Mikerin S.L., Shevchenko O.N., Kokh K.A., Nikolaev N.A. Detection of terahertz frequencies in S-doped GaSe crystals using laser pulses at telecom wavelengths // Applied Sciences. – 2023. – V. 13, is. 2045. – P. 11–14. – DOI 10.3390/app13042045.

**ПРОЕКТ: Развитие методов синтеза рельефно-фазовых поверхностных структур и оптических элементов на их основе.**

**№ гос. рег. 121041500060-2**

Исполнители проекта:

**Лаборатория дифракционной оптики**

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

*Исследование методов коррекции формы топологических элементов синтезированных голограмм при сканирующей лазерной записи*

Проведены теоретические и экспериментальные исследования по анализу и учету допусков на границах зон синтезированных дифракционных структур на примере решетки Даммана, а также по коррекции этих границ при создании решеток с использованием установки лазерной фотолитографии по фоторезисту DWL66+ [1]. Было показано, что для достижения СКО, равного 6 %, расчетный допуск на случайное смещение границ должен составлять 0.4 мкм для ситуации с нормальным (гауссовым) распределением случайных сдвигов. Кроме того, проведены эксперименты для минимизации СКО интенсивности дифракционных порядков. Варьировались доза экспозиции фоторезиста и величина программного сдвига границ дифракционных зон. В результате экспериментов определена оптимальная доза экспозиции, превышающая стандартный уровень на 60 %. Оптимальная коррекция сдвига границ составила 200 нм (внутри экспонируемых зон – рис. 2.16). Таким

образом, показана возможность практической реализации решеток Дамана с характеристиками, близкими к проектным, при использовании режима записи с переэкспонированием фоторезиста.

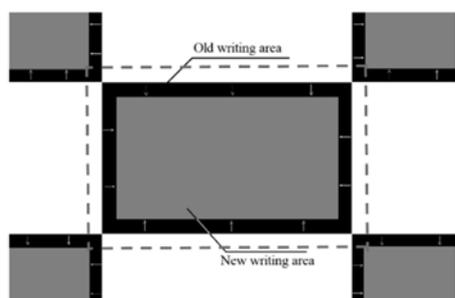


Рис. 2.16. Смещения границ зон дифракционной решетки

### *Разработка метода прямой лазерной записи комбинированных амплитудно-фазовых компьютерно-синтезированных голограмм*

Экспериментально продемонстрирована возможность прямой лазерной записи комбинированных амплитудно-фазовых компьютерно-синтезированных голограмм. Фазовая дифракционная структура реализуется прямой записью маски на фоторезисте (кусочно-непрерывный рельеф) с помощью х-у записывающей системы или маски на пленке хрома (бинарный рельеф) на круговой записывающей системе. Далее топология маски переносится на поверхность оптической подложки «сухим» травлением. Амплитудная модуляция реализуется путем лазерной записи на фоторезисте, нанесенном на пленку хрома, или прямой записью на пленке хрома. В первом случае амплитудная структура имеет вид металлизированного раstra с переменной скважностью (оптическая плотность в нулевом порядке меняется от 0 до  $4D$ ), как показано на рис. 2.17, а.

Во втором случае амплитудная структура формируется непрерывной, с изменением оптической плотности пленки хрома от 0 до  $2D$  (рис. 2.17, б), что имеет существенное преимущество для некоторых задач в силу отсутствия паразитных порядков от растриванной маски или при наличии высоких пространственных частот в амплитудной полутоновой маске [2]. Для анализа изменения оптической плотности экспонированных участков при прямой лазерной записи рисунка на пленках хрома использовался специальный программный код, разработанный с помощью пакета прикладных программ MATLAB. Данный программный код также применялся для анализа глубинного распределения поглощенной дозы пучка электронов по анализу изменения оптической плотности в полимерном материале, для задач в области медицинских исследований по формированию поля электронной дозы клинических ускорителей [3].



**Рис. 2.17.** *a* – фрагмент структуры бинарно-амплитудной голограммы нулевого порядка на периферийном участке; *б* – фрагмент полутонового изображения решетки с пилообразным профилем штрихов и с периодом 100 мкм

Разработана термохимическая технология прямой лазерной записи отражательных амплитудно-фазовых дифракционных решёток на двухслойном материале  $Zr/SiO_2$ . Продемонстрировано формирование отражательных решёток с дифракционной эффективностью свыше 30 % по полностью «сухой» (без жидкостного селективного травления) технологии. Это позволяет отказаться от критического этапа жидкостного травления записанного рисунка и существенно упростить процесс изготовления элементов дифракционной оптики, работающих на отражение падающего излучения. Показано, что «сухую» одноэтапную технологию изготовления бинарных отражающих дифракционных структур на двухслойном материале  $Zr/SiO_2$  можно дополнить этапом реактивного ионного травления для подстройки эффективности элемента [4].

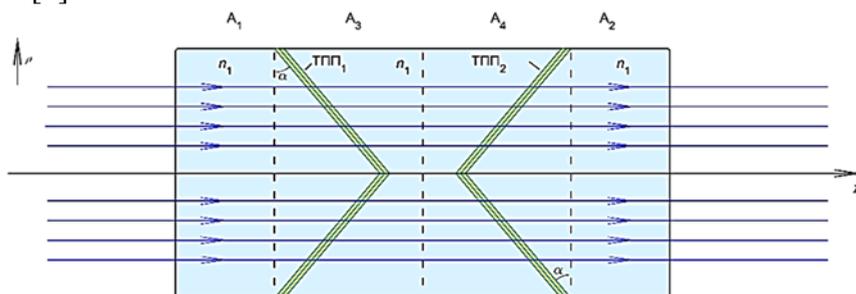
#### *Разработка методов контроля погрешностей при записи сверхбольших синтезированных голограмм*

Создан автоматический оптический дифрактометр-компаратор для локального контроля эффективности дифракционных структур различного назначения. Ключевой особенностью созданного устройства является совместное использование в измерительном блоке цифровой видеокамеры, осуществляющей высокоскоростную регистрацию дифракционных картин от локальных участков голограммы, и сканирующего фотодиодного сенсора, который используется для калибровки неоднородностей интенсивности, регистрируемой в локальных участках матрицы видеокамеры. Прибор предполагается использовать для контроля дифракционных сенсорных меток, встраиваемых в большие синтезированные голограммы для определения локальных ошибок изготовления.

#### *Синтез и исследование многослойных структур для изменения состояния поляризации лазерных пучков в задачах их острой фокусировки*

Методом численного эксперимента установлено, что предложенная схема оптического конвертера поляризации лазерного излучения,

преобразующего круговую поляризацию в радиально-азимутальную и выполненного на основе рефракционных аксиконов с многослойными тонкопленочными покрытиями (рис. 2.18), является работоспособной. При числе слоев 53 исследованные тонкопленочные покрытия способны обеспечить достаточно высокое качество конвертации лазерного пучка при эффективности, близкой к 100%, и обеспечении высокой поляризационной чистоты пучка. Поскольку тонкопленочные покрытия окружены оптическими средами с одинаковым показателем преломления, то предложенная схема не вносит существенных волновых искажений пучка даже при существенных вариациях конической формы аксиконов [5].



**Рис. 2.18.** Оптическая схема конвертера поляризации с многослойными тонкопленочными покрытиями на боковых поверхностях рефракционных аксиконов

### Публикации:

1. Korolkov V.P., Sedukhin A.G., Kuts R.I., Cherkashin V.V., Golubtsov S.K., Malyshev A.I., Belousov D.A. Filters to Manage Access to the Equipment in Automated laser writing of two-dimensional Damman gratings and performing the software correction of writing modes // Proc. SPIE. – 2022. – V. 12318. – P. 123182G. – DOI: 10.1117/12.2643720.
2. Kuts R.I., Korolkov V.P., Sametov A.R., Cherkashin V.V., Zaitseva D.A., Golubtsov S.K. Thermochemical laser writing of chromium grayscale masks and their application for fabrication of multilevel diffractive optical elements // SPIE Proceedings. SPIE Proceedings. Photonics Asia. – 2023. – 14–16 October 2023, Beijing, China. – Paper 12768-88.
3. Miloichikova I., Bulavskay A., Gargioni E., Grigorieva A., Cherepennikov Y., Belousov D., Stuchebrov S. Investigation of the Possibility of Shaping an Electron Dose Field of a Clinical Accelerator with 3D Printed Polymer Products // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2024. – V. 1059. – P. 168996. – DOI: 10.1016/j.nima.2023.168996.
4. Kuts R., Korolkov V., Mikerin S., Okotrub K., Belousov D., Malyshev A., Sametov A., Shimansky R., Gavrilova T. Volumetric thermochemical laser writing of nanostructured reflective diffraction gratings on a dual-layer Zr/SiO<sub>2</sub> material // Journal of Optical Technology. – 2023. – V. 90. – №. 4. – P. 163–169. – DOI: 10.1364/JOT.90.000163.

5. Sedukhin A.G. Ultrafast vectorial calculation of tightly focused vortex and non-vortex fields in a meridional plane // Optics communications. – 2023. – P. 130237. – DOI: 10.1016/j.optcom.2023.130237 (Available online 30 December 2023).

**ПРОЕКТ: Параметрическое автоматизированное управление потоками данных в режиме реального времени с применением специализированных процессорных архитектур.**

**№ гос. рег. 121041800012-8**

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.**

*Разработка методов повышения точности локализации объекта с использованием камер машинного зрения и маркеров. Разработка проекта системы быстрого определения опасности волны цунами вдоль побережья*

Для решения задачи определения положения и ориентации объекта в реальном времени по изображению маркера использовался метод минимизации ошибки, который требует вычисления целевой функции. Источниками погрешности результата являются дефекты входных изображений (видеопотока) и несовершенство самого алгоритма. Алгоритм, обеспечивающий высокое качество вычислений, может до некоторой степени компенсировать дефекты входных данных. Разработаны алгоритмы для увеличения точности, которые включают в себя учёт геометрических искажений оптики, учёт размытия изображения оптикой, выделение дефектов, не подлежащих обработке, и исключение их из процесса обработки.

Разработана схема решения задачи оперативного прогноза цунами для заданного участка побережья с учетом предположения, что через несколько минут после землетрясения сейсмическая служба определит местоположение эпицентра и оценит его магнитуду. Исходя из этого, определяется набор базисных источников, покрывающих область вокруг эпицентра. При более высоком значении магнитуды землетрясения выбирается большее количество этих источников [1]. Затем в ожидании записей с глубоководных регистраторов уровня океана из созданной ранее базы рассчитанных мареограмм выбираются те, что относятся к базисным источникам вокруг эпицентра. После того, как один или несколько регистраторов зафиксируют спад уровня после первого максимума, включается разработанный алгоритм восстановления очага. Через

минуту формируется набор коэффициентов в линейной сумме рассмотренных базисных источников, которая аппроксимирует начальное смещение водной поверхности в очаге. Благодаря оптимизации параллельного исполнения расчетной программы с использованием аппаратного ускорителя на базе FPGA, через 1–2 минуты получается расчетное распределение максимумов высоты волны во всех узлах расчетной области, в том числе и вдоль береговой линии на глубинах 5–10 м.

Проведена серия численных экспериментов на реальной батиметрии с использованием ранее разработанного специализированного вычислителя, в ходе которых была подтверждена работоспособность предложенной схемы быстрого определения опасности волны цунами вдоль побережья.

*Исследование на макете возможностей отказоустойчивой доверенной системы контроля и управления с виртуальными контроллерами (СКУ ВК)*

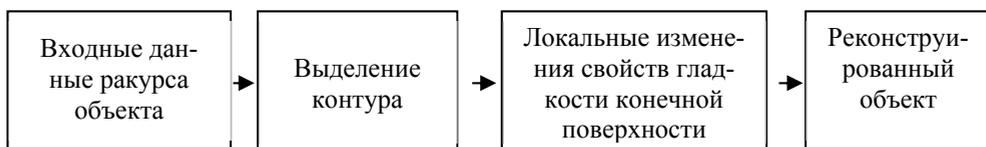
Уточнены требования к организации, функционированию, созданию и модернизации доверенных систем контроля и управления с виртуальными контроллерами с усовершенствованным комплексом средств информационной безопасности (КСБ) и взаимодействующими с ним доработанными основными техническими и программными средствами системы.

Выполненные исследования позволяют обеспечить эффективное комплексное применение современных средств информационной безопасности, встроенных в отказоустойчивую доверенную систему управления с виртуальными контроллерами для объектов критически важной информационной структуры без потери качества функционирования системы в режиме реального времени.

*Разработка методов реконструкции и распознавания 3D-объектов по данным одного ракурса*

Разработан метод реконструкции 3D-объектов по данным одного ракурса изображения объекта с использованием скалярных функций возмущения, определяющих геометрию объекта [2, 3]. В методе при визуализации объектов используется механизм, подобный отображению текстуры, благодаря которому при генерации поверхности время вычислений практически не зависит от разрешения карты высот (текстуры формы). Это обеспечивает уменьшение времени на реализацию геометрических операций. Для визуализации используется метод отслеживания лучей, проходящих через каждый пиксель плоскости изображения от взгляда наблюдателя сквозь пирамиду видимости (объектное про-

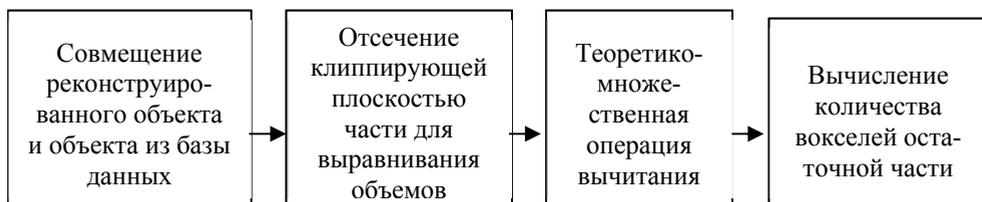
странство). Лучи проецируются на базовую плоскость. Структура вычислительного процесса реконструкции 3D-объектов по данным одного ракурса изображения объекта представлена на рис. 2.19.



**Рис. 2.19.** Этапы вычислительного процесса реконструкции объекта

Так как задние поверхности объектов невидимы во входном изображении (ракурсе), то реконструкции должны быть симметричными. Это может быть достигнуто путем простого зеркального отображения вычисленных значений глубины вдоль плоскости изображения. С помощью данного упрощения можно получить замкнутые представления 3D-объекта, используя карты глубины.

Разработан метод распознавания трехмерных объектов на основе скалярных функций возмущения и теоретико-множественной операции вычитания [4]. Метод распознавания отличается от известных подходов тем, что в процессе проверки участвуют не только точки поверхности, но и объём. Структура вычислительного процесса для распознавания трехмерных объектов представлена на рис. 2.20.



**Рис. 2.20.** Этапы вычислительного процесса распознавания объекта

Предложенные методы реконструкции и распознавания 3D-объектов по данным одного ракурса изображения с использованием данных силуэта объекта и скалярных функций возмущения в сравнении с известными подходами требуют на порядок меньше временных вычислительных затрат с минимальным числом параметров пользовательского ввода при интерактивных геометрических операциях.

#### **Публикации:**

1. Lavrentiev M., Kuzakov D., Marchuk An. Optimizing Sensors Locations for Tsunami Warning System // *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. – 2022. – V. 7, № 6. – P. 256–261. – DOI: 10.25046/aj070629.

2. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Метод реконструкции 3D-объектов по данным одного ракурса изображения // Автометрия. – 2023. – Т. 59, № 5. – С. 47–55. – DOI 10.15372/AUT20230505. – EDN SDTSAP.
3. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Метод реконструкции по одному изображению криволинейных поверхностей // Современные достижения научно-технического прогресса. – 2023. – № 3(8). – С. 19–24. – DOI 10.18411/sdntp-05-2023-05. – EDN QFSIQX.
4. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Методы реконструкции и распознавания криволинейных объектов по одному ракурсу изображения // Исследования. Инновации. Практика. – 2023. – № 2(7). – С. 6–12. – DOI 10.18411/iip-06-2023-01. – EDN ZMLJJR.

**ПРОЕКТ: Разработка методов управления движением автономных динамических объектов в условиях неопределенности и наличия возмущений. Разработка технологии моделирования движения летательных аппаратов.**

**№ гос. рег. 121042900050-6**

Исполнители проекта:

**Лаборатория нечётких технологий**

**Лаборатория интегрированных информационных систем управления**

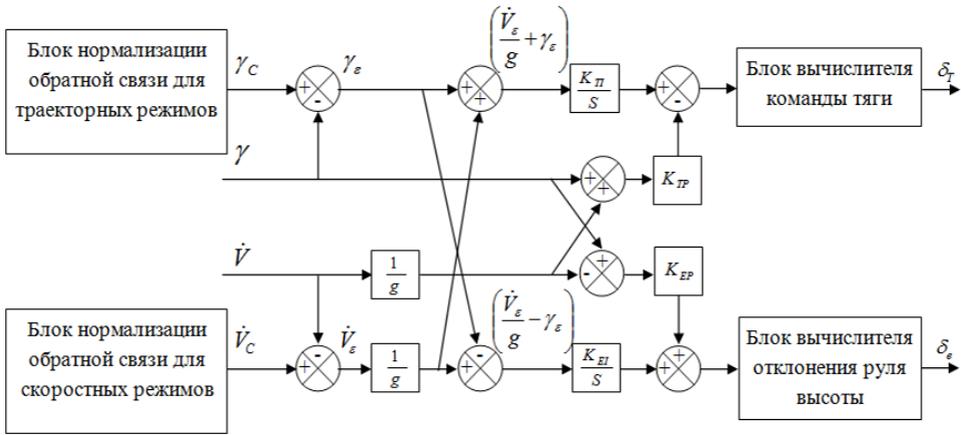
Научный руководитель **к.т.н. Котов К.Ю.**

*Синтез и исследование законов управления траекторным движением центра масс летательного аппарата на основе требуемых дифференциальных уравнений изменения регулируемых величин*

Разработано алгоритмическое и программное обеспечения для управления движением беспилотных летательных аппаратов самолетного типа по программной траектории.

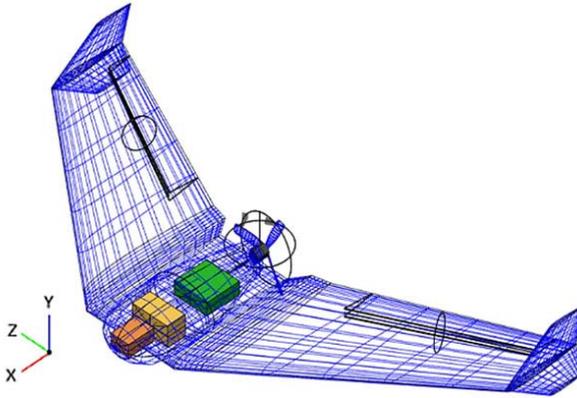
Рассмотрено создание системы управления продольным движением летательных аппаратов на основе принципа управления полной энергией [1]. Представлена структура системы управления, включающая не зависящее от летательных аппаратов ядро, а также переход к командам отклонения руля высоты и тяги, полученных на основе принципа инверсных моделей. Система управления реализована для моделей трех летательных аппаратов различной аэродинамической схемы. Исследование качества регулирования выполнено методом численного моделирования. Представлена схема ядра контроллера, реализующая законы управления (рис. 2.21).

Для исследований разработаны и реализованы средствами MATLAB/Simulink модели нескольких летательных аппаратов различной компоновки: F-16, Blended Wing Body, беспилотная летающая лаборатория.



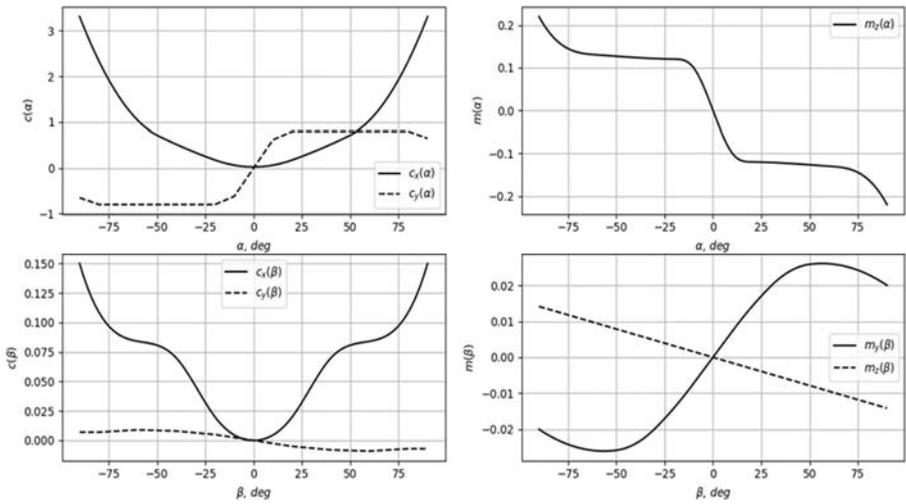
**Рис. 2.21.** Схема ядра контроллера управления полной энергией

Выполнена апробация метода управления полной энергией для малого летательного аппарата типа летающее крыло [2, 3]. Летательный аппарат сделан на базе набора радиоуправляемого самолета AR Wing Classic производства компании SonicModell RC Hobby Ltd, оснащенный бортовым радиоэлектронным оборудованием с соответствующим программным обеспечением для выполнения задач летных экспериментов. Геометрия используемого летательного аппарата реализована в приложении OpenVSP с учетом размещения бортового радиоэлектронного оборудования (рис. 2.22).

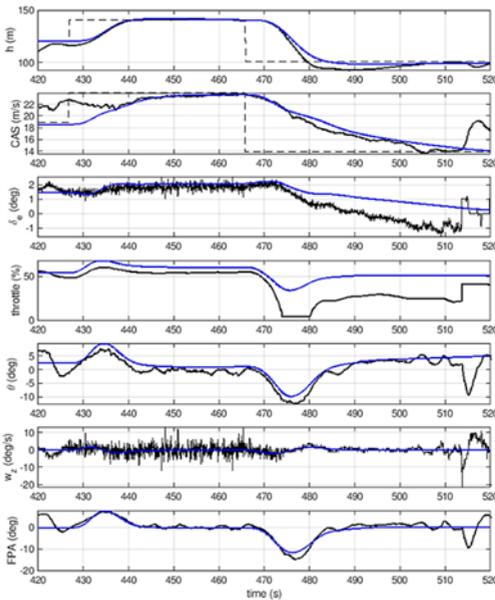


**Рис. 2.22.** Общий вид и компоновка летательного аппарата в OpenVSP

Зависимости безразмерных коэффициентов сил и моментов рассчитывались в VSPAERO для диапазона углов атаки от  $-90$  до  $+90$  градусов при нулевом угле рыскания и для углов рыскания  $-90$  до  $+90$  при нулевом угле атаки (рис. 2.23). Результаты реального полета практически полностью совпадают с результатами моделирования (рис. 2.24).



**Рис. 2.23.** Зависимость коэффициентов сил и моментов от углов атаки и скольжения

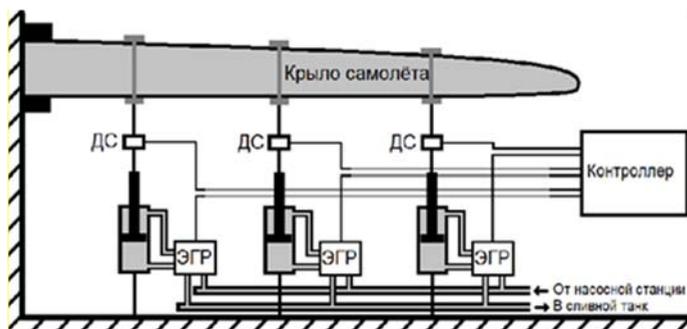


**Рис. 2.24.** Результаты летного эксперимента и моделирования

*Разработка и исследование математических моделей и адаптивных алгоритмов управления для стендов прочностных испытаний летательных аппаратов*

Рассматривается задача оценки параметров математической модели многоканального электрогидравлического стенда прочностных ис-

пытаний авиационных конструкций. Идентификация параметров математической модели стенда осуществляется путём проведения специального эксперимента, подавая пробный гармонический сигнал последовательно в каждый канал управления, и последующей обработки сигналов на входе и выходе стенда. На основе полученных экспериментальных данных осуществляется оценка матрицы, отражающей взаимовлияние каналов управления. Исследования были проведены на базе стенда прочностных испытаний полукрыла ТУ-154 (рис. 2.25). Данный стенд предназначен для формирования заданной циклограммы силового нагружения в точках приложения усилия.



**Рис. 2.25.** Функциональная схема системы управления прочностными испытаниями

В результате проведения экспериментов получена оценка для матрицы  $G$  трёхканальной системы управления стенда прочностных испытаний полукрыла самолёта ТУ-154. Оценка параметров матрицы  $G$  позволит в дальнейшем уточнить методику выбора параметров алгоритмов управления для стенда с учётом взаимосвязи каналов стенда [4].

*Развитие программно-аппаратных средств повышения функциональных возможностей перспективного измерительно-диагностического и технологического оборудования для контроля и синтеза элементов и устройств фотоники*

Разработан блок электроники регистрации края штрихов шириной до 1 мкм на базе Si-ФЭУ микросхемы, представляющей собой матрицу ячеек из лавинных фотодиодов. Фотоприёмный модуль для круговой измерительно-диагностической установки (КИДУ) был собран на основе Si-ФЭУ PM3347. Размер активной области –  $3 \times 3$  мм<sup>2</sup>, шаг ячеек – 47 мкм, количество ячеек – 4096, рекомендованное напряжение питания – 30–35 В.

Разработан автоматизированный программно-аппаратный комплекс, предназначенный для контроля точности изготовления и диагностики повреждений фотошаблонов и рабочих образцов оптических угломерных структур на основе псевдослучайных шкал (Var-код). Данные

элементы используются в отсчётных системах устройств гониометрического типа (оптоэлектронных датчиках угла поворота, поворотных столах, тахеометрах и т. д.). Впервые в РФ выполнен с неопределённостью  $\pm 0,5''$  метрологический контроль погрешности изготовления нерегулярных структур [5–9].

Разработаны модели и архитектура программного обеспечения сервисного типа на открытой программной платформе, ориентированных на применение в предприятиях и организациях малой или средней численности [10].

### Публикации:

1. Белоконь С.А., Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Мальцев А.С., Ян А.П. Управление продольным движением летательного аппарата на основе полной энергии // Автометрия. – 2023. – Т. 59, № 5. – С. 56–68. – DOI 10.15372/AUT20230506. – EDN CBPSFG.
2. Belokon S.A., Zolotukhin Y.N., Maltsev A.S. Total Energy Flight Speed and Altitude Control for a Small UAV: Simulation and Flight Experiment // 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE) (Novosibirsk, Russian Federation – 2023). – P. 1100–1103, DOI: 10.1109/APEIE59731.2023.10347892.
3. Пришляк Е.Е. Система управления движением беспилотных аппаратов по программной траектории. // Информационные технологии. Научный инжиниринг: Материалы 61-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, 17–26 апреля 2023). Proceedings of the 61th International scientific student conference. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2023. – С. 73. DOI 10.25205/978-5-4437-1437-0.
4. Trubin M.V., Yurkevich V.D. Estimation of the Mathematical Model Parameters for a Multi-channel Electro-hydraulic Strength Test Bench // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (June 29 – July 3, 2023). DOI: 10.1109/EDM58354.2023.10225085.
5. Кирьянов В.П., Гурин Н.А. Повышение дифракционной эффективности структур при прямой лазерной записи наклонными пучками: моделирование и эксперимент // Компьютерная оптика. – 2023. – Т. 47, № 2. – С. 235–245. – DOI 10.18287/2412-6179-CO-1161. – EDN QRGYPJ.
6. Кирьянов В.П., Кирьянов А.В. О возможности полного подавления составляющей погрешности измерений от неточности изготовления дифракционной измерительной решетки // Автометрия. – 2023. – Т. 59, № 3. – С. 12–18. DOI: 10.15372/AUT20230302.
7. Кирьянов В.П., Каракоцкий А.Г., Кирьянов А.В. Тестирование долговременной стабильности метрологических характеристик лазерного генератора изображений модели CLWS-300 // Там же. – № 5. – С. 100–106. DOI: 10.15372/AUT20230510.
8. Гурин Н.А., Лукин А.В., Мельников А.Н., Свистунова А.А. Опыт применения технологии прецизионного реплицирования для восстановления оптических деталей из брака при серийном производстве // Оптический журнал. – 2023. – Т. 90, № 7. – С. 107–115. – DOI 10.17586/1023-5086-2023-90-07-107-115. – EDN SPPZHO.
9. Кирьянов А.В. Эффективность использования метода компенсации для синтеза прецизионных углоизмерительных структур // Там же. – № 12. – С. 85–95. – DOI: 10.17586/1023-5086-2023-90-12-85-95.

10. Будников К.И., Сафенрейтер Д.А. Модель и реализация сервиса аттестации сотрудников малых и средних предприятий на открытой платформе // Автометрия. – 2023. – Т. 59, № 3. С. 93–100. DOI: 10.15372/AUT20230310.

**ПРОЕКТ: Развитие методов и технологий прецизионного гибридного послойного лазерного формообразования.**

**№ гос. рег. 121051700156-9**

Исполнители проекта:

**Лаборатория лазерной графики**

**Тематическая группа лазерной гравиметрии**

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

Разработка и создание экспериментального стенда для послойного локального нанесения программно-заданной 3D топологии жидких и пастообразных композиций с заданной проводимостью и вязкостью на различные подложки и их последующей гибридной лазерной обработки

На основе имеющейся в ЦКП ИАиЭ СО РАН приборной базы разработан экспериментальный стенд (ЭС) для формирования на различных подложках сложных трехмерных структур путем прямой печати жидкими и пастообразными композициями (проводящими и диэлектрическими) с последующей лазерной постобработкой (рис. 2.26).



**Рис. 2.26.** Внешний вид экспериментального стенда

ЭС предполагает одновременную работу с двумя типами диспенсеров, один из которых (электромеханический) предназначен для печати относительно грубых структур – подложки на материале, изолиру-

ющих слоев между проводниками, другой (пьезоэлектрический) – используется для печати тонких проводящих структур по сформированному диэлектрическому слою.

Для постобработки применены ИК и УФ лазерные диоды с согласующей оптикой.

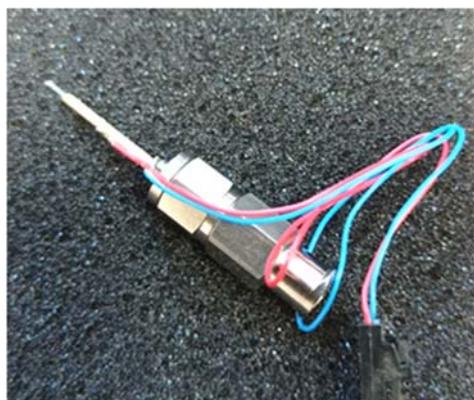
Управление ЭС осуществляется с помощью управляющей ПЭВМ и встроенного контроллера, формирующего сигналы управления на драйверы исполнительных механизмов, диспенсеров, двигателей и обеспечивающего прием данных с датчика фокуса и других датчиков ЭС.

Блок пневматики ЭС содержит набор клапанов для подачи газа, регуляторов давления газа, буферных емкостей.

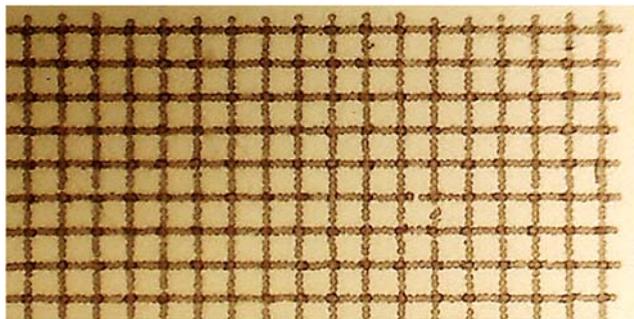
Для задач синтеза 3D структур, содержащих проводящие и диэлектрические компоненты, разработано специальное программное обеспечение (СПО), позволяющее осуществлять импорт исходных данных о формируемых объектах, их преобразование во внутренний формат представления, установку параметров формирования объектов и управление ЭС.

На фоне трудностей с получением импортных диспенсеров высокого разрешения разработана собственная технология изготовления пьезодиспенсера с диаметром сопла от 30 до 150 мкм, найдены параметры режимов управления изготовленного пьезодиспенсера, определен диапазон частоты выдачи капель для некоторых рабочих жидкостей, проведены эксперименты по выводу изготовленным диспенсером тестовых изображений. Частота капель 100–1000.

Образец пьезодиспенсера разработки ИАиЭ СО РАН и тестовая запись приведены на рис. 2.27 и 2.28.



**Рис. 2.27.** Образец пьезодиспенсера с диаметром сопла 30 мкм



**Рис. 2.28.** Тестовая запись при расстоянии от сопла диспенсера до поверхности 1 мм при печати вертикальных и горизонтальных линий. Шаг между линиями 0.5 мм

*Отработка технологии нанесения микропористых структур на различные подложки. Исследование методов неразрушающего контроля структур, полученных с помощью гибридного лазерного формообразования*

Эксперименты проведены на лазерном экспериментальном LS/SLM 3D принтере ИАиЭ СО РАН. Проведено исследование особенностей SLS/LSM технологии при нанесении на плоские поверхности капиллярно-пористых металлических покрытий с высокой теплопроводностью (медь, бронза) заданной формы и требуемыми характеристиками по пористости, с размерами пор в диапазоне 20–300 мкм на подложки из различных металлов.

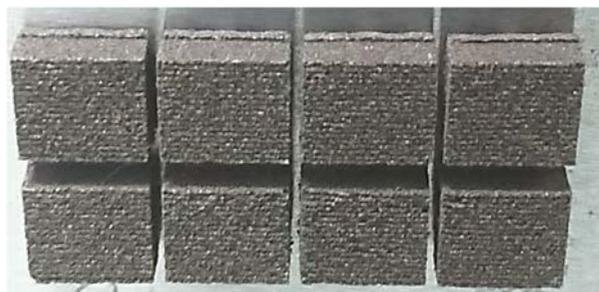
Для исследования методов и алгоритмических средств автоматизированного тепловизионного контроля процесса в камеру построения был интегрирован тепловизор Fluke RSE 600. Тепловизор регистрировал распределение температуры в зоне послойного синтеза. Для экспериментов деталь, на которую требовалось нанести слой порошка, встраивалась в специальную платформу построения так, чтобы поверхность детали и платформы построения образовывали единую поверхность.

При применении SLS/SLM технологии для нанесения покрытий исследовались два типа порошковых материалов высокой теплопроводности различной гранулярности. Первый тип – овализированный порошок меди, второй тип – порошок для аддитивных технологий ПР – БРХ, выпускающийся в ООО «Полема», г. Тула.

Адгезия порошка чистой меди (порошок № 1) к стальной поверхности оказалась очень слабой, и образцы легко отделялись от подложки.

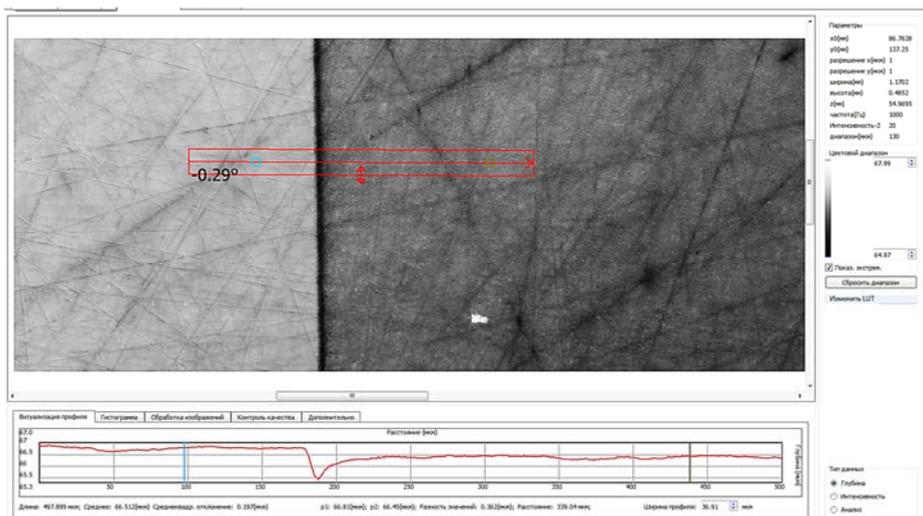
Для определения зависимости пористости от параметров обработки для материалов с хорошей адгезией, но также с высокой теплопроводностью проведены тестовые записи с порошком № 2 на подложку из нержавеющей стали (рис. 2.29).

*Разработка методов наноструктурной модификации и микропрофилирования поверхности образцов из инструментальных сталей, предварительно подвергнутых термической обработке*



**Рис. 2.29.** Вид тестовых образцов на подложке из нержавеющей стали

Проведены эксперименты по определению технологических режимов лазерной поверхностной фемтосекундной микрообработки металлических образцов – поверхностного упрочнения, уменьшения шероховатости, микроперфорации. Найдены режимы увеличения поверхностной микротвёрдости для закаленных заготовок из инструментальных сталей. На рисунке 2.30 представлены профилограммы поверхности образцов после лазерной микрообработки.



**Рис. 2.30.** Фотография и профилограмма поверхности образца после лазерной микрообработки (экспозиция 20 Дж см<sup>2</sup>, глубина гравирования 0.4 мкм)

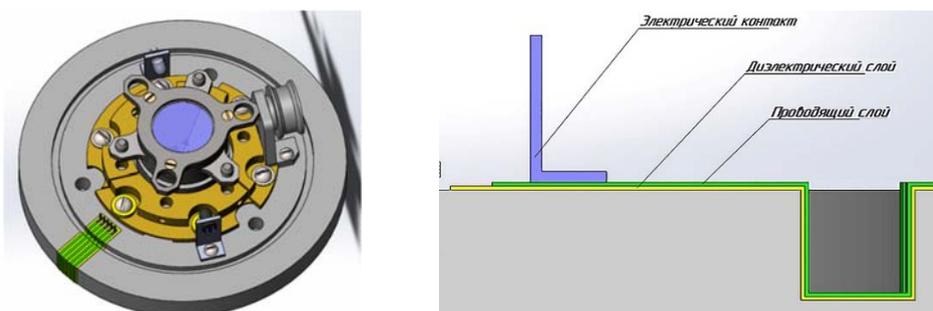
Для исследования характеристик стальных образцов с поверхностной закалкой после фемтосекундной микрообработки проведены эксперименты по шлифовке и упрочнению методом фемтосекундной лазерной абляции.

Определено, что лазерная полировка фемтосекундным излучением не улучшает качество поверхности, но режимы лазерного упрочнения, найденные экспериментально, позволяют дополнительно увеличить модуль упругости на 25–30 % а твердость почти – в 2 раза.

Проведенные исследования показали перспективность методов фемтосекундной лазерной микрообработки поверхности стальных изделий из материалов, применяющихся в российской промышленности, как для увеличения твердости покрытия, так и для обеспечения возможности получения перфорированной поверхности без выбросов расплавленного металла.

*Исследование методов усовершенствования системы доставки падающего тела в стартовое положение с помощью датчиков положения, изготовленных методом гибридного формообразования*

Проведено исследование методов для усовершенствования системы доставки свободно падающего тела (СПТ) в стартовое положение с помощью датчика положения в абсолютных гравиметрах типа ГАБЛ/ГБЛ. Во время движения лифта к стартовому положению СПТ может происходить потеря некоторого количества шагов, связанная, предположительно, с увеличением сил трения механизма системы доставки, а также небольшие сбои в генерации управляющих сигналов микроконтроллера. Решить описанную проблему позволяет установка датчика положения на верхнем фланце блока направляющих в вакуумной камере. В процессе реализации описанного метода возникла задача организовать питание и снять сигнал с датчика положения СПТ. Использование стандартных вакуумных электрических вводов оказалось невозможным. Методом гибридного формообразования на верхнем фланце блока направляющих были нанесены диэлектрический и проводящий слои, как показано на рис. 2.31.



**Рис. 2.31.** Диэлектрический и проводящий слои, нанесенные методом гибридного формообразования

Монтаж электрических контактов произведен с помощью ультразвуковой микросварки. Во избежание случайных коротких замыканий между проводящими дорожками наносится еще один диэлектрический слой.

*Продолжение мониторинга гравитационного поля Земли в сейсмоактивных зонах и гравиметрических измерений плотности и вертикальных движений земной коры в платформенных областях*

Результаты наземных измерений в районах Горного Алтая, полученные методами абсолютной гравиметрии и космической геодезии, рассматривались совместно с моделью геопотенциала EIGEN-6C4 (модель рельефа ETOPO1), построенной по спутниковым данным. Анализируются различные виды данных: модельные величины вертикальной составляющей силы тяжести, значения силы тяжести в редукциях Буге, Фая, вариации вертикального градиента силы тяжести и изменения высот пунктов. С использованием модели EIGEN-6C4 в редукции Буге построен график мощности земной коры по линии Новосибирск (юг Западной Сибири) – плато Укок (Горный Алтай) длиной 800 км. Глубина границы Мохоровичича увеличивается от 40 км на северо-западе территории до 51 км на юго-востоке. Для модели однородной коры получено распределение глубин по поверхности Мохоровичича в Горном Алтае и его предгорьях. Анализируя результаты построений в редукциях Буге и Фая, данные о высотах квазигеоида и соотношении высоты рельефа и аномалий Буге, следует сделать вывод, что в целом территория Горного Алтая изостатически скомпенсирована.

Скорости современных движений являются важным фактором современной геодинамики Байкальской рифтовой системы. Сложным остается вопрос отражения сильных землетрясений в экспериментальных значениях смещений, а также вопрос о современных вертикальных движениях.

**Публикации:**

1. Sinyakov A.N., Bessmeltsev V.P., Kostina E.V., Zaytsev D.E., Chukanov N.V., Kamaev G.N. New photoacids in microarray synthesis of oligonucleotides // King Saud University Journal of Saudi Chemical Society. – 2023. – V. 27, Is. 6, 101709. – P. 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2023.101709> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319610323001138>
2. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Голдобин Д.Н., Тимофеев А.В., Носов Д.А., Сизиков И.С., Стусь Ю.Ф., Калиш Е.Н. Глубинное строение Горного Алтая и современные модели гравитационного поля // Геодинамика и тектонофизика. – 2023. – Т. 14, № 1. – DOI 10.5800/GT-2023-14-1-0681. – EDN YEKTIE.
3. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Носов Д.А., Сизиков И.С. Измерение современных движений на станции «Талая» (юго-западная часть Байкальского рифта) // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2023. – Т. 28, № 4. – С. 59–70. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-4-59-70. – EDN IOSQEK.
4. Korolov V., Bessmeltsev V., Dostovalov A., Babin S. Precision Laser Technologies for Optical Instrumentation // The 30th International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT 2023) 17-21 September 2023. – LM-I-20.

5. Баев С.Г., Бессмельцев В.П., Голошевский Н.В., Катасонов Д.Н. Особенности высококачественного формообразования при скоростной микрообработке ультракороткими лазерными импульсами // Интерэкспо Гео-Сибирь. XIX Международный научный конгресс. Т. 8 «Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей», Новосибирск, 17–19 мая 2023 г. – 2023. – Т. 8, № 1. – С. 3-9. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-1-3-9. – EDN ITMMAJ.

**ПРОЕКТ: Разработка наноэлектромеханических структур на основе сегнетоэлектрических пленок.**

**№ гос. рег. 121052500063-9**

Исполнители проекта:

**Лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур**

Научный руководитель **к.ф.-м.н. Соколов А.А.**

*Исследование двумерных электромеханических волн в структурах металл – сегнетоэлектрик – нанозазор – подвижный электрод*

Показано, что в системе «подвижный электрод – нанометровый зазор – тонкая кристаллическая пленка материала с большим значением диэлектрической проницаемости – неподвижный электрод» возникают двумерные электромеханические волны [1, 2]. Возникновение таких возбуждений ограничивает предельную удельную мощность электромеханических преобразователей – актуаторов, МЭМС двигателей и генераторов. С другой стороны, это явление открывает широкие возможности применения подобных структур.

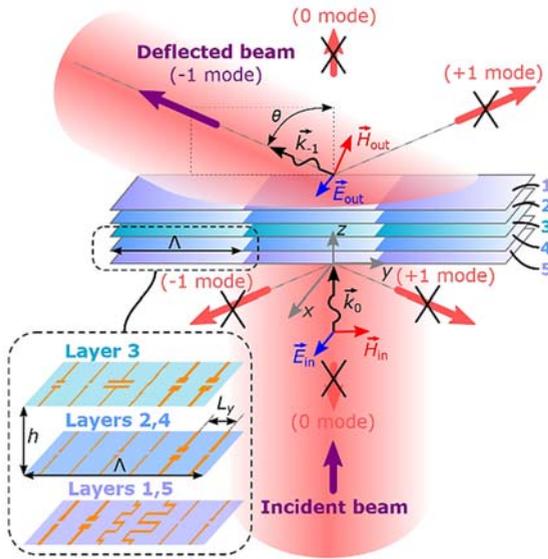
*Исследование особенностей пироэлектрического отклика структур металл – ниобат бария-стронция – электрод – подложка для электродов с различной адгезией*

Для пленок Strontium-Barium Niobate –  $Sr_xBa_{1-x}Nb_2O_6$  (SBN), выращенных ВЧ напылением на слое оксида индия-олова (indium–tin-oxide – ИТО) и платины на кремниевой подложке, обнаружен исключительно высокий пироэлектрический отклик некоторых из исследованных пленок [3–5]. Предложено объяснение наблюдаемому явлению: возникновение подвижных элементов в системе «подложка – нижний электрод – сегнетоэлектрик – верхний электрод». Как пример, отрыв верхнего электрода от сегнетоэлектрика или отрыв нижнего электрода от подложки.

*Создание и исследование метаповерхностей для использования в МЭМС в качестве оптических устройств, таких как высокоэффективные дефлекторы, дифракционные элементы и др.*

Созданы и исследованы конструкции метаматериалов, работающих в субтерагерцовом спектральном диапазоне [6–8]. На рис. 2.32

представлена метаповерхность для аномального преломления, состоящая из пяти пространственно-модулированных импедансных листов.



**Рис. 2.32.** Концепция предлагаемой метаповерхности для аномального преломления, состоящей из пяти пространственно-модулированных импедансных листов (алюминиевых шаблонов), разделенных полимерными пленками толщиной  $h$ . На вставке показаны три из пяти уникальных узоров

Предположительно, механические методы изменения спектральных характеристик метаповерхностей посредством совмещения с МЭМС откроют широкий спектр применения в различных отраслях от сенсоров до активных квазиоптических фильтров в системах субмиллиметровой беспроводной связи, радиоастрономии, газовых сенсорах и системах визуализации.

#### Публикации:

1. Соколов А.А., Иванов С.Д. Двумерные электромеханические волны в МЭМС структурах с нанозором // Автометрия. – 2023. – Т. 59, № 3. – С. 19–23. DOI: 10.15372/AUT20230303.
2. Соколов А.А. Электромеханические волны в структурах с нанозором // Сборник тезисов III Международной конференции, посвященной 60-летию ИФТТ РАН «Физика конденсированных состояний» ФКС-2023 (Черноголовка, 29 мая – 2 июня 2023). С. 304. DOI: 10.26201/ISSP.2023/FKS-3.301.
3. Пугачев А.М., Соколов А.А. Механические элементы в пироэлектрических приёмниках излучения // Сборник материалов «Национальной конференции с международным участием «СибОптика-2023»» (г. Новосибирск, 16 мая 2023). С. 51–55. DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-2-51-55.
4. Пугачев А.М., Соколов А.А. Эволюция дипольного момента в кристаллах и пленках ниобата бария стронция // XXIII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС-XXIII) (г. Тверь, 3–6 октября 2023 г.) – С. 131 <https://tversu.ru/vks23> (РНФ 23-22-00205)
5. Пугачев А.М., Соколов А.А. Излучение в структурах «металл-нанометровый зазор-сегнетоэлектрик» при нагреве // Там же – С. 136. <https://tversu.ru/vks23>

6. Tumashov M.A., Baena J.D., Del Risco J.P., Lazorskiy P.A., Glybovski S.B., Kuznetsov S.A. Angle-Dependent Metasurface for Nonspectroscopic THz Sensing of Submicron Films // IEEE Sensors Journal. – 2023. – V. 23(22). – P. 27262–27272. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3319955>
7. Kuznetsov S., Tumashov M., Killamsetty V.K., Lazorskiy P., Epstein A., Glyboski S. Efficient Anomalous Refraction of THz Beams with a Multilayer Metal-Polymer Huygens' Metasurface// IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. – 2023. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10316608>
8. Nikolaev N., Rybak A., Kuznetsov S. Improving the technique of terahertz time-domain spectroscopy by means of anti-aliasing filtration and undersampling // Proc. SPIE 12776, Infrared, Millimeter-Wave, and Terahertz Technologies X, 127760G (26 November 2023); <https://doi.org/10.1117/12.2687656>

**ПРОЕКТ: Физические основы работы распределенных волоконно-оптических сенсорных систем для измерения физических величин. № гос. рег. 122031600174-5.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория оптических сенсорных систем**

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

*Применение узкополосных источников лазерного излучения для задач спектроскопии газов*

Продемонстрирована возможность генерации ТГц-излучения и измерения спектров пропускания газов с использованием эрбиевого волоконного лазера с самосканированием линии генерации (ССЛГ) [1]. В первых экспериментах диапазон перестройки эрбиевого лазера (и соответственно диапазон измерения спектра пропускания в терагерцовом диапазоне) составил всего несколько ГГц. В последующих экспериментах проводилась оптимизация эрбиевого лазера, благодаря чему диапазон перестройки ССЛГ увеличен до ~300 ГГц. [2, 3].

*Применение подходов частотной рефлектометрии для распределенного измерения параметров газовых сред*

Предложена и реализована методика для измерения интегрального по длине спектра пропускания газа с использованием подходов когерентной оптической частотной рефлектометрии. Эта методика была применена для измерений пропускания паров воды в атмосферном воздухе. Полученные данные демонстрируют хорошее качественное согласие с расчетными данными для линий поглощения воды в воздухе базы HITRAN. Максимальная дальность измерения (12.5 м) была ограничена шагом перестройки пробного лазера. Кроме того, предложен метод до-

стижения измерения продольного распределения поглощения с пространственным разрешением  $\sim 10$  см при использовании набора слабых отражателей [4].

*Применение подходов частотной рефлектометрии для распределенных динамических измерений физических параметров оптических элементов*

Показано, что в когерентном оптическом частотном рефлектометре отношение сигнал-шум может быть увеличено на 15 дБ за счет применения оптического усилителя на выходе оптической схемы рефлектометра. Кроме того, показано, что использование самосканирующего лазера с непрерывной динамикой интенсивности также позволяет улучшить отношение сигнал-шум (на 25 дБ) за счет увеличения времени усреднения на каждой оптической частоте. В последнем случае был использован эрбиевый лазер с ССЛГ с небольшим диапазоном сканирования (40–50 пм), с помощью которого была продемонстрирована возможность проведения распределенных измерений с пространственным разрешением 2 см в волоконной линии длиной 5.35 м за время около 1 с, что ограничивает применимость метода для регистрации быстрых динамических процессов [5–9].

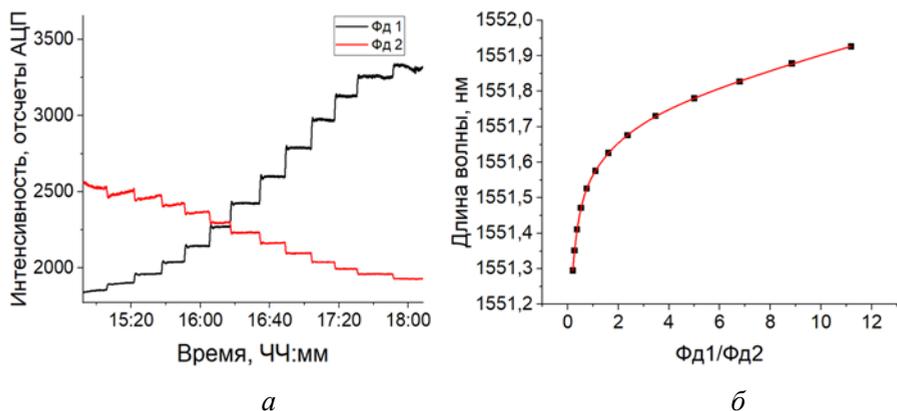
*Разработка оптических схем устройств опроса волоконно-оптических датчиков на основе элементов волоконной и интегральной оптики*

Разработан макет устройства опроса волоконных брэгговских решеток (ВБР) для фотонно-интегральной схемы на основе упорядоченной волноводной решетки (УВР) с перекрестными каналами. Для измерения длины волны отражения ВБР использовалось отношение двух сигналов от фотодетекторов подключенных к соседним каналам УВР.

На рис. 2.33, а показано изменение сигналов на двух смежных фотодетекторах (Фд 1, Фд 2) при ступенчатой перестройке температуры ВБР. При этом ВБР освещалась широкополосным источником излучения, а на УВР поступал отраженный сигнал. На рис. 2.33, б приведена зависимость длины волны ВБР от измеренного отношения сигналов с фотодетекторов (Фд 1/Фд 2). На основании этой калибровочной зависимости оценена погрешность измерения длины волны ( $\sim 65$  пм). Кроме того, в работе обсуждаются подходы по уменьшению погрешности измерения длины волны до 25 пм [10–11].

**Публикации:**

1. Poddubrovskii N.R., Lobach I.A., Nikolaev N.A., Kablukov S.I. Generation of tunable THz-radiation with self-sweeping Er-doped fiber laser // In «Infrared, Millimeter-Wave, and Terahertz Technologies IX», Proc. SPIE, C. Zhang; X.-C. Zhang & M. Tani (Eds.), 12324, 123240F (2022) DOI: 10.1117/12.2641925.



**Рис. 2.33.** *а* – сигналы с фотодетекторов Фд 1 и Фд 2 на ФИС при нагреве ВБР с шагом 5° С; *б* – связь между длиной волны ВБР и отношением сигналов Фд 1 и Фд 2

2. Kashirina E.K., Lobach I.A., Kablukov S.I. Single-Frequency Continuous-Wave Self-Sweeping Fiber Laser Based on Separated Gain and Absorption Dynamics Gratings // *Photonics*. – 2023. – V. 10(7). – P. 843. <https://doi.org/10.3390/photonics10070843>.
3. Каширина Е.К., Лобач И.А. и Каблуков С.И. Самосканирующий одночастотный волоконный лазер с разделением влияния динамических решеток усиления и поглощения // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике». – 2023. – 6. С. 215–216. DOI: 10.24412/2308-6920-2023-6-215-216.
4. Budarnykh A.E., Lobach I.A., Kablukov S.I. Optical Frequency Domain Reflectometer for Spatial-Resolved Gas Sensing (Conference Paper) // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) – 2023. – V. 2023-June, 2023. P. 930–933. DOI: 10.1109/EDM58354.2023.10225167.
5. Poddubrovskii N.R., Lobach I.A., Kablukov S.I. Signal Processing in Optical Frequency Domain Reflectometry Systems Based on Self-Sweeping Fiber Laser with Continuous-Wave Intensity Dynamics // *Algorithms* – 2023. – V. 16(5). – P. 260. DOI: 10.3390/a16050260.
6. Poddubrovskii, N.R., Lobach, I.A., Kablukov, S.I. Optimization of Noise Floor Level in an Optical Frequency Domain Reflectometer Based on a Self-Sweeping Fiber Laser (Conference Paper) // 24th IEEE International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials. – 2023. – V. 2023-June, 2023. – P. 890–894. DOI: 10.1109/EDM58354.2023.10225015.
7. Ткаченко А.Ю., Лобач И.А., Каблуков С.И. Когерентная оптическая частотная рефлектометрия на основе волоконного самосканирующего лазера: текущее состояние и перспективы развития (обзор) // *Приборы и техника эксперимента*. – 2023. – № 5. – С. 24–31. DOI: 10.31857/S0032816223050257.
8. Ткаченко А.Ю., Лобач И.А. и Каблуков С.И. Оптический частотный рефлектометр на основе самосканирующего волоконного лазера для измерения рассеяния Релея // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике». – 2023. – № 6. – С. 280–281. – DOI: 10.24412/2308-6920-2023-6-280-281.
9. Поддубровский Н.Р., Лобач И.А. и Каблуков С.И. Когерентный оптический частотный рефлектометр на основе эрбиевого самосканирующего лазера с непрерывной

динамикой интенсивности // Там же. С. 460–461. – DOI: 10.24412/2308-6920-2023-6-460-461.

10. Gaskov M.P., Salgaeva U.O., Kondakov A.A., Lobach I.A. AWG-Based Interrogator for FBG Sensors// 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) – 2023. – V. 2023-June, 2023. P. 910–914. DOI 10.1109/EDM58354.2023.10225072.
11. Гаськов М.П., Кондаков А.А., Салгаева У.О., Лобач И.А. Устройство опроса волоконных брэгговских решеток с использованием фотонно-интегральной схемы на основе упорядоченной волноводной решетки с перекрестными каналами // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике». – 2023. – № 6. – С. 133–134. DOI: 10.24412/2308-6920-2023-6-133-134.

**ПРОЕКТ: Разработка теоретических основ, методов, языковых и инструментальных средств для использования в автоматизированных системах управления, построенных по технологии промышленного Интернета вещей**

№ гос.рег. 122031600173-8

Исполнители проекта:

**Лаборатория киберфизических систем**

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

*Разработка базовых процесс-ориентированных подходов к спецификации программного обеспечения распределенных автоматизированных систем управления*

Проведен углубленный анализ подходов к построению промышленных распределенных систем управления на основе CAN-шины, функциональных блоков IEC 61499 и методов обеспечения детерминизма поведения [1]. Показано что в силу специфики управляющего ПО киберфизических систем, в частности наличия реактивного взаимодействия с окружающей средой, разработанные классические алгоритмы лишь частично применимы к задачам создания распределенных систем автоматизации [2]. Известные работы для случая киберфизических систем (Э. Ли и др.) носят паллиативный характер и концентрируются вокруг вопросов обнаружения случаев недетерминистического поведения в параллельных программах и разработки алгоритмов разрешения конфликтов. Такой подход связан со значительной сложностью анализа и дополнительными накладными расходами на синхронизацию доступа. Предложены алгоритм детерминированной проекции централизованной процесс-ориентированной спецификации на распределенную систему управления [3]. В качестве основной идеи разбиения была использована идея отобразить процесс-ориентированный алгоритм на распре-

деленную архитектуру, реализующую последовательное исполнение алгоритма, как это предполагается семантикой процесс-ориентированного языка.

В соответствии с этой схемой исполнение процесс-ориентированного алгоритма происходит циклически с сохранением последовательности «считывание входных сигналов – активация процессов – запись выходных сигналов». Считывание входных сигналов производится параллельно, затем производится цикл междуузловой синхронизации считанных значений. После цикла синхронизации активируются процессы на первом узле-вычислителе. По окончании вычислений производится передача управляющих (межпроцессных) сигналов и расчетных значений выходных сигналов узлам-«стейкхолдерам»; по окончании цикла синхронизации производится передача управления второму (в общем случае – следующему) узлу-вычислителю. После последовательного исполнения алгоритма на всех узлах-вычислителях распределенной системы управления последний микропроцессорный узел инициирует параллельную запись выходных сигналов и переход к следующему циклу.

В дополнение был предложен эвристический алгоритм распределения процессов по кластерам, исключая необходимость межкластерной синхронизации [4]. Эвристический алгоритм предполагает разбиение исходного множества процессов на подмножества-кластеры в соответствии со следующими требованиями: а) два процесса, использующие одну и ту же переменную, должны находиться в одном кластере; б) два процесса, использующие один и тот же процесс, должны находиться в одном кластере; в) процессы, образующие цикл относительно отношения использования, должны находиться в одном кластере.

Предложенный подход исследован на модельных задачах. Анализ результатов показал, что степень возможного разбиения может быть повышена, если исключить формальные связи по доступу, который происходит в разные и непересекающиеся интервалы времени, т. е. фактически не приводят к недетерминизму.

Проведены нижеописанные исследования по развитию процесс-ориентированной технологии программирования киберфизических систем, создающие задел для выполнения последующих этапов проекта.

В рамках развития методов создания компьютерных моделей объекта управления исследован вопрос эффективности численного метода интегрирования применительно к жестким задачам высокой размерности в системе SimInTech [5]. Показано, что наиболее эффективными при решении задач рассмотренного класса являются диагонально-невяные методы интегрирования типа Рунге-Кутта – DIRK2 и DIRK4.

Разработан симулятор программируемого логического контроллера (ПЛК) с использованием интерпретатора Python и транслятора с

процесс-ориентированного языка `roST` в Python [6]. Предложены механизмы интегрирования виртуального ПЛК в веб-приложение для использования в проектах широкого класса, например, для создания виртуального лабораторного практикума по дисциплине «Процесс-ориентированное программирование».

Предложен подход, который расширяет базовую функциональность однопользовательских приложений на основе стека технологий Eclipse Theia режимом групповой разработки [7]. Подход предполагает контейнеризацию отдельного проекта средствами пакета Docker, сохранение контекста в браузере посредством фреймворка Flask и механизма cookie, список пользователей и проектов хранится в БД SQLite, предусмотрена конвенциональная аутентификация пользователей через Google-аккаунт. Подход практически апробирован на задаче создания прототипа облачного IDE для процесс-ориентированного языка Reflex.

Разработка семантик процесс-ориентированных языков на основе атрибутных систем и развитие методов верификации процесс-ориентированных программ

Модифицирован язык темпоральных требований DV-TRL [8, 9] – вариант типизированной логики предикатов первого порядка с набором интерпретированных типов и предикатных и функциональных символов, предназначенный для формального описания требований к процесс-ориентированным программам и порождаемых при дедуктивной верификации условий корректности – за счет определения улучшенного набора типов и символов, а также адаптации этого языка к процесс-ориентированному языку `roST`. Модифицированный язык включает простые типы `bool`, `int`, `real`, `nat`, `variable`, `process` и `pstate`, а также тип данных `ustate` (`update state`), хранящий историю всех изменений значений переменных (как обычных программных переменных, так и метапеременных, специфицирующих состояние `roST`-программы).

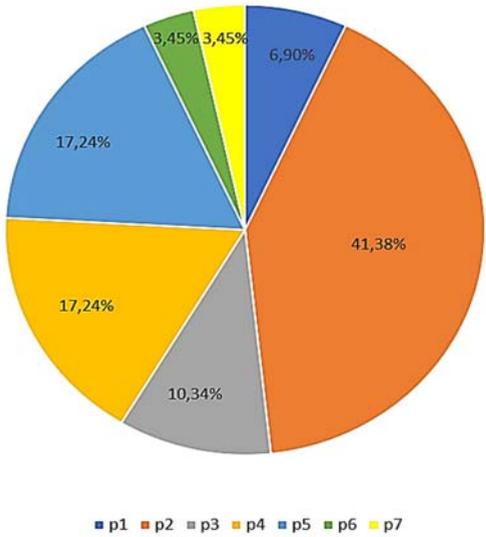
Разработана аксиоматическая семантика языка `roST` [10, 11] на основе модифицированного языка DV-TRL. Особенности этой семантики по сравнению с ранее разработанной семантикой языка Reflex являются модифицированное определение состояния изменений и возможность работы с массивами и циклами. Генератор теорий аннотированных программ на целевом языке программирования – это новое понятие, которое является обобщением понятия генератора условий корректности аннотированных программ. Генератор теорий порождает теорию, которая включает теоремы для условий корректности, определения функций и типов данных, используемых в этих условиях корректности, вспомогательные леммы и теоремы, используемые при доказа-

тельстве условий корректности и доказательстве корректности введенных определений функций и типов, стратегии доказательства входящих в теорию лемм и теорем.

На базе разработанной аксиоматической семантики разработан и реализован генератор теорий аннотированных роST-программ [12], основанный на уточненной семантике сильнейшего постуловия. Он порождает теорию, включающую (помимо теорем для условий корректности) определения и свойства типов данных и функциональных и предикатных символов языка DV-TRL, вспомогательные леммы и теоремы, используемые при доказательстве условий корректности, стратегии доказательства входящих в теорию лемм и теорем.

Разработана коллекция [13] из 29 требований к программам на языке роST, управляющим пятью устройствами (турникетом, светофором на пешеходном переходе, вращающимися дверьми, холодильником и термопотом). Для доказательства условий корректности, порождаемых из аннотированных роST-программ с аннотациями, заданными на языке DV-TRL, используется система интерактивного доказательства теорем Isabelle/HOL. Было замечено, что разные классы требований на языке DV-TRL требуют применения разных схем доказательств.

В качестве бенчмарка использована разработанная коллекция требований к роST-программам. Эксперименты показали, что требования к этим программам укладываются в данный набор шаблонов. Построены таблицы и диаграммы распределения (рис. 2.34) этих требований по шаблонам [13].



**Рис. 2.34.** Диаграмма распределения требований коллекции по шаблонам

Разработана логическая формализация роST-программ [14, 15] в системе Isabelle/HOL с целью дедуктивного доказательства свойств таких программ в рамках этой системы. Разработан и реализован генератор логических моделей роST-программ [16] в системе Isabelle/HOL, основанный на этой формализации. Определен и доказан в системе Isabelle/HOL ряд свойств формализации в целом и отдельных роST-программ в частности.

*Разработка синтаксиса и семантики средств аннотации формальных требований к управляющим программам для логических контроллеров для использования в целях верификации методом проверки моделей*

Предложен контролируемый естественный язык (CNL) TEMPOR [17], основанный на событийно-ориентированной семантике. Язык TEMPOR предназначен для описания темпоральных свойств киберфизических систем и использует шаблоны естественного языка, созданные для классов требований, выраженных в формализме событийно-ориентированной темпоральной логики (EDTL). Благодаря формальной семантике EDTL TEMPOR также однозначен и может быть переведен в логические формулы.

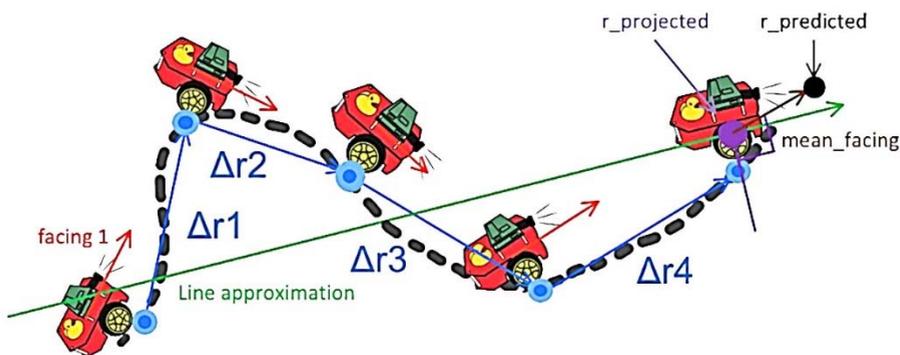
В результате TEMPOR предоставляет вспомогательный инструмент для улучшения качества связи между различными участниками процесса разработки промышленной системы: заказчиками, инженерами по требованиям, разработчиками и другими. Таким образом, наше решение помогает снизить количество ошибок при формулировании требований на более ранних этапах разработки.

Создан прототип интегрированной среды разработки (IDE) языка TEMPOR [18]. Для программирования распознавания языка TEMPOR и разработки IDE использован набор инструментов Xtext. Описана грамматика языка в формате Xtext (расширенный EBNF), и представлены возможные случаи темпоральных формул, выявленные в результате проведенной ранее классификации. В итоге получено большое грамматическое правило примерно с 60 вариантами. Показано, что варианты имеют однозначную интерпретацию.

*Апробация разработанных архитектур на модельных и практических задачах технического зрения в объектах промышленного Интернета вещей*

Проведено эмпирическое исследование разработанных ранее архитектур на модельных и практических задачах технического зрения на прототипе визуальной системы мониторинга парком погрузки автоматизированных управляемых машин. Прототипирование велось на базе роботов Duckiebot (duckietown.com) [19]. Разработанный программный комплекс имеет клиент-серверную архитектуру, в которой в качестве

клиента используются оснащенные камерами контроллеры RaspberryPi. Связь в системе реализована по WiFi. Разработанное ПО позволяет определять координаты робота и направление движения. Траектория движения строится по массиву координат и отображается для дополнительного визуального контроля. Для оценки траектории использовался алгоритм, основанный на упрощенном варианте фильтра Калмана (рис. 2.35).



**Рис. 2.35.** Демонстрация работы алгоритма предсказания траектории прямолинейного движения

Проведена отработка вычислительных алгоритмов на симуляторах.

Проведены исследования по развитию технологии обеспечения безопасности систем промышленного Интернета вещей, создающие задел для выполнения последующих этапов проекта.

Для проведения тестовых исследований по разработанным алгоритмам НТТР-фильтрации в системах Промышленного Интернета вещей [20–22] был собран прототип устройства фильтрации: процессор Intel Core i3-5010U 2,1Ghz, 2 ядра, 8Гбайт ОЗУ, 4 порта GbE Intel I210-T1.

Проведены тестовые исследования НТТР-фильтров в форме стендовых испытаний для определения рабочих и предельных характеристик, а также для проведения сравнительного анализа устройств на промышленной платформе Gridex-I и Gridex-II.

Определены зависимости времени ожидания ответа web-сервера в секундах от интенсивности посылаемых запросов в секунду. Выявлено, что при обмене короткими сообщениями загрузка канала связи между клиентом и web-сервером не превышает 454 Мбит/с при отсутствии фильтрующего устройства на линии. Это связано с тем, что во

время сеанса связи обмен идет короткими сообщениями, между которыми возникают паузы. Если на линии присутствует фильтрующее устройство, то трафик достигает 240 Мбит/с при стандартном режиме работы фильтра и 338 Мбит/с в режиме пост-анализа при установке в паре с программируемым коммутатором MicroTik. Это составляет 52.9 и 74.4 % от максимального значения.

Экспериментально показано, что в зависимости от размера ответа от web-сервера со стандартным алгоритмом устройство фильтрации на линейном участке графика уменьшает скорость обмена информацией на линии связи на 15–47 %. При использовании улучшенного алгоритма – на величину от 7 до 25 %. Также при использовании улучшенного алгоритма и его аппаратной поддержки уменьшается время ожидания ответа от Web-сервера до 2.2 раз, а пропускная способность увеличивается до 1.4 раз.

#### **Публикации:**

1. Zyubin V.E., Garanina N.O., Anureev I.S., Staroletov S.M. Towards Topology-Free Programming for Cyber-Physical Systems with Process-Oriented Paradigm // *Sensors*. – 2023. – V. 23. – P.6216. <https://doi.org/10.3390/s23136216>.
2. Permishkin D.A. Towards Conflict Resolution Methods in Process-Oriented Programs // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), Novosibirsk, Russian Federation. – 2023. – P. 1790–1793, doi: 10.1109/EDM58354.2023.10225109.
3. Зюбин В.Е. Реализация распределенной системы управления с сохранением семантики гиперпроцесса // Сборник трудов Российской конференции с международным участием «Распределенные информационно-вычислительные ресурсы (DICR-2022)» (г. Новосибирск, 5–8 декабря 2022). С. 91–97. DOI: 10.25743/DIR.2022.51.99.016.
4. Zyubin V.E., Ivanishkin D.S., Anureev I.S. Towards Process-Oriented Programming Distributed Control Systems // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Novosibirsk, Russian Federation). – 2023. – P. 1840–1843, doi: 10.1109/EDM58354.2023.10225024.
5. Timofeev K.A., Shornikov Y.V., Achitayev A.A. Comparison of Numerical Methods for Stiff Problems in SimInTech // Там же. – P. 1730–1733, doi: 10.1109/EDM58354.2023.10225240.
6. Zyubin V., Maseevsky A. Developing Cloud PLC for poST-Specified Software // 2023 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE, 2023. – P. 477–481, doi: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272742.
7. Gornev I.A., Bondarchuk V.V. Towards Collaborative Coding in RIDE Web IDE // 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE) (Novosibirsk, Russian Federation). – 2023. – P. 970–974, doi: 10.1109/APEIE59731.2023.10347731.
8. Chernenko I.M. Requirements patterns in deductive verification of process-oriented programs and examples of their use // *Системная информатика*, 2023. No. 22. doi: 10.31144/si.2307-6410.2023.n22.p11-20.
9. Черненко И.М., Ануреев И.С., Гаранина Н.О. Использование шаблонов требований в дедуктивной верификации poST-программ // *Моделирование и анализ информационных систем*, 2024. Т. 31, № 1 (принято в печать).

10. Черненко И.М. Аксиоматическая семантика таймаутов в процесс-ориентированном языке роST // Тезисы международной научной студенческой конференции (МНСК-2023). НГУ, 2023. С. 220–221.
11. Черненко И.М. Аксиоматическая семантика операторов управления процессами процесс-ориентированного языка роST // Сборник материалов X международной научной конференции «Математическое и компьютерное моделирование». Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2023. С. 258–260.
12. Chernenko I.M., Anureev I.S. Development of Verification Condition Generator for Process-Oriented Programs in PoST Language // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Novosibirsk, Russian Federation, 2023). – P. 1760–1765, doi: 10.1109/EDM58354.2023.10225217.
13. Классификация требований к роST-программам.  
[https://github.com/ivchernenko/extended\\_requirements\\_classification](https://github.com/ivchernenko/extended_requirements_classification).
14. Ishchenko A.D., Anureev I.S., Staroletov S.M., Garanina N.O., Zyubin V.E. Formalization of Process-oriented Programs in poST Using Isabelle/HOL // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Novosibirsk, Russian Federation). – 2023. – P. 1810–1815, doi: 10.1109/EDM58354.2023.10225143.
15. Логическая формализация роST-программ в системе Isabelle/HOL.  
[https://github.com/bearhug15/poST\\_Isabelle.HOL](https://github.com/bearhug15/poST_Isabelle.HOL)
16. Генератор моделей для роST-программ в системе Isabelle/HOL.  
<https://github.com/bearhug15/post2isabelle>
17. Gnezdilova A.V., Garanina N.O., Staroletov S.M., Zyubin V.E. Towards Controlled Natural Language for Event-Driven Temporal Requirements // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), Novosibirsk, Russian Federation. – 2023. – P. 1860–1865, doi: 10.1109/EDM58354.2023.10225047.
18. Zyubin V.E., Garanina N.O., Kozlova A.V. Developing EDTL IDE Kernel with Xtext Framework // 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE) (Novosibirsk, Russian Federation). – 2023. – P. 1000–1005, doi: 10.1109/APEIE59731.2023.10347639.
19. Zyubin V., Kravchenko A., Sychev A. Visual monitoring of swarms of industrial robots // 2023 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2023. – P. 604–609, doi: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272883.
20. Budnikov K.I., Kurochkin A.V. Software modelling of the filtering process for HTTP traffic in the information system with the regulation of access to Internet content using virtual digital test bench // Novel research aspects in mathematical and computer science. – 2022. –V. 5. – Ch. 3. – P. 40–48. – DOI 10.9734/bpi/nramcs/v5/2193A.
21. Budnikov K.I., Serdyukov O.V., Kurochkin A.V., Nestulya R.V. Application of HTTP Filters to Manage Access to the Equipment in Automated Control Systems Based on the Technology of Industrial Internet of Things // Current Overview on Science and Technology Research. V. 7, 26 October 2022. P. 120–130. ISBN 978-93-5547-902-0 (eBook), <https://doi.org/10.9734/bpi/costr/v7/4228A>
22. Будников К.И., Курочкин А.В. Исследование инструментов синхронизации потоков ОС Windows и Linux применительно к задаче http/https-фильтрации // Сборник материалов X Международной научной конференции «Математическое и компьютерное моделирование» (г. Омск, 10 февраля 2023) – С. 174–176.

### **3. РФФИ, РФФИ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ**

В 2023 году сотрудники Института выполняли работы в рамках 12-ти грантов РФФИ на:

#### **Проведение исследований научными лабораториями мирового уровня и на базе инфраструктуры мирового уровня**

Фундаментальные задачи и новые технологии фотоники многомодовых волоконных световодов с регулярными и случайными 3-мерными структурами (*руководитель* Бабин С.А.).

Перспективные режимы формирования субволновых лазерно-индуцированных периодических структур фемтосекундным излучением (*руководитель* Достовалов А.В.).

#### **Проведение исследований международными научными коллективами**

Модовая динамика и нелинейные эффекты при ВКР-преобразовании многомодового пучка в градиентных волокнах (*руководитель* Бабин С.А.).

#### **Проведение исследований научными группами под руководством молодых учёных**

Исследование криоконсервации репродуктивных клеток животных методом спектроскопии комбинационного рассеяния света с использованием дейтерированных меток (*руководитель* Окотруб К.А.).

Спектроскопия неупругого рассеяния света в модельных и имплантируемых коллагенсодержащих материалах (*руководитель* Зыкова В.А.).

Прямая лазерная запись дифракционных структур на металлических пленках с антиотражающим покрытием (*руководитель* Белоусов Д.А.).

#### **Проведение исследований научными группами и малыми научными группами**

Разработка волоконного источника фемтосекундных импульсов с несущей длиной волны в области 1.3 мкм для многофотонной микроскопии (*руководитель* Харенко Д.С.).

Развитие алгоритмов решения задач рассеяния для интегрируемых нелинейных уравнений Шредингера (*руководитель* Фруммин Л.Л.).

Аналитическая теория рассеяния света на субволновой структуре (*руководитель* Шапиро Д.А.).

Развитие спектроскопических методов в исследовании полярных состояний в тонких пленках ниобата бария стронция (*руководитель* Пугачев А.М.).

Субтерагерцовый отклик планарных липидных мембран в неупругом рассеянии света (*руководитель* Суровцев Н.В.).

Динамическая неоднородность и бозонный пик в переохлажденных жидкостях (*руководитель* Новиков Н.В.).

ИАиЭ СО РАН является участником консорциума ЦК НТИ «Фотоника», продолжалось активное выполнение совместных проектов.

## 4. ПРИКЛАДНЫЕ РАЗРАБОТКИ И ПРОЕКТЫ

### 4.1. Атомно-абсорбционный спектрометр с источником излучения непрерывного спектра для одновременного многоэлементного анализа растворов

ИАиЭ СО РАН совместно с ООО «ВМК-Оптоэлектроника» разработан не имеющий аналогов в мире атомно-абсорбционный спектрометр (ААС) высокого разрешения с источником излучения непрерывного спектра (лазерная плазма в ксеноне) и электротермическим атомизатором (ЭТА) для одновременного определения более 40 элементов Периодической системы Д.И. Менделеева в растворах с аналитическими характеристиками близкими современным ААС-ЭТА с последовательным определением элементов.



**Рис. 4.1.** Атомно-абсорбционный спектрометр Гранд-ААС

#### Характеристики:

Рабочий спектральный диапазон, нм	190–855
Разрешение в области 190–350 нм, пм	10
Разрешение в области 350–780 нм, пм	30
Расход аргона, л/мин:	
– режим ожидания	0,5
– режим анализа	3
Потребляемая мощность (от сети 220 В, 50 Гц), кВт	3
Масса, кг	380
Габаритные размеры, мм	1600x900x1280

#### Преимущества:

- Одновременное определение 30–40 элементов в водных растворах, продуктах питания, почвах, биологических объектах и др.

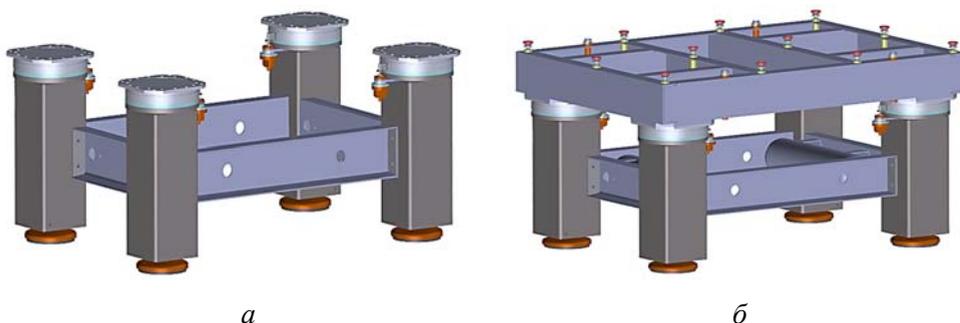
- Диапазон концентраций определяемых элементов до 4 порядков при пределах обнаружения до сотых долей мкг/л.
- Малые объёмы проб (от 10 мкл) и низкое потребление аргона.
- Возможность исследования спектров поглощения паров молекулярных соединений и кинетики атомизации.
- Автоматизация дозирования и обработки данных.
- Не требуется дополнительная коррекция фона.
- Автоматический дозатор обеспечивает автоматизацию измерений, улучшает точность анализа.
- Программное обеспечение «Атом» управляет всеми параметрами прибора.

*Применение:* Атомно-абсорбционный анализ природных и технологических объектов. Идеален для анализа проб малого объема (фармацевтика, криминалистика и т. д.)

*Уровень практической реализации:* Спектрометр внедрён в производство на предприятии «ВМК-Оптоэлектроника» под наименованием Гранд-ААС. В 2023 год зарегистрирован в Госреестре средств измерений РФ под № 89108-23 и введён в эксплуатацию в Институте общей и неорганической химии РАН, Москва.

## 4.2. Пневматическая виброизолирующая система

Пневматическая виброизолирующая система состоит из нескольких опор, соединенных между собой стяжками (рис. 4.2). Давление воздуха в опорах изменяется в зависимости от нагрузки. Рабочая поверхность отделена от пола при помощи высокоэффективной системы пневматических пружин.



**Рис. 4.2.** Пневматическая виброизолирующая система:  
а – базовый вид; б – с разгрузочной платформой

Пневматическая виброизолирующая система является идеальной рабочей платформой для чувствительных к вибрации устройств, таких как микроскопы, весы, интерферометры и аналогичные устройства. Рабочая поверхность стола отделена от пола высокоэффективной системой пневматических опор.

Основной целью при проектировании виброизоляционных опор является снижение собственных частот колебания изоляторов до минимального значения с целью минимизации вибраций, поступающих извне, прежде чем они будут перенесены на рабочую поверхность, например, оптического стола.

Пневматические опоры оснащены высокопроизводительными пневматическими виброизоляторами с целью эффективной компенсации вибраций пола и амортизации.

Для работы системы необходим воздушный компрессор или система подачи сжатого воздуха. Максимальное рабочее давление воздуха – 6 Бар.

*Коммерческие предложения:* изготовление под заказ.

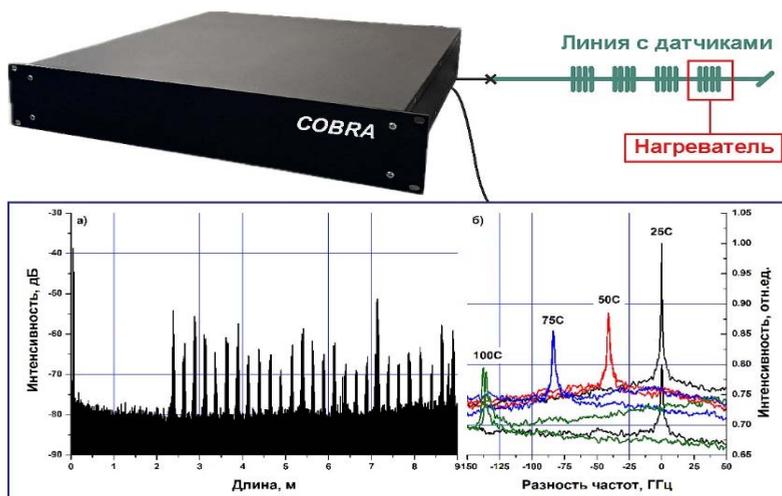
*Стоимость:* в зависимости от комплектации и пожеланий Заказчика.

### **4.3. Волоконные системы мониторинга состояния объектов**

Когерентный анализатор COBRA (рис. 4.3) позволяет анализировать положение и характер различных оптических объектов, расположенных в волоконно-оптических линиях. Такими объектами могут быть различные оптические компоненты, сварки волокон, волоконные брэгговские решетки (ВБР), а также неоднородности показателя преломления. С дополнительной опцией "sensor" спектральный анализ отдельных элементов (в том числе обычно отрезка волокна) позволяет производить измерения физических параметров (например, температура или деформация).

#### **Технические характеристики:**

Рабочая спектральная область, мкм	1.06 или 1.5
Пространственное разрешение, мкм	от 20 до 10000
Длина тестируемой линии, м	до 10
Чувствительность, дБ/мм	до –120
Габариты, мм	88 (2U)x440x480



**Рис. 4.4.** Внешний вид анализатора COBRA (вверху).

Слева внизу – пример рефлектограммы для массива идентичных ВБР.  
Справа внизу – эволюция спектральной характеристики одной из ВБР из массива при ее нагреве

*Преимущества:*

- Высокое пространственное разрешение вплоть до 20 мкм.
- Высокая чувствительность к малым коэффициентам отражения/рассеяния в линии.
- Компактное стоечное исполнение (высота 2U) по сравнению с конкурентными решениями.
- Оптимизация решения под задачи Заказчика.

*Применение:*

- характеристика оптических компонент (микрооптика, ВБР, сварка и др.);
- решение сенсорных задач (распределённое измерение температуры или деформации).

*Уровень практической реализации: УГТ5*

*Патентная защита:* Патент 2797693 «Способ измерения параметров неоднородностей показателя преломления вдоль оптического волокна и оптический рефлектометр частотной области».

*Ориентировочная стоимость:* от 2800 тыс. руб. в зависимости от требований заказчика.

## 5. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### 5.1. ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИАиЭ СО РАН В 2023 ГОДУ (на 31.12.2023)

<u>Численный состав (чел.)</u>	
Среднесписочная численность работников	348
В том числе:	
Исследователей по основному месту работы	131
Численность исследователей до 39 лет по основному месту работы	54
Академиков	1
Член-корреспондентов РАН	2
Профессоров РАН	2
Докторов наук	27
Кандидатов наук	68
Аспирантов	19
<u>Количество публикаций (шт.)</u>	
в журналах, индексируемых в Scopus	136
в журналах, индексируемых в РИНЦ	234
<u>Количество проектов и договоров</u>	
Проекты НИР госзадания	14
РФФИ	12
Прочие гранты фондов	1
Договоры и контракты	61

### 5.2. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, КАДРЫ, ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

В 2023 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 отчётном году обучение проходили 19 аспирантов.

На заседаниях диссертационного совета Д 003.005.02 (специальности: 01.04.05 – «Оптика», физико-математические и технические науки; 05.11.07 – «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы», технические науки; 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», технические науки) защищено 7 кандидатских диссертаций.

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 к.т.н., доцент *Завьялов П.С.*

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. *О.И. Потатуркин*).

Достижения молодых ученых Института представлялись на различных конференциях и конкурсах, была проведена собственная выездная летняя школа «КараКамп», организована новая молодёжная инициативная группа.

Проведены Дни открытых дверей. В ходе экскурсии посетители познакомились с лабораториями Института и учёными, проводящими исследования.

Институт принял участие в Днях карьеры НГУ, фестивале «Наука 0+», конференции научных коммуникаторов «SciComm», фестивале «SmartPicknik».

### 5.3. МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ

В отчётном 2023 году ИАиЭ СО РАН участвовал в следующих международных мероприятиях: специализированной выставке лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики», форуме «Технопром» – с собственными стендами; тематических международных конференциях и семинарах – с докладами работников организации.

Институт поддерживает членство в Коллегии национальных экспертов стран СНГ по лазерам и лазерным технологиям, в международной Лазерной ассоциации (ЛАС).

Действовал Меморандум о взаимопонимании с Евразийским национальным университетом имени Л.Н. Гумилева (г. Астана, Республика Казахстан). Продолжались работы по международному гранту РФФИ с КНР «Модовая динамика и нелинейные эффекты при ВКР-преобразовании многомодового пучка в градиентных волокнах» (*руководитель Бабин С.А.*).

### 5.4. ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ

#### **В 2023 г. Институтом получено:**

- 7 патентов на изобретения:

- Способ оптико-теплового контроля внутренних деформаций конструкции из полимерного композиционного материала и устройство для его осуществления: пат. 2793297. Рос. Федерация на изобретение. Будадин О.Н., Федотов М.Ю., Шелемба И.С., Козельская С.О. Заявка 2022111168, дата приоритета 22.04.2022;

- Способ неразрушающего контроля качества конструкции и ресурса автомобильного газового баллона из полимерных композиционных материалов и устройство для его осуществления: пат. 2793298. Рос. Федерация на изобретение. Будадин О.Н., Федотов М.Ю., Шелемба И.С., Козельская С.О. Заявка 2021140020, дата приоритета 30.12.2021;

- Электростатический преобразователь: пат. 2797442. Рос. Федерация на изобретение. Соколов А.А., Коняшкин В.В. Заявка 2021129841, дата приоритета 12.10.2021;

- Стабилизированный источник лазерного излучения с протяженным резонатором в волоконном световоде: пат. 2797692. Рос. Федерация на изобретение. Вольф А.А., Немов И.Н., Чурин А.Е., Скворцов М.И. Заявка 2022115243, дата приоритета 07.06.2022;

– Способ измерения параметров неоднородностей показателя преломления вдоль оптического волокна и оптический рефлектометр частотной области: пат. 2797693. Рос. Федерация на изобретение. Лобач И.А., Каблуков С.И. Заявка 2022133668, дата приоритета 21.12.2022;

– Волоконный кольцевой источник лазерного излучения с пассивным сканированием частоты: пат. 2801639. Рос. Федерация на изобретение. Владимирская А.Д., Поддубровский Н.Р., Лобач И.А., Каблуков С.И. Заявка 2022116063, дата приоритета 15.06.2022;

– Способ автоматического измерения и управления длиной волны перестраиваемого источника оптического излучения и устройство для его осуществления: пат. 2801676. Рос. Федерация на изобретение. Бударных А. Е., Лобач И.А., Тимиртдинов Ю.А., Смолянинов Н.Н. Заявка 2022114812, дата приоритета 01.06.2022. Патентообладатели ИАиЭ СО РАН и ПГНИУ.

• 1 Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ:

Программа оценки параметров фотонных интегральных схем: св-во. 2023663116 Рос. Федерация. Лобач И.П., Симонов В.А., Терентьев В.С., Вобликов Е.Д., Салгаева У.О. Заявка 2023661962, дата приоритета 06.06.2023. Правообладатели ИАиЭ СО РАН и ПГНИУ.

• **В РОСПАТЕНТе находятся заявки** на регистрацию изобретения:

– Компактный одночастотный линейно-поляризованный волоконный источник излучения (варианты) (авторы: Немов И.Н., Вольф А.А., Чуринов А.Е., Достовалов А.В., Скворцов М.И., Бабин С.А.), заявка № 2023127819, приоритет: 30.10.2023;

– Волоконный лазер с внутривибраторной генерацией оптических гармоник в резонансном отражателе (варианты) (автор: Каблуков С.И.), заявка № 2023132056; приоритет: 06.12.2023;

– Способ мониторинга химического состава опасной технологической жидкости (Зарубин И.А., Саушкин М.С., Лабусов В.А.), заявка № 2023135187; приоритет: 25.12.2023. Совместно с ООО «ВМК-Оптоэлектроника».

**Поддерживаются в действии:** 90 патентов на изобретения и полезные модели; 70 программ для ЭВМ; 1 база данных; 2 товарных знака; 14 ноу-хау.

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, в ЕГИСУ НИОКТР зарегистрированы:

- Проекты по грантам и договорам за 2023 г.:

1. Динамическая неоднородность и бозонный пик в переохлажденных жидкостях (№ гос. рег. проекта 123120700051-8), *руководитель* В.Н. Новиков.

2. Развитие спектроскопических методов в исследовании полярных состояний в тонких пленках ниобата бария стронция (№ проекта 123120700049-5), *руководитель* А.М. Пугачев.

3. Субтерагерцовый отклик планарных липидных мембран в неупругом рассеянии света (№ проекта 123120700048-8), *руководитель* Н.В. Суровцев.

4. Разработка методики определения метрологических характеристик оптического кодового лимба с нерегулярной топологией и его фотошаблона (№ проекта 123102700014-9), *руководитель* А.В. Кирьянов.

5. Рассеяние на плазмонных решетках (№ проекта АААА-А20-120021890069-0), *руководитель* Д.А. Шапиро.

- Отчеты госзаданий промежуточные:

Физические основы работы распределенных волоконно-оптических сенсорных систем для измерения физических величин (№ отчета 224021200002-3), *руководитель* С.И. Каблуков (№ проекта 122031600174-5).

Разработка теоретических основ, методов, языковых и инструментальных средств для использования в автоматизированных системах управления, построенных по технологии промышленного Интернета вещей (№ отчета 224020900241-2), *руководитель* В.Е. Зюбин (№ проекта 122031600173-8).

- Отчеты госзаданий заключительные:

Развитие методов оптической спектроскопии для задач материаловедения и биологической физики (№ отчета 224020900300-6), *руководитель* Н.В. Суровцев (№ проекта 121032400052-6).

Развитие методов синтеза рельефно-фазовых поверхностных структур и оптических элементов на их основе (№ отчета 224021200004-7), *руководитель* В.П. Корольков (№ проекта 121041500060-2).

Когерентные эффекты и эффекты, связанные со столкновениями, для атомов газа, взаимодействующих с излучением (№ отчета

224021300175-3), *руководитель* А.М. Шалагин (№ проекта 121021800168-4).

Разработка наноэлектромеханических структур на основе сегнетоэлектрических плёнок (№ отчета 224020900243-6), *руководитель* А.А. Соколов (№ проекта 121052500063-9).

Развитие методов и технологий прецизионного гибридного послойного лазерного формообразования (№ отчета 224021300180-7), *руководитель* В.П. Бессмельцев (№ проекта 121051700156-9).

Новые нелинейные эффекты при распространении высокоэнергетических импульсов в оптическом волокне и микроструктурах (№ отчета 224021500642-8), *руководитель* Д.А. Шапиро (№ проекта АААА-А21-121012190005-2).

Параметрическое автоматизированное управление потоками данных в режиме реального времени с применением специализированных процессорных архитектур (№ отчета 224021200003-0), *руководитель* М.М. Лаврентьев (№ проекта 121041800012-8).

Нелинейная фотоника структурированных сред (нелинейные преобразования частот, формирование поляризованных и когерентных состояний атомов) (№ отчета 224020800597-1), *руководитель* С.Л. Микерин (№ проекта 121031700030-4).

Развитие высокоинформативных оптических методов исследования состава и микроструктуры материалов и веществ (№ отчета 224020800602-2), *руководитель* В.А. Лабусов (№ проекта 121022000126-9).

Физические основы лазерных и сенсорных систем с использованием структурированных волоконных световодов и микрорезонаторов (№ отчета 224020800600-8), *руководитель* С.А. Бабин (№ проекта 121030500067-5).

Научные основы, методы и интеллектуальные информационные технологии обнаружения и классификации объектов в задачах мониторинга и прогнозирования эволюции динамических сцен (№ отчета 224020700336-7), *руководитель* С.М. Борзов (№ проекта 121022000116-0).

Разработка методов управления движением автономных динамических объектов в условиях неопределенности и наличия возмущений, разработка технологии моделирования движения летательных аппаратов (№ отчета 224020800688-6), *руководитель* К.Ю. Котов (№ проекта 121042900050-6).

- Результаты интеллектуальной деятельности:

Способ оптико-теплогового контроля внутренних деформаций конструкции из полимерного композиционного материала и устройство для его осуществления: пат. 2793297. Рос. Федерация на изобретение. Будадин О.Н. Федотов М.Ю. Шелемба И.С. Козельская С.О. Заявка 2022111168. Дата приоритета 22.04.2022. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Рег. номер 624011601486-3.

Способ неразрушающего контроля качества конструкции и ресурса автомобильного газового баллона из полимерных композиционных материалов и устройство для его осуществления: пат. 2793298 Рос. Федерация на изобретение. Заявка 2021140020 Дата приоритета 30.12.2021. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Рег. номер 624011601485-6.

Электростатический преобразователь: пат. 2797442 Рос. Федерация на изобретение. Заявка 2021129841. Дата приоритета 12.10.2021. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Рег. номер 624040400768-3.

Стабилизированный источник лазерного излучения с протяженным резонатором в волоконном световоде: пат. 2797692 Рос. Федерация на изобретение. Заявка 2022115243. Дата приоритета 07.06.2022. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Рег. номер 624011601487-0.

Способ измерения параметров неоднородностей показателя преломления вдоль оптического волокна и оптический рефлектометр частотной области: пат. 2797693 Рос. Федерация на изобретение. Заявка 2022133668. Дата приоритета 21.12.2022. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Рег. номер 624011501334-8.

Волоконный кольцевой источник лазерного излучения с пассивным сканированием частоты: пат. 2801639 Рос. Федерация на изобретение. Заявка 2022116063. Дата приоритета 15.06.2022. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Рег. номер 624040901246-0.

- Отчеты по грантам и договорам:

1. Рассеяние на плазмонных решетках (№ отчета 223121400017-3), руководитель Шапиро Давид Абрамович (№ проекта АААА-А20-120021890069-0).

Физические и экспериментальные основы лазерной гетеродинной томографии внутренних свойств отражающих оптических материалов и структур (№ отчета 223020201547-2), руководитель Твердохлеб Петр Емельянович (№ проекта АААА-А19-119122590046-2).

## 6. ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИАиЭ СО РАН в 2023 г.

### 6.1. МОНОГРАФИИ

1. In the book “Polarization Dynamics of Mode-Locked Fiber Lasers: Science, Technology, and Applications” / Edited by Sergey V. Sergeyev, Chengbo Mou, CRC Press Taylor & Francis Group. – 2023. 248 p:  
Komarov A., Meng Y., Nady A., Semaan G., Kemel M., Salhi M., Sanchez F. Polarization and color domains in fiber lasers Chapter 3. – P. 103–122. – DOI 10.1201/9781003206767.
2. Kotkin G.L., Serbo V.G., Chernykh A.I. Lectures on Analytical mechanics // Oxford University Press, 2023. – 250 p.

### 6.2. СТАТЬИ

1. Абдуллина С.Р., Скворцов М.И., Достовалов А.В., Проскурина К.В., Мункуева Ж.Э., Бабин С.А. Узкополосный гольмиевый лазер со случайной распределенной обратной связью на основе структур, записанных фемтосекундным излучением // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике ВКВО-2023» (г. Пермь, 3–6 октября 2023). – 2023. – № 6(190). – С. 225–226. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-225-226. – EDN ISPJXQ.
2. Абдуллина С.Р., Скворцов М.И., Достовалов А.В., Проскурина К.В., Мункуева Ж.Э., Бабин С.А. Узкополосный гольмиевый лазер со случайной распределенной обратной связью на основе искусственного рэлеевского рассеяния // Квантовая электроника – 2023 – 53 (12). С. 767–771.
3. Адищев С.В., Зайцева И.В., Зыкова В.А., Малиновский В.К., Новиков В.Н. Определение среднеквадратичной амплитуды нанометровых флуктуаций сдвигового модуля в салоле методом неупругого рассеяния света // Автометрия. – 2023. – Т. 59, № 3. – С. 3–11. – DOI 10.15372/AUT20230301. – EDN JFGGFM.
4. Антропов А.А., Харенко Д.С. Исследование эффекта самоочистки в многомодовом волокне на выходе волоконного лазера с увеличенным диаметром моды // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике ВКВО-2023» (г. Пермь, 3–6 октября 2023). – 2023. – № 6(190). – С. 198–199. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-198-199. – EDN XBVIJHG.
5. Баев С.Г., Бессмельцев В.П., Голошевский Н.В., Катасонов Д.Н. Особенности высококачественного формообразования при скоростной микрообработке ультракороткими лазерными импульсами // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 8, № 1. – С. 3–9. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-1-3-9. – EDN ITMMAJ.
6. Белай О. В., Киселев С.П., Киселев В.П. Численное моделирование методом молекулярной динамики соударения наночастицы с преградой в условиях холодного газодинамического напыления // Прикладная механика и техническая физика. – 2023. – Т. 64, № 6(382). – С. 27–35. – DOI 10.15372/PMTF202315303. – EDN ZEXIMN.

7. Белоконь С.А., Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Мальцев А.С., Ян А.П. Управление продольным движением летательного аппарата на основе полной энергии // *Автометрия*. – 2023. – Т. 59, № 5. – С. 56–68. – DOI 10.15372/AUT20230506. – EDN CBPSFG.
8. Береза А.С., Верёвкин А.Е., Шапиро Д.А. Квазистатическое приближение для задачи рассеяния на наноструктурах // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике ВКВО-2023» (г. Пермь, 3–6 октября 2023). – 2023. – № 3(8). – С. 19–24. – DOI 10.18411/sdntp-05-2023-05. – EDN QFSIQX.
9. Борзов С.М., Котляр П.Е., Потатуркин О.И. Малогабаритные гиперспектрометры с оперативной регистрацией изображений // *Автометрия*. – 2023. – Т. 59. – № 6. – С. 113–123.
10. Борзов С.М., Нежевенко Е.С. Нейросетевые технологии в задачах обнаружения и классификации объектов // Там же. – 2023. – Т. 59, № 3. – С. 52–71. – DOI 10.15372/AUT20230307. – EDN UWYAQY.
11. Борзов С.М., Нежевенко Е.С., Потатуркин О.И. Исследование эффективности популярных нейросетевых моделей детектирования объектов в поле наблюдения // *Вычислительные технологии*. – 2023. – № 6. – С. 68–80.
12. Будников К.И., Сафенрейтер Д.А. Модель и реализация сервиса аттестации сотрудников малых и средних предприятий на открытой платформе // *Автометрия*. – 2023. – Т. 59, № 3. С. 93–100. DOI: 10.15372/AUT20230310.
13. Ващенко П.В., Болдова С.С., Колосов Н.А., Лабусов В.А. Моделирование атомно-абсорбционного спектрометра с источником излучения непрерывного спектра // *Аналитика и контроль*. – 2023. – Т. 27, № 3. С. 168–179. – DOI: 10.15826/analitika.2023.27.3.005.
14. Волоси В.М., Жданов И., Коляда Н.А., Харенко Д.С., Бабин С.А. Исследование параметров диссипативных ВКР-солитонов, генерируемых вблизи 1,7 мкм // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике ВКВО-2023» (г. Пермь, 3–6 октября 2023). – 2023. – № 6(190). – С. 259–260. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-259-260. – EDN YСВМНУ.
15. Волоси В.М., Жданов И., Коляда Н.А., Харенко Д.С., Бабин С.А. Исследование параметров диссипативных ВКР-солитонов, генерируемых вблизи 1,7 мкм // *Прикладная фотоника* – 2023. – Т. 10, № 7. – С. 67–80. <http://doi.org/10.15593/2411-4375/2023.7.05>
16. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Метод деформации функционально заданных объектов с применением графических процессоров // *Программные продукты и системы*. – 2023. – № 3. – С. 414–422. – DOI 10.15827/0236-235X.143.414-422. – EDN TXOSXX.
17. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Метод интерактивного проектирования функциональных механических объектов на основе свободных форм для быстрого прототипирования // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. – 2023. – Т. 20, № 9(231). – С. 3–11. – DOI 10.14489/vkit.2023.09.pp.003-011. – EDN VQCQGP.
18. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Методы реконструкции и распознавания криволинейных объектов по одному ракурсу изображения // *Исследования*.

- Инновации. Практика. – 2023. – № 2(7). – С. 6–12. – DOI 10.18411/iip-06-2023-01. – EDN ZMLJJR.
19. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Метод реконструкции по одному изображению криволинейных поверхностей // Современные достижения научно-технического прогресса. – 2023. – № 3(8). – С. 19–24. – DOI 10.18411/sdntp-05-2023-05. – EDN QFSIQX.
  20. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Метод реконструкции 3D-объектов по данным одного ракурса изображения // Автометрия. – 2023. – Т. 59, № 5. – С. 47–55. – DOI 10.15372/AUT20230505. – EDN SDTSPAP.
  21. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Прямой рендеринг трехмерных объектов на основе функций возмущения с использованием графических процессоров // Программные системы и вычислительные методы. – 2023. – № 1. – С. 42–50. – DOI 10.7256/2454-0714.2023.1.38263. – EDN IWRNCU.
  22. Гаськов М.П., Кондаков А.А., Салгаева У.О., Лобач И.А. Устройство опроса волоконных брэгговских решеток с использованием фотонно-интегральной схемы на основе упорядоченной волноводной решетки с перекрестными каналами // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике ВКВО-2023» (г. Пермь, 3–6 октября 2023). – 2023. – № 6. – С. 133–134. DOI: 10.24412/2308-6920-2023-6-133-134.
  23. Гервазиев М.Д., Харенко Д.С., Бабин С.А., Подивилов Е.В., Манджини Ф., Ферраро М., Дзителли М., Вабниц С. Описание эффекта керровской самоочистки в многомодовом градиентном волокне методом модовой декомпозиции [и др.] // Там же. – 2023. – № 6 (190). – С. 251–252. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-251-252. – EDN NTFBNW.
  24. Гервазиев М.Д., Харенко Д.С., Серебренников К.В., Кохановский А.Ю., Неваев М.К. Влияние шумов на процесс реконструкции многомодового пучка методом модовой декомпозиции // Там же. – С. 403–404. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-403-404. – EDN TOJVBX.
  25. Горбунов О.А., Ватник И.Д., Подивилов Е.В., Смирнов С.В., Чуркин Д.В. Численное изучение механизмов генерации и затухания узких спектральных мод в излучении волоконного ВКР-лазера со случайно распределенной обратной связью // Прикладная фотоника – 2023. – 10 (5). – С. 87–97. <https://doi.org/10.15593/2411-4375/2023.5.06>
  26. Гурин Н.А., Лукин А.В., Мельников А.Н., Свистунова А.А. Опыт применения технологии прецизионного реплицирования для восстановления оптических деталей из брака при серийном производстве // Оптический журнал. – 2023. – Т. 90, № 7. – С. 107–115. – DOI 10.17586/1023-5086-2023-90-07-107-115. – EDN SPPZHO.
  27. Дервянко Д.И., Пен Е.Ф., Шелковников В.В. Отражательные голографические фотополимерные решетки с ангармоническим распределением профиля модуляции показателя преломления // Там же, № 5. – С. 86–92. – DOI 10.17586/1023-5086-2023-90-05-86-92. – EDN JXVSWD.
  28. Додонов С.В., Дзюба А.А., Лабусов В.А. Исследование влияния потока аргона, вводимого в дуговой разряд, при атомно-эмиссионном спектральном

- анализе порошковых проб способом просыпки-вдувания // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2023. – Т. 89, № 12. – С. 13–21. – DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-12-13-21>.
29. Евменова Е.А., Харенко Д.С. Полностью волоконный ВКР-усилитель силовочно-рассеивающих диссипативных солитонов вблизи 1,3 мкм // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике ВКВО-2023» (г. Пермь, 3–6 октября 2023). – 2023. – № 6(190). – С. 249–250. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-249-250. – EDN OPBOPB.
  30. Ефремов В.Д., Харенко Д.С. Исследование генерации узкополосных сверхкоротких импульсов в различных волоконных схемах // Там же. – С. 450–451. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-450-451. – EDN IFZKEE.
  31. Каширина Е.К., Лобач И.А., Каблуков С.И. Самосканирующий одночастотный волоконный лазер с разделением влияния динамических решеток усиления и поглощения // Там же. – 2023. – № 6. С. 215–216. DOI: 10.24412/2308-6920-2023-6-215-216.
  32. Кирьянов А.В. Эффективность использования метода компенсации для синтеза прецизионных углоизмерительных структур // Оптический журнал – 2023. – Т. 90. – № 12. – С. 85–95. – DOI: 10.17586/1023-5086-2023-90-12-85-95.
  33. Кирьянов В.П., Гурин Н.А. Повышение дифракционной эффективности структур при прямой лазерной записи наклонными пучками: моделирование и эксперимент // Компьютерная оптика. – 2023. – Т. 47, № 2. – С. 235–245. – DOI 10.18287/2412-6179-CO-1161. – EDN QRGYPJ.
  34. Кирьянов В.П., Караоцкий А.Г., Кирьянов А.В. Тестирование долговременной стабильности метрологических характеристик лазерного генератора изображений модели CLWS-300 // Автометрия. – 2023. – Т. 59, № 5. – С. 100–106. – DOI 10.15372/AUT20230510. – EDN DOEGTR.
  35. Кирьянов В.П., Кирьянов А.В. О возможности полного подавления составляющей погрешности измерений от неточности изготовления дифракционной измерительной решетки // Там же, № 3. – С. 12–18. – DOI 10.15372/AUT20230302. – EDN HESSQG.
  36. Корольков В.П., Малышев А.И., Голубцов С.К., Куц Р.И., Саметов А.Р. Лазерные и вакуумно-плазменные технологии микроструктурирования для задач оптического приборостроения // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 8, № 2. – С. 3–8. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-2-3-8. – EDN KBKHZH.
  37. Котляр П.Е. Детекторы ИК- и ТГц-излучения на оптико-акустических преобразователях (обзор) // Автометрия. – 2023. – Т. 59, № 4. – С. 88–114. – DOI 10.15372/AUT20230410. – EDN ZASRBA.
  38. Кузнецов А.Г., Харенко Д.С., Бабин С.А., Сидельников О.С., Подивиллов Е.В., Федорук М.П. Численное моделирование процесса самоочистки стоксова пучка в изогнутом градиентном многомодовом волокне // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике ВКВО-2023» (г. Пермь, 3–6 октября 2023). –

2023. – № 6(190). – С. 443–444. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-443-444. – EDN LSVHSI.
39. Куц Р.И., Корольков В.П., Белоусов Д.А., Малышев А.И., Саметов А.Р., Шиманский Р.В., Микерин С.Л., Окотруб К.А., Гаврилова Т.А. Объёмная термохимическая лазерная запись наноструктурированных отражающих дифракционных решёток на двухслойном материале Zr/SiO<sub>2</sub> // Оптический журнал. – 2023. – Т. 90, № 4. – С. 5–17. – DOI 10.17586/1023-5086-2023-90-04-05-17. – EDN OWWSJM.
40. Куц Р.И., Мандрусова Е.О., Корольков В.П., Седухин А.Г. Прямая лазерная запись на тонких пленках хрома пучком с негауссовым распределением // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 8, № 1. – С. 39–44. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-1-39-44. – EDN SCRSJL.
41. Кучьянов А.С., Аполонский А.А., Сорокин В.А., Чубаков П.А. Измерение изменений психофизиологического состояния человека или животных оптическим сенсором // Там же, № 2. – С. 88–91. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-2-88-91. – EDN PPBQNB.
42. Лихачев А.В. Алгоритм поиска оптимальных значений параметров детекторов особых точек по локальным характеристикам изображения // Автометрия. – 2023. – Т. 59, № 5. – С. 15–24. – DOI 10.15372/AUT20230502. – EDN WCBMZA.
43. Лубенко Д.М., Ежов Д.М., Светличный В.А., Андреев Ю.М., Николаев Н.А. Оптические свойства нелинейных кристаллов семейства боратов и их применение в источниках интенсивного терагерцового излучения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2023. – Т. 23. – С. 439–447. DOI: 10.17586/2226-1494-2023-23-3-439-447.
44. Микерин С.Л., Симанчук А.Э., Никифоров А.Г., Демьянов Б.Ф., Никифоров Д.А., Левичев А.Е. Фазовый состав и структура поверхности фотокатода на основе интерметаллида CeIr<sub>5</sub> // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2023. – Т. 20, № 3. – С. 365–371. – DOI 10.25712/ASTU.1811-1416.2023.03.009. – EDN ULFRZA.
45. Микерин С.Л., Угожаев В.Д. Анализ оптической схемы перестраиваемого интерферометра с точной фиксацией интерференционной решётки на неподвижном фоточувствительном образце // Оптический журнал. – 2023. – Т. 90, № 4. – С. 92–104. – DOI 10.17586/1023-5086-2023-90-04-92-104. – EDN OXOGYU.
46. Мункуева Ж.Э., Бронников К.А., Достовалов А.В., Бабин С.А. Датчик 3D формы на основе многосердцевинного волокна с записанными распределёнными случайными отражателями // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике ВКВО-2023» (г. Пермь, 3–6 октября 2023). – 2023. – № 6(190). – С. 269–270. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-269-270. – EDN TBIYEW.
47. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Анализ характеристик волноводного устройства для объединения внешних оптических пучков // Оптика и спектроскопия. – 2023. – Т. 131, № 1. – С. 95–99. – DOI 10.21883/OS.2023.01.54544.4035-22. – EDN FMVHIU.

48. Насыров К.А. Особенности магнитооптических спектров флуоресценции при поглощении поляризованного излучения на переходе на второй резонансный уровень в атомах щелочных металлов // *Автометрия*. – 2023. – Т. 59, № 2. – С. 103–109. – DOI 10.15372/AUT20230211. – EDN QMEUNC.
49. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Лазерная генерация без инверсии населенностей в «красном» крыле D1-линии атомов щелочных металлов при резонансной диодной накачке // *Там же*, № 6. – С. 52 – 65. DOI: 10.15372/AUT20230606.
50. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Усилитель лазерного излучения на метастабильных атомах инертных газов с поперечной диодной накачкой // *Оптика и спектроскопия*. – 2023. – Т. 131. – № 9. – С. 1241–1248. – DOI: 10.61011/OS.2023.09.56611.4682-23.
51. Поддубровский Н.Р., Лобач И.А. и Каблуков С.И. Когерентный оптический частотный рефлектометр на основе эрбиевого самосканирующего лазера с непрерывной динамикой интенсивности // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике ВКВО-2023» (г. Пермь, 3–6 октября 2023). – 2023. – № 6. С. 460–461. – DOI: 10.24412/2308-6920-2023-6-460-461.
52. Резник А.Л., Соловьев А.А. Многомерное расширение классических чисел Каталана для решения прикладных задач анализа случайных точечных изображений // *Известия АлтГУ. Математика и механика*. – 2023. – Т. 132, № 4. С. 84–88. DOI: 10.14258/izvasu(2023)4-13).
53. Роганов В.Р., Михеев М.Ю., Четвергова М.В., Долговесов Б.С. Особенности синтеза визуально наблюдаемой во время полета 3D-модели внешней среды для авиационного тренажера // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. – 2023. – № 10. – С. 14–24. – DOI 10.25791/pribor.10.2023.1446. – EDN UNXНМО.
54. Сапрыкин Э.Г., Черненко А.А, Никитенко А.Г. Резонансы насыщенного поглощения на переходах с моменом уровней  $J=1/2$  в сильном насыщающем поле // *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока*. – 2022. – № 2. – С. 27–31. – EDN ROHMHZ.
55. Седухин А.Г., Корольков В.П. Тонкопленочный конвертер поляризации на основе двухаксионной оптической системы // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2023. – Т. 8, № 1. – С. 16–22. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-1-16-22. – EDN VYPRPX.
56. Симонов В.А., Ризк Х.А. Измерение показателя преломления жидкости с помощью модового интерферометра Маха-Цендера на основе утоненного волокна // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике ВКВО-2023» (г. Пермь, 3–6 октября 2023). – 2023. – № 6(190). – С. 296–297. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-296-297. – EDN SAYQUZ.
57. Скворцов М.И., Проскурина К.В., Голиков Е.В., Достовалов А.В., Терентьев В.С., Бабин С.А., Егорова О.Н., Семенов С.Л. Компактные одночастотные лазеры на основе высоколегированного эрбиевого световода // *Там же*. – С. 213–214. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-213-214. – EDN CVXVEQ.

58. Соколов А.А., Иванов С.Д. Двумерные электромеханические волны в МЭМС структурах с нанозазором // *Автометрия*. – 2023. – Т. 59, № 3. – С. 19–23. DOI: 10.15372/AUT20230303.
59. Терентьев В.С., Симонов В.А. Численное моделирование селекции радиальной моды в микрорезонаторе с помощью тонкой металлической пленки // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике ВКВО-2023» (г. Пермь, 3–6 октября 2023). – 2023. – № 6(190). – С. 384–385. – DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-384-385. – EDN LSLYZR.
60. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Голдобин Д.Н., Тимофеев А.В., Носов Д.А., Сизиков И.С., Стусь Ю.Ф., Калиш Е.Н. Глубинное строение Горного Алтая и современные модели гравитационного поля // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2023. – Т. 14, № 1. – DOI 10.5800/GT-2023-14-1-0681. – EDN YEKPIE. С. 0681 (18 с).
61. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Носов Д.А., Сизиков И.С. Измерение современных движений на станции «Талая» (юго-западная часть Байкальского рифта) // *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*. – 2023. – Т. 28, № 4. – С. 59–70. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-4-59-70. – EDN IOSQEK.
62. Ткаченко А.Ю., Лобач И.А., Каблуков С.И. Когерентная оптическая частотная рефлектометрия на основе волоконного самосканирующего лазера: текущее состояние и перспективы развития (обзор) // *Приборы и техника эксперимента*. – 2023. – № 5. – С. 24–31. DOI: 10.31857/S0032816223050257.
63. Ткаченко А.Ю., Лобач И.А. и Каблуков С.И. Оптический частотный рефлектометр на основе самосканирующего волоконного лазера для измерения рассеяния Релея // Спецвыпуск Фотон-экспресс-наука «Всероссийская Диановская конференция по волоконной оптике ВКВО-2023» (г. Пермь, 3–6 октября 2023). – 2023. – № 6. – С. 280–281. – DOI: 10.24412/2308-6920-2023-6-280-281.
64. Фрумин Л.Л., Пай В. В., Лукьянов Я.Л. О влиянии зависимости коэффициента вязкости от температуры на процесс высокоскоростной деформации металла // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. – 2023. – № 11(282). – С. 12–15. – DOI 10.35211/1990-5297-2023-11-282-12-15. – EDN CRJBIX.
65. Чаповский П.Л. Разлет ультрахолодных бозонов из магнитной ловушки. Комментарий к статье Е. А. Кузнецова, М. Ю. Кагана «Симметричный подход в задаче о расширении газов в вакуум» // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 2023. – Т. 164, № 2. – С. 186–189. – DOI 10.31857/S0044451023080035. – EDN HZIKRJ.
66. Чубаков П.А., Сорокин В.А., Микерин С.Л., Аполонский А.А. Метод спектральных временных окон для исследования сложных динамических процессов // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2023. – Т. 8, № 2. – С. 92–99. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-2-92-99. – EDN JEKYWR.
67. Шапиро Е.Г., Шапиро Д.А. Фазово-модулированный формат передачи данных с нецентральной чирпированием по высокоскоростной оптической

- линии связи без компенсации дисперсии // Квантовая электроника. – 2023. – Т. 53. – № 6. – С. 510–514.
68. Яковин М.Д., Яковин Д.В., Грибанов А.В. Компактный мощный субнано-секундный микрочип-лазер на кристалле Nd:YAG/Cr:YAG, работающий без системы термостабилизации // Оптический журнал. – 2023. – Т. 90. – № 12. – С. 13–23. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2023-90-12-14-23>.
  69. Abalmasov V., Gorshunov B., Uskov V., Chan Y.T., Uykur, E., Abramov P., Dressel M., Thomas V., Savinov M. Effect of internal pressure on incipient ferroelectricity of nanoconfined water molecules observed in hydrothermally grown beryl crystals // *Physica Status Solidi (b)*. – 2023. – V. 260. –P. 2200405.
  70. Abalmasov V., Uskov V., Gorshunov B., Savinov M. Rigidity of dipolar coupled H<sub>2</sub>O molecular network in external electric field // *Solid State Communications*. – 2023. – V. 371. – P. 115284.
  71. Abalmasov V.A., Vugmeister, B.E. Metastable states in the J<sub>1</sub>–J<sub>2</sub> Ising model // *Physical Review E*. – 2023. – V. 107. – P.034124.
  72. Babin S.A., Filatova A., Fale A.E., Kamynin V.A., Wolf A.A., Zhluktova I.V., Nanii O.E., Smirnov A.P., Fedoseev A.I., Tsvetkov V.B. Investigation of Absorption Dynamics from the Excited State 5I<sub>7</sub> of Holmium Ions in Optical Silica-Based Fibers // *J. Lightwave Technol.* – 2023. – V. 41 (19). – P. 6400–6407. DOI: 10.1109/JLT.2023.3278534.
  73. Babin S.A., Rolle K., Okotrub K.A., Zaytseva I.V., Surovtsev N.V. Self-pressurized rapid freezing at arbitrary cryoprotectant concentrations // *J. of Microscopy*. – 2023. – V. 292 (1). – P.27–36. DOI: 10.1111/jmi.13220.
  74. Baginsky I.L. Maximum power of thin film capacitive electrostatic micromotors based on nanogaps // *Micro*. – 2023. – V. 3. – P. 1–8. <https://doi.org/10.3390/micro3010001>.
  75. Baramiya D., Lavrentiev M., Spigler R. Modelling and predicting coastal zone depth profile evolution: a survey // *Communication in Applied and Industrial Mathematics*. – 2023. – V. 14 (1). – P. 50–61. doi: 10.2478/caim-2023-0003.
  76. Belai O.V., Kiselev S.P., Kiselev V.P. Numerical simulation of a nanoparticle impact onto a target by the molecular dynamics method under the conditions of cold gas-dynamic spraying // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics* – 2023. – V. 64. – P. 964–971.
  77. Belousov D.A., Kuts R.I., Okotrub K.A., Korolkov V.P. Direct Laser Writing of Diffractive Structures on Bi-Layer Si/Ti Films Coated on Fused Silica Substrates // *Photonics*. – 2023. – V. 10. – P. 771. <https://doi.org/10.3390/photonics10070771>.
  78. Belousov D.A., Kuts R.I., Korolkov V.P. Thermochemical laser writing of silicide masks on dual-layer films a-Si/Cr // *Proc. SPIE*. – 2023. – V. 12762. – P. 127620W. – DOI: 10.1117/12.2687545.
  79. Cherkasova O.R., Konnikova M.R., Nazarov M.M., Vrazhnov D.A., Kistenov Y.V., Shkurinov A.P. Terahertz Spectroscopy of Mouse Blood Serum in the Dynamics of Experimental Glioblastoma // *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*. – 2023. – V. 9, № 3. – P. 30308. – DOI 10.18287/JBPE23.09.030308. – EDN NZMTXV.

80. Cherkasova O., Nikolaev N., Vrazhnov D., Knyazkova A., Konnikova M., Stupak E., Glotov V., Stupak V., Paulish A., Peng Y., Kistenev Y., Shkurinov A. Terahertz Time-Domain Spectroscopy of Glioma Patient Blood Plasma: Diagnosis and Treatment // *Applied Sciences (Switzerland)*. – 2023. – V. 13, № 9. – P. 5434. – DOI 10.3390/app13095434. – EDN JSBNTQ.
81. Chernyavsky A., Bereza A., Frumin L., Shapiro D. Modeling of Subwavelength Gratings: Near-Field Behavior // *Photonics*. – 2023. – V. 10. – № 1332. – 12 p. DOI 10.3390/photonics10121332.
82. Chernyavsky A.E., Frumin L.L. Inverse scattering transform algorithm for the Manakov system // *Computer Optics*. – 2023. – V. 47, № 6. – P. 856–862. – DOI 10.18287/2412-6179-CO-1298. – EDN WDAKLH.
83. Dobrynina E.A., Zykova V.A., Adichtchev S.V., Surovtsev N.V. Gigahertz elastic modulus and OH stretching frequency correlate with Jones–Dole's B -coefficient in aqueous solutions of the Hofmeister series // *Journal of Chemical Physics*. – 2023. – V. 158, № 3. – P. 034504. – DOI 10.1063/5.0130490. – EDN YMGVTK.
84. Dobrynina E.A., Zykova V.A., Surovtsev N.V. In-plane and out-of-plane gigahertz sound velocities of saturated and unsaturated phospholipid bilayers from cryogenic to room temperatures // *Chemistry and Physics of Lipids* – 2023 – V. 256 – P. 105335.
85. Dokuchaeva A.A., Vladimirov S.V., Borodin V.P, Karpova E.V., Vaver A.A., Shiliaev G.E., Chebochakov D.S., Kuznetsov V.A., Surovtsev N.V., Adichtchev S.V., Malikov A.G., Gulov M.A., Zhuravleva I.Y. Influence of Single-Wall Carbon Nanotube Suspension on the Mechanical Properties of Polymeric Films and Electrospun Scaffolds // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – V. 24, № 13. – P. 11092. – DOI 10.3390/ijms241311092. – EDN KMIMPT.
86. Dostovalov A., Syubaev S., Modin E., Gurbatov S., Cherepakhin A., Tarasova A., Krinitzin P., Yelisseyev A., Isaenko L., Kuchmizhak A. SWIR anti-reflective nanostructures on nonlinear crystals by direct UV femtosecond laser printing // *Appl. Phys. Lett.* – 2023. – V. 123. – P. 061108. <https://doi.org/10.1063/5.0159719>.
87. Dostovalov A., Wolf A., Munkueva Zh., Skvortsov M., Abdullina S., Kuznetsov A., Babin S. Continuous and discrete-point Rayleigh reflectors inscribed by femtosecond pulses in singlemode and multimode fibers // *Optics & Laser Technology*. – 2023. – V. 167. – P. 109692. <https://doi.org/10.1016/j.optlas-tec.2023.109692>.
88. Efremov V.D., Kuznetsov A.G., Kharenko D.S., Babin S.A., Abdrakhmanov I. Ultra-broadband NPE-based femtosecond fiber laser // *Photonics*. – 2023. – V. 10 (1). – P. 85. <https://doi.org/10.3390/photonics10010085>.
89. Erofeev V.I. The influence of plasma evolution on a kinetic scenario of collisional relaxation of a magnetized plasma // *Plasma Physics and Controlled Fusion*. – 2023. – V. 65, is. 8. – P. 085014. – DOI 10.1088/1361-6587/ace281. № AAAA-A21-121012190005-2.

90. Evmenova A., Antropov A.A., Kharenko D.A. All-fiber amplification of highly-chirped dissipative solitons around 1.3 micron using stimulated Raman scattering // *Optics Letters*. – 2023. – 48(23). – P. 6444-6447. <https://doi.org/10.1364/OL.505933>.
91. Gervaziev M., Ferraro M., Podivilov E.V., Mangini F., Sidelnikov O.S., Kharenko D.S., Zitelli M., Fedoruk M.P., Babin S.A., Wabnitz S. Mode Decomposition Method for Investigating the Nonlinear Dynamics of a Multimode Beam // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. – 2023. – V. 59, № 1. – P. 51–61. <https://doi.org/10.3103/S8756699023010077>.
92. Islamova L.N., Kalinin A.A., Shustikov A.A., Fazleeva G.M., Gaysin A.I., Shmelev A.G., Simanchuk A.E., Shalin N.I., Sharipova A.V., Babaeva O.B., Vakhonina T.A., Fominykh O.D., Khamatgalimov A.R., Mikerin S.L., Balakina M.Yu. Push-pull chromophores with  $\pi$ -deficient benzoazine and  $\pi$ -excessive thiophene cores in conjugated bridge as sources of quadratic nonlinear optical activity of composite polymer materials and molecular glasses // *Dyes and Pigments* – 2023. – V. 216. – P. 111316. – DOI 10.1016/j.dyepig.2023.111316. – EDN BLMDMN.
93. Kashirina E.K., Lobach I.A., Kablukov S.I. Single-Frequency Continuous-Wave Self-Sweeping Fiber Laser Based on Separated Gain and Absorption Dynamics Gratings // *Photonics*. – 2023. – V. 10(7). – P. 843. <https://doi.org/10.3390/photonics10070843>.
94. Kharenko D., Ferraro M., Mangini F., Leventoux Y., Tonello A., Zitelli M., Mansuryan T., Sun Y., Fevrier S., Krupa K., Wabnitz S., Couderc V. Multimode Optical Fiber Beam-By-Beam Cleanup // *J. Light. Technol.* – 2023. – V. 41. – P. 3164–3174. 10.1109/JLT.2023.3239385.
95. Kharenko D.S., Gervaziev M., Mangini F., Ferraro M., Sun Y., Gervaziev M., Parra-Rivas P., Couderc V., Wabnitz S. Modal phase-locking in multimode nonlinear optical fibers // *Opt. Lett.* – 2023. – V. 48(14). – P. 3677–3680. <https://doi.org/10.1364/OL.494543>.
96. Kharenko S., Revyakin A.A., Gervaziev M.D., Ferraro M., Mangini F., Babin S.A. Accuracy of Holographic Real-Time Mode Decomposition Methods Used for Multimode Fiber Laser Emission // *Photonics*. – 2023. – V. 10(11). – P. 1245. 10.3390/photonics10111245.
97. Koliada N.A., Filonov A., Kuznetsov S.A., Pivtsov V.S., Farnosov S.A., Isaeva Y.G., Chepurov S.V. The Effect of Ambient Temperature Fluctuations on the Output Parameters of the Fiber Femtosecond Frequency Comb // *Las. Phys. Lett.* – 2023. – V.20(9). – P. 095101. – DOI: 10.1088/1612-202X/ace3bf.
98. Komarov A., Bessin F., Semaan G., Sanchez F. An overview of dissipative soliton resonance in fiber lasers // *EPJ Web of Conferences*. – 2023. – V. 287. – P. 06004. – DOI 10.1051/epjconf/202328706004.
99. Komarov A., Dmitriev A., Komarov K., Semaan G., Zhao L., Sanchez F. Noise-like color pulses and domains in ring fiber lasers with an anomalous dispersion cavity // *Optics Communications*. – 2023. – V. 538. – P. 129478 (8 p.). – DOI 10.1016/j.optcom.2023.129478. № AAAA-A21-121012190005-2.

100. Komarov A.K., Kobtsev S.M. Noise-like pulses in dispersion-controlled fiber lasers // *Laser Physics Letters*. – 2023. – V. 20. – P. 085101 (7 p.). – DOI 10.1088/1612-202X/ace254. № AAAA-A21-121012190005-2.
101. Li C., Lan H., Komarov A., Tang X., Tang M., Zhu H., Luo Z., Zhao L. Soliton polarization dynamics in a fiber laser of zero dispersion // *Applied Optics*. – 2023. – V. 62, is. 30. – P. 8091–8097. – DOI 10.1364/AO.502660. № AAAA-A21-121012190005-2.
102. Komin O.V., Pelipasov O.V. Continuation of investigation of effect of O<sub>2</sub> in plasma gas on parameters of nitrogen microwave-induced plasma optical emission spectrometry // *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. – 2023. – V. 207. – P. 106742. – DOI 10.1016/j.sab.2023.106742.
103. Kuts R., Korolkov V., Mikerin S., Okotrub K., Belousov D., Malyshev A., Same-tov A., Shimansky R., Gavrilova T. Volumetric thermochemical laser writing of nanostructured reflective diffraction gratings on a dual-layer material Zr/SiO<sub>2</sub> // *Journal of Optical Technology*. – 2023. – V. 90. – № 4. – P. 163–169. – DOI: 10.1364/JOT.90.000163.
104. Kuznetsov A.G., Kharenko D.S., Babin S.A., Sidelnikov S., Gervaziev M.D., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Wabnitz S. Transverse mode distribution in mul-timode diode-pumped Raman fiber laser // *J. Opt. Soc. Am. B* – 2023. – V.40 (12). – P. 3269–3275. <https://doi.org/10.1364/JOSAB.503609>.
105. Kuznetsov S., Tumashov M., Killamsetty V.K., Lazorskiy P., Epstein A., Gly-boski S. Efficient Anomalous Refraction of THz Beams with a Multilayer Metal-Polymer Huygens' Metasurface // *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*. – 2023. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10316608>.
106. Kuznetsov A.G., Wolf A.A., Egorova O.N., Semjonov S.L., Dostovalov A.V., Podivilov E.V., Babin S.A. Spectrum collapse in a 7-core Yb-doped fiber laser with an array of fs-inscribed fiber Bragg gratings // *Optics Letters*. – 2023. – V. 48, № 13. – P. 3603–3606.
107. Kuznetsov G., Wolf A.A., Munkueva Zh. E., Dostovalov A. V., Babin S.A. Mul-timode graded-index fiber with random array of Bragg gratings and its Raman lasing properties // *Fibers*. – 2023. – V. 11. – P. 48. <https://doi.org/10.3390/fib11060048>.
108. Mikerin S.L., Shevchenko O.N., Kokh K.A., Nikolaev N.A. Detection of te-rahertz frequencies in S-doped GaSe crystals using laser pulses at telecom wave-lengths // *Applied Sciences*. – 2023. – V. 13, is. 2045. – P. 11–14. – DOI 10.3390/app13042045.
109. Nikolaev N., Bychkova S., Antsign., Ezhov D., Andreev Y., Svetlichnyi V. Temperature-dependent optical properties of bismuth triborate crystal in the te-rahertz range: simulation of terahertz generation by collinear three-wave mixing in the main crystal planes // *Photonics*. – 2023. – V. 10, № 7. – P. 713. – DOI 10.3390/photonics10070713. – EDN TOCZZZ.
110. Okotrub K.A., Belousov D.A., Kuts R.I., Korolkov V.P. Direct Laser Writing of Diffractive Structures on Bi-Layer Si/Ti Films Coated on Fused Silica Substrates // *Там же*. – P. 771.
111. Okotrub K.A., Bronnikov K.A., Gladkikh S.A., Korolkov V.P., Kuchmizhak A.A., Dostovalov A.V. Formation of Laser-Induced Periodic

- Structures on Thin Films of Transition Metal and Semiconductor Nitrides // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 2023 – V. 50 – S329–S335.
112. Omelchenko A.N., Okotrub K.A., Surovtsev N.V. Raman spectroscopy of yeast cells cultured on a deuterated substrate // Spectrochimica Acta A. – 2023. – V. 303 – P. 123262.
113. Pai V.V., Lukyanov Y.L., Frumin L.L. On the influence of temperature dependence of the viscosity coefficient on the process of high-speed deformation of metal // Izvestiya of Volgograd State Technical University, ser. Explosive Welding and Properties of Welded Joints. – 2023. – 11(282):12–15.
114. Poddubrovskii N.R., Lobach I.A., Kablukov S.I. Signal Processing in Optical Frequency Domain Reflectometry Systems Based on Self-Sweeping Fiber Laser with Continuous-Wave Intensity Dynamics // Algorithms. – 2023. – V. 16(5). – P. 260. <https://doi.org/10.3390/a16050260>.
115. Gervaziev M., Ferraro M., Podivilov E. V., Mangini F., Sidelnikov O.S., Kharenko D.S., Zitelli M., Fedoruk M.P., Babin S.A., Wabnitz S. Mode decomposition method for investigating the nonlinear dynamics of a multimode beam // Автометрия – 2023. – Vol. 59. – № 1. – P. 58–69. – DOI 10.15372/AUT20230106. – EDN MSYSQE.
116. Podivilov E.V., Sidelnikov O.S., Kuznetsov A.G., Kharenko D.S., Gervaziev M.D., Fedoruk M.P., Wabnitz S., Babin S.A. Transverse mode distribution in multimode diode-pumped Raman fiber laser // J. Opt. Soc. Am. – 2023. – B 40. – P. 3269–3275.
117. Podivilov E.V., Turitsyn S.K., Bednyakova A.E. Nonlinear Optical Pulses in Media with Asymmetric Gain // Phys. Rev. Lett. – 2023. – V. 131. – P. 153802.
118. Pugachev A., Isaenko L., Dong L., Yelisseyev A., Lobanov S., Korzhneva K., Gromilov S., Sukhih A., Vedenyapin V., Kurus A., Khamoyan A., Lin Z. A new nonlinear optical crystal Li<sub>0.81</sub>Ag<sub>0.19</sub>InSe<sub>2</sub> with balanced properties for efficient nonlinear conversion in the mid-IR region // Journal of Alloys and Compounds – 2023 – V. 969 – P. 172382.
119. Pugachev A.M., Sokolov A.A. Study of domain structure of thin ferroelectric films with a pulse laser // Ferroelectrics. – 2023. – V. 605. – P. 83–87. <https://doi.org/10.1080/00150193.2023.2169013>.
120. Reznik A.L., Soloviev A.A. Methods, algorithms and programs of computer algebra in problems of registration and analysis of random point structures // Computer Optics. – 2023. – V. 47. – № 6. – P. 1011–1017. – DOI 10.18287/2412-6179-CO-1330. – EDN UWEBTZ.
121. Reznik A.L., Soloviev A.A. Solving Fundamental and Applied Problems of Digital Image Processing at the Institute of Automation and Electrometry and Other Scientific Schools of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2023. – V. 33. – P. 1260–1268.
122. Reznik A.L., Tuzikov A.V., Soloviev A.A., Torgov A.V. Symbolic computation programs and generalized Catalan numbers in problems of analysis of random point structures // Computational Technologies – 2023. – V. 28, № 1. – P. 61–71. – DOI 10.25743/ICT.2023.28.1.007. – EDN DIXOGX.

123. Rolle K., Okotrub K.A., Zaytseva I.V., Babin S.A., Surovtsev N.V. Self-pressurised rapid freezing at arbitrary cryoprotectant concentrations // *Journal of Microscopy*. – 2023. – 292 – 27–36.
124. Rostom A.M., Tomilin V.A., Il'ichov L.V. Geometric model of quantum navigation during (anti-)search on a plane // *Quantum Physics*. – 2023. – V. 1. – 4 p. 10.48550/arXiv.2311.07516.
125. Sanchez F., Komarov A., Semaan G. Dissipative soliton resonance in fiber lasers // *Optics Communications*. – 2023. – V. 541. – P. 129543 (11 p.). – DOI 10.1016/j.optcom.2023.129543. № AAAA-A21-121012190005-2.
126. Saprykin E.G., Chernenko A.A. Coherent resonances of saturated absorption on the transition with level momenta  $J=1/2$  in unidirectional wave spectroscopy // *Journal of Physics and Astronomy*. – 2023. – V. 10. – I. 11307. – P. 1–16. – DOI 10.37532/2320–6756.2022.10(11).307.
127. Shapiro E.G., Shapiro D.A. Phase-Modulated Format of Off-Center Chirped Data Transmission over a High-Speed Optical Link without Dispersion Compensation // *Bulletin of the Lebedev Physics Institute*. – 2023. – V. 50(10):S1156-S1162.
128. Shepelin A.V., Tomilin V.A., Ilichov L.V. Photonic Mode in a Space-Time with a Causal Loop: Comparison of D- CTC and S-CTC Models // *Gravitation and Cosmology*. – 2023. – V. 29, № 2. – P. 121–127. – DOI 10.1134/S0202289323020111. – EDN DJXHCK.
129. Shevchenko O.N., Mikerin S.L., Kokh K.A., Nikolaev N.A. Detection of Terahertz Frequencies in S-Doped GaSe Crystals Using Laser Pulses at Telecom-Wavelengths // *Applied Sciences*. – 2023. – 13(4), 2045. <https://doi.org/10.3390/app13042045>.
130. Sidelnikov O.S., Kuznetsov A.G., Kharenko D.S., Gervaziev M.D., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Babin S.A. Transverse mode distribution in multimode diode-pumped Raman fiber laser // *JOSA B*. – 2023 – V. 40, № 12. – P. 3269–3275. <https://doi.org/10.1364/JOSAB.503609> (A).
131. Simanchuk A.E., Mikerin S.L., Turgeneva S.A., Kalinin A.A., Islamova L.N., Sharipova S.M., Fazleeva G.M., Gaysin A.I., Shmelev A.G., Sharipova A.V., Mukhtarov A.S., Vakhonina T.A., Fominykh O.D., Balakina M.Yu. Quadratic nonlinear optical response of composite polymer materials based on push-pull quinoxaline chromophores with various groups in aniline donor moiety // *New Journal of Chemistry*. – 2023. – V. 47. – P. 2296–2306. – DOI DOI 10.1039/D2NJ05759J.
132. Sinyakov A.N., Bessmeltsev V.P., Kostina E.V., Zaytsev D.E., Chukanov N.V., Kamaev G.N. New photoacids in microarray synthesis of oligonucleotides // *King Saud University Journal of Saudi Chemical Society*. – 2023. – V. 27, Is. 6, 101709. – P. 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2023.101709> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319610323001138>.
133. Skvortsov I., Proskurina K.V., Golikov E.V., Dostovalov A.V., Terentyev V.S., Egorova O.N., Semjonov S.L., Babin S.A. Distributed Bragg reflector laser based on composite fiber heavily doped with erbium ions // *Photonics*. – 2023. – V. 10. – P. 679. <https://doi.org/10.3390/photonics10060679>.

134. Snytnikov A., Solovey M., Zelenina L. The Use of Neural Network Technology in Bank Digital Ecosystems // *Ecosystems Without Borders 2023 (Lecture Notes in Networks and Systems book series, LNNS)*. – 2023 – V. 705. – P. 154–162. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-34329-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-34329-2_16).
135. Solodovnikov S.F., Meshalkin A.B., Sukhikh A.S., Solodovnikova Z.A., Zolotova E.S., Yudin V.N., Kadyrova Yu.M., Khaikina E.G., Mateyshina Yu.G., Uvarov N.F., Pugachev A.M., Kovtunets E.V. Resolving old problems with layered polytungstates related to hexagonal tungsten bronze: phase formation, structures, crystal chemistry and some properties // *Dalton Transactions*. – 2023. – V. 52, № 9. – P. 2770–2785. – DOI 10.1039/D2DT03895A. – EDN KNYIXZ.
136. Sturman B., Podivilov E. Effect of domain wall conductivity on domain formation energy // *Ferroelectrics*. – 2023. – V. 604, is. 1. – P. 80–90. – DOI 10.1080/00150193.2023.2168983.
137. Smirnov S., Podivilov E., Sturman B. Effects of dispersion and pumping scheme on soliton-comb regimes in  $\chi(2)$  microresonators // *Journal of the Optical Society of America B*. – 2023. – V. 40, is. 3. – P. 516–522. – DOI 10.1364/JOSAB.481257.
138. Sturman B., Smirnov S., Podivilov E. Self-starting soliton–comb regimes in  $\chi(2)$  microresonators // *Photonics*. – 2023. – V. 10. – P. 640 (25 p.). – DOI 10.3390/photonics10060640.
139. Surovtsev N.V., Sinko A.S., Kargovsky A.V., Nikolaev N.A., Manomenova V.L., Kozlova N.N., Rudneva E.B., Voloshin A.E., Shkurinov A.P. Polarization sensitive Raman scattering and stimulated terahertz emission from GUHP molecular crystal // *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology* 13. – 2023. – № 5 – P. 526–538. DOI 10.1109/TTHZ.2023.3286662.
140. Terentyev V., Simonov V. Mode selection method in spherical optical cavities with thin metal film // *Photonics*. – 2023. – V. 10(7), H.789. <https://doi.org/10.3390/photonics10070789>.
141. Tomilin V.A., Il'ichov L.V. Trainable unravelling for quantum state discrimination // *Cybernetics and Physics*. – 2023. – V. 12(2). – P. 152. DOI:10.35470/2226-4116-2023-12-2-152-156.
142. Tumashov M.A., Baena J.D., Del Risco J.P., Lazorskiy P.A., Glybovski S.B., Kuznetsov S.A. Angle-Dependent Metasurface for Nonspectroscopic THz Sensing of Submicron Films // *IEEE Sensors Journal*. – 2023. – V. 23(22). – P. 27262–27272. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3319955>.
143. Turitsyn S. K., Bednyakova A. E., Podivilov E. V. Nonlinear Optical Pulses in Media with Asymmetric Gain // *Phys. Rev. Lett.* – 2023. – V. 131. – P. 153802. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.153802>.
144. Vladimirskaya A.D., Kamynin V.A., Lobach I.A., Kablukov S.I. Continuous-wave single-frequency holmium-doped fiber laser based on saturable absorber // *Laser Physics*. – 2023. – V. 33. – I. 4, id.045102, 7 pp. DOI 10.1088/1555-6611/acbb77.
145. Vyatkin S.I., Dolgovesov B.S. Method of anisotropic deformation of elastic materials based on free-form patches // *BOHR International Journal of Biocomputing and Nano Technology (BIJBNT)*. – 2023. – V. 2, № 1. – P. 8–13. DOI: 10.54646/bijbnt.2023.12.

146. Wolf A., De Landro, Giraudeau C., Verde J., Ambarki K., Korganbayev S., Odeen H., Saccomandi P. Characterization of Susceptibility artifacts in Magnetic Resonance Thermometry images during laser interstitial thermal therapy: dimension analysis and temperature error estimation // *Physics in Medicine and Biology*. – 2023. – V. 68 (8). – P. 085022. <https://doi.org/10.1088/1361-6560/acbc62>.
147. Zaytseva Yu.V., Zaytseva I.V., Surovtsev N.V. Characterization of conformational states of POPC and DPPCd62 in POPC/DPPCd62/cholesterol mixtures using Raman spectroscopy // *Chemistry and Physics of Lipids* – V. 256 – 2023. – 105337.
148. Zhdanov I., Volosi V.M., Koliada N.A., Kharenko D.S., Babin S., Nikolaev N.A., Turitsyn S.K. Raman dissipative soliton source of ultrashort pulses in NIR-III spectral window // *Optics Express*. – 2023. – V. 31, № 21. – P. 35156–35163. – DOI 10.1364/OE.499249. – EDN ARGLYN.
149. Zyubin V.E., Garanina N.O., Anureev I.S., Staroletov S.M. Towards Topology-Free Programming for Cyber-Physical Systems with Process-Oriented Paradigm // *Sensors*. – 2023. – V. 23. – P. 6216. <https://doi.org/10.3390/s23136216>.
150. Zyubin V.E., Garanina N.O., Staroletov S.M., Anureev I.S. Model checking process-oriented IEC 61131-3 Structured Text programs // *System Informatics*. – 2023. – № 22. – P. 21–30. – DOI 10.31144/si.2307-6410.2023.n22.p21-30. – EDN UTNLMX.

### 6.3. МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ, СЕМИНАРОВ

1. Абалмасов В.А. Метастабильные состояния в модели Изинга J1-J2 // XXIII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (г. Тверь, 3–6 октября 2023). Тверь.: 2023. Издательство: Тверской государственный университет. Тезисы. – с. 151. EDN:WHNJOW.
2. Абалмасов В.А. Частоты ОН-колебаний в кристалле  $\text{KН}_2\text{PО}_4$  и их зависимость от давления из первопринципных расчётов // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам спектроскопии комбинационного рассеяния света «Комбинационное рассеяние – 95 лет исследований» (г. Новосибирск, 5–9 июня 2023) – Тезисы докладов. – ИФП СО РАН. – М.: Издательство "Перо", 2023. – С. 76. DOI 10.34077/SCATTERING95-76. <https://www.isp.nsc.ru/upload/kp95/kp95.pdf>.
3. Адищев С.В., Зыкова В.А., Добрынина Е.А., Пугачёв А.М., Суровцев Н.В. Определение пространственного распределения коллагена и эластина в бычьей вене с помощью рассеяния Мандельштама-Бриллюэна // Там же. – С. 63. DOI 10.34077/SCATTERING95-63.
4. Алиев С.И., Деревянко Д.И., Пен Е.Ф., Шелковников В.В. Эффективная толщина пропускающих голограмм в фотополимерных материалах // XX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям (г. Сочи, 12–15 сентября 2023). СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. – С. 454-458. <https://old.holoexpo.ru/upload/20/F88DCB6CAAC8CB4B/paper.pdf>.

5. Алиев С.И., Деревянко Д.И., Шелковников В.В., Пен Е.Ф. Влияние пост-экспозиционной термической обработки на свойства фазовых голографических решёток // Там же. – С.459–463. <https://old.holoexpo.ru/upload/20/009D65FEF614A23C/paper.pdf>.
6. Белоусов Д.А., Корольков В.П., Куц Р.И., Черкашин В.В., Качкин А.Е. Калибровка цифровых видеокамер для прецизионной дифрактометрии // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2023): сборник трудов по материалам IX Международной конференции и молодежной школы: в 6 т. (г. Самара, 17–23 апреля 2023). Т. 1. – Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2023. – С. 10472. – EDN IXGNLC.
7. Белоусов Д.А., Куц Р.И., Корольков В.П. Оптимизация параметров двухслойной плёнки Si/Ti для термохимической лазерной записи дифракционных структур // Там же. – С. 10482. – EDN URSPSR.
8. Белоусов Д.А., Куц Р.И., Корольков В.П. Лазерная запись силицидных структур на плёнках Ti с покровным слоем Si // HOLOEXPO 2023: тезисы докладов 20-й международной конференции по голографии и прикладным оптическим технологиям (г. Сочи, 12–15 сентября 2023). – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянов. – С. 318–323. – EDN HUNDVQ.
9. Белоусов Д.А., Куц Р.И., Корольков В.П. Прямая лазерная запись дифракционных микроструктур на тонкой двуслойной плёнке a-Si/Cr // Труды XXXI Международной конференции Лазерно-информационные технологии 2023 (ЛИТ-2023). – С. 173–174.
10. Будников К.И., Курочкин А.В. Исследование инструментов синхронизации потоков ОС Windows и Linux применительно к задаче http/https-фильтрации // Сборник материалов X Международной научной конференции «Математическое и компьютерное моделирование» (г. Омск, 10 февраля 2023) – С. 174–176.
11. Васильева И.Е., Шабанова Е.В., Лабусов В.А., Дзюба А.А. Развитие дуговой атомно-эмиссионной спектрометрии в фокусе анализа твердых геологических образцов // Научно-практическая конференция «Актуальные проблемы поисковой геологии» (Москва, 22–24 ноября 2022). Сборник докладов. – Москва, ФГБУ «ВИМС». – 2023. – С. 58–71. – <https://vims-geo.ru/ru/news/nauchno-prakticheskaya-konferenciya-aktualnye-voprosy-poiskovoj-geologii-v-fgbu-vims/>
12. Волоси В.М. Экспериментальное и численное исследование параметров диссипативных ВКР-солитонов, генерируемых во внешнем волоконном резонаторе с накачкой от эрбиевого лазера с синхронизацией мод // 61-я Международная научная студенческая конференция 2023. МНСК-2023. (г. Новосибирск, 17–26 апреля 2023). – НГУ. – Секции «Физика». – С. 27.
13. Добрынина Е.А. Изучение температурной зависимости упругих свойств гидратированных планарных слоев фосфолипидов методом рассеяния Мандельштама-Бриллюэна // Там же. С. 229. <https://www.nsu.ru/n/issc/>

14. Добрынина Е.А, Зыкова В.А, Суровцев Н.В. Изучение температурной зависимости упругих свойств гидратированных планарных слоев фосфолипидов методом рассеяния Мандельштама-Бриллюэна // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам спектроскопии комбинационного рассеяния света «Комбинационное рассеяние – 95 лет исследований» (г. Новосибирск, 5–9 июня 2023) – Тезисы докладов. – ИФП СО РАН. – М.: Издательство "Перо", 2023. – С. 60. DOI 10.34077/SCATTERING95-60. <https://www.isp.nsc.ru/upload/kp95/kp95.pdf>.
15. Долговесов Б.С., Шадрин М.Ю., Брагин В.И. Необходимость и перспективы модернизации систем обработки, регистрации и отображения визуальной информации в составе комплекса тренажёров российского сегмента Международной космической станции // Сборник материалов XV Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос» (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина». Звездный городок, Московская обл., Россия. 15–17 ноября 2023) – 2023. – С. 184.
16. Дулепов В.Е., Шадрин М.Ю. Перспективы развития систем регистрации аудиовизуальной информации в составе комплексов тренажеров // Там же. С. 185.
17. Ельчин А.С., Комин О.В., Пелипасов О.В. Исследование влияния добавления аргона на параметры азотной микроволновой плазмы // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 17–19 мая 2023). Сборник материалов в 8 т. Т. 8: Национальная конференция с международным участием «СибОптика-2023. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей». – Новосибирск, СГУГиТ, – 2023. – № 1. – С. 52–59. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-1-52-59.
18. Зайцева Д.Е., Корольков В.П., Куц Р.И., Саметов А.Р., Голубцов С.К. Применение металлических полутонных масок для изготовления многоуровневых дифракционных элементов // Там же. – С. 45–51. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-1-45-51. – EDN LFKGYK.
19. Зайцева Ю.В., Суровцев Н.В. Индикаторы упорядоченности липидного бислоя в области валентных CH<sub>2</sub> колебаний спектров КРС // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам спектроскопии комбинационного рассеяния света «Комбинационное рассеяние – 95 лет исследований» (г. Новосибирск, 5–9 июня 2023) – Тезисы докладов. – ИФП СО РАН. – М.: Издательство "Перо", 2023. – С. 79. DOI 10.34077/SCATTERING95-79. <https://www.isp.nsc.ru/upload/kp95/kp95.pdf>.
20. Колосов Н.А., Болдова С.С. Сравнительное исследование характеристик графитовых печей для атомно-абсорбционных спектрометров с электротермическим атомизатором продольного нагрева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 17–19 мая 2023). Сборник материалов в 8 т. Т. 8: Национальная конференция с международным участием «СибОптика-2023. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей». – Новосибирск, СГУГиТ, – 2023. – № 1. – С. 120–125. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-1-120-125.

21. Комин О.В., Пелипасов О.В. Влияние O<sub>2</sub> и Ag на параметры азотной микроволновой плазмы оптического спектрометра «Гранд-СВЧ» // IV Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии с международным участием (г. Краснодар, 24–30 сентября 2023). Матер. конф.: – С. 135. [https://www.analytconf.ru/files/2023/Materialy\\_IV\\_Vserossiyskoi\\_konferencii\\_po\\_analyticheskoy\\_spektroskopii\\_s\\_mezhdunarodnym\\_uchastiem\\_v2.pdf](https://www.analytconf.ru/files/2023/Materialy_IV_Vserossiyskoi_konferencii_po_analyticheskoy_spektroskopii_s_mezhdunarodnym_uchastiem_v2.pdf).
22. Коптюг И.В., Кононенко Е.С., Буруева Д.Б., Чаповский П.Л. Ядерные спиновые изомеры H<sub>2</sub> (и не только) для высокочувствительных спектроскопических и томографических приложений ЯМР // 17 Всероссийская конференция с международным участием «Физика ультрахолодных атомов» (г. Новосибирск, 18–20 декабря 2023). – Институт лазерной физики СО РАН. – Пленарный доклад. – С. 25.
23. Корольков В.П., Куц Р.И., Зайцева Д.Е., Голубцов С.К., Саметов А.Р., Черкашин В.В. Новые старые технологии полутонковой литографии // HOLOEXPO 2023: тезисы докладов 20-й международной конференции по голографии и прикладным оптическим технологиям (г. Сочи, 12–15 сентября 2023). – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянов. – С. 351–359. – EDN XUNVOM.
24. Косых В.П., Громилин Г.И., Яковенко Н.С. Трехканальная согласованная фильтрация малоразмерных подвижных объектов в последовательности изображений, формируемых матричным фотоприемником // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2023): сборник трудов всероссийской конференции с международным участием (г. Бердск, 22–25 августа 2023). – Новосибирск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий», 2023. – С. 87–92. – DOI 10.25743/sdm.2023.15.21.015. – EDN WOFWJP.
25. Куц Р.И., Белоусов Д.А., Корольков В.П. Исследование пространственного разрешения технологии прямой лазерной записи с использованием двуслойной пленки a-Si/Cr // Материалы XIX Международной молодежной конференции по люминесценции и лазерной физике (г. Иркутск, 3–7 июля 2023). – Иркутск: Иркутский государственный университет, 2023. – С. 122–123. – EDN MPQIWN.
26. Кучьянов А.С., Сорокин В.А., Чубаков П.А., Микерин С.Л. Измерение изменений психофизиологического состояния человека или животных оптическим сенсором // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 17–19 мая 2023). Сборник материалов в 8 т. Т. 8: Национальная конференция с международным участием «СибОптика-2023. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей». – Новосибирск, СГУГиТ, – 2023. – № 2. С. 88-91. DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-2-88-91. EDN PPBQNB.
27. Лабусов В.А., Гаранин В.Г. Оптические спектрометры для контроля химического состава веществ и материалов // XI Конгресс российской тех-

- нологической платформы «Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – фотоника» (Москва, 28–30 марта 2023). Научно-практическая конференция «Контрольно-измерительные и диагностические технологии фотоники для обрабатывающей промышленности»: ЛазерИнформ, май 2023. – Выпуск № 9–10(744–745). – С. 14. <https://bibl.laser.nsc.ru/download/laser-inform/744all-1.pdf>.
28. Лабусов В.А., Гаранин В.Г. Спектрометры оптические Гранд – новое средство измерения массовых долей определяемых элементов // II отраслевая конференция «Современные методы аналитического контроля: перспективы и возможности» СМАК-2023 (г. Озерск Челябинской области, 9–12 октября 2023).
  29. Лаврентьев М.М., Бартош В.С., Огородников Д.В. Применение российских операционных систем и ядра визуализирующей системы в технических средствах подготовки космонавтов // Материалы XV Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос» (Звездный городок, 15–17 ноября, 2023). – С. 183.
  30. Лактионова А.В. Исследование упругих свойств гидрогелей на основе желатина методом спектроскопии рассеяния Мандельштама — Бриллюэна // 61-я Международная научная студенческая конференция 2023. МНСК-2023. (г. Новосибирск, 17–26 апреля 2023). – НГУ. – Секции «Физика». – С. 231.
  31. Лактионова А.В., Зыкова В.А., Добрынина Е.А. Исследование упругих свойств гидрогелей на основе желатина методом спектроскопии рассеяния Мандельштама-Бриллюэна // // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам спектроскопии комбинационного рассеяния света «Комбинационное рассеяние – 95 лет исследований» (г. Новосибирск, 5–9 июня 2023) – Тезисы докладов. – ИФП СО РАН. – М.: Издательство "Перо", 2023. – С. 82. DOI 10.34077/SCATTERING95-82. <https://www.isp.nsc.ru/upload/kp95/kp95.pdf>.
  32. Мункуева Ж.Э. Фемтосекундная лазерная запись отражательных структур с различной поперечной геометрией в многомодовых оптических волокнах // 61-я Международная научная студенческая конференция 2023. МНСК-2023. (г. Новосибирск, 17–26 апреля 2023). – НГУ. – Секции «Физика». – С. 40.
  33. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Дифракционные интеграторы для объединения внешних лазерных пучков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 17–19 мая 2023). Сборник материалов в 8 т. Т. 8: Национальная конференция с международным участием «СибОптика-2023. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей». – Новосибирск, СГУГиТ, – 2023. – № 1. – С. 23–28. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-1-23-28.
  34. Новиков В.Н., Добрынина Е.А., Зайцева И.В. Определение величины нанометровых флуктуаций сдвигового модуля в стеклах и переохлажденных жидкостях методом неупругого рассеяния света // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам спектроскопии комбинационного рассеяния света «Комбинационное рассеяние – 95

- лет исследований» (г. Новосибирск, 5–9 июня 2023) – Тезисы докладов. – ИФП СО РАН. – М.: Издательство "Перо", 2023. – С. 54. DOI 10.34077/SCATTERING95-54 <https://www.isp.nsc.ru/upload/kp95/kp95.pdf>.
35. Окотруб К.А., Кондюрина С.Г., Зайцева Ю.В., Адищев С.В., Рахманова Т.А., Амстиславский С.Я. Миллифлюидный чип для измерения КРС от биологических клеток в условиях меняющегося состава окружающей среды // Там же. – С. 126. <https://www.isp.nsc.ru/nauka/izdaniya/tezisy-dokladov-kp-95>, DOI 10.34077/SCATTERING95-63.
  36. Окотруб К.А., Омельченко А.Н., Игонина Т.Н., Брусенцев Е.Ю., Амстиславский С.Я., Суровцев Н.В. Исследование криоконсервации преимплантационных эмбрионов млекопитающих методом спектроскопии комбинационного рассеяния света с использованием дейтерированных меток // Там же. – С. 80 DOI 10.34077/SCATTERING95-80 <https://www.isp.nsc.ru/nauka/izdaniya/tezisy-dokladov-kp-95>.
  37. Омельченко А.Н. Характеризация метаболизма клеток дрожжей методом комбинационного рассеяния света дейтерированных меток // 61-я Международная научная студенческая конференция 2023. МНСК-2023. (г. Новосибирск, 17–26 апреля 2023). – НГУ. – Секции «Физика». – С. 234.
  38. Омельченко А.Н., Окотруб К.А. Применение метода комбинационного рассеяния света к детектированию дейтерированных метаболитов в дрожжевых клетках // // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам спектроскопии комбинационного рассеяния света «Комбинационное рассеяние – 95 лет исследований» (г. Новосибирск, 5–9 июня 2023) – Тезисы докладов. – ИФП СО РАН. – М.: Издательство "Перо", 2023. – С. 66. <https://www.isp.nsc.ru/upload/kp95/kp95.pdf>, DOI: 10.34077/SCATTERING95.
  39. Омельченко А.Н., Окотруб К.А., Игонина Т.Н., Брусенцев Е.Ю., Амстиславский С.Я., Суровцев Н.В. Исследование транспорта дейтерированных соединений в преимплантационных эмбрионах мыши методом комбинационного рассеяния света // Невская фотоника – 2023 (Всероссийская научная конференция с международным участием) (г. Санкт-Петербург, 9–13 октября 2023) – С. 161. <https://nevphoton.ru/docs/sbornik2023.pdf>.
  40. Омельченко А.Н., Окотруб К.А., Суровцев Н.В., Игонина Т.Н., Брусенцев Е.Ю., Амстиславский С.Я. Применение спектроскопии комбинационного рассеяния света к характеристике метаболизма преимплантационных эмбрионов мыши // IX Международная конференция молодых ученых: вирусологов, биотехнологов, биофизиков, молекулярных биологов и биоинформатиков OpenBio – 2023 (р.п. Кольцово, 26–29 сентября 2023 г.) – С. 379. [https://openbio.ru/openbio\\_tezis\\_2023.pdf](https://openbio.ru/openbio_tezis_2023.pdf), DOI: 10.25205/978-5-4437-1526-1-200.
  41. Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Колин О.В., Скоробогатов Д.Н., Зарубин И.А., Семенов З.В., Селюнин Д.О., Саушкин М.С., Боровиков В.М. Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой «Гранд-ИСП» для одновременного определения элементов // IV Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии с международным участием (г. Краснодар, 24–30 сентября 2023). Матер. конф. – С. 150.

- [https://www.analytconf.ru/files/2023/Materialy\\_IV\\_Vserossiyskoi\\_konferenci\\_i\\_po\\_analyticheskoy\\_spektroskopii\\_s\\_mezhdunarodnym\\_uchastiem\\_v2.pdf](https://www.analytconf.ru/files/2023/Materialy_IV_Vserossiyskoi_konferenci_i_po_analyticheskoy_spektroskopii_s_mezhdunarodnym_uchastiem_v2.pdf).
42. Пришляк Е.Е. Система управления движением беспилотных аппаратов по программной траектории. // Информационные технологии. Научный инжиниринг: Материалы 61-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, 17–26 апреля 2023). Proceedings of the 61th International scientific student conference. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2023. – С. 73. DOI 10.25205/978-5-4437-1437-0.
  43. Пугачев А.М., Соколов А.А. Излучение в структурах «металл-нанометровый зазор-сегнетоэлектрик» при нагреве // XXIII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС-XXIII) (г. Тверь, 3–6 октября 2023) – С. 136. <https://tversu.ru/vks23>.
  44. Пугачев А.М., Соколов А.А. Механические элементы в пирозлектрических приёмниках излучения // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 17–19 мая 2023). Сборник материалов в 8 т. Т. 8: Национальная конференция с международным участием «СибОптика-2023. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей». – Новосибирск, СГУГиТ, – 2023. – № 1. С. 51–55. DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-2-51-55.
  45. Пугачев А.М., Соколов А.А. Эволюция дипольного момента в кристаллах и пленках ниобата бария стронция // XXIII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС-XXIII) (г. Тверь, 3–6 октября 2023 г.) – С. 131 <https://tversu.ru/vks23>.
  46. Ростом А.М., Ильичев Л.В. Оперативное обнаружение подслушивания при квантовом распределении ключей с использованием запутанных когерентных состояний // 17 Всероссийская конференция с международным участием «Физика ультрахолодных атомов» (г. Новосибирск, 18–20 декабря 2023). – Институт лазерной физики СО РАН. – Пленарный доклад. – С. 42.
  47. Сидоров А.В., Будников К.И. Исследование нейросетевых моделей для процесса измерения параметров многофазного потока со скважины // Сборник трудов всероссийской конференции с международным участием «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2023)» (г. Бердск, 22–25 августа 2023). – С. 143–148. DOI: 10.25743/sdm.2023.99.69.001.
  48. Сидоров А.В., Будников К.И. Моделирование процесса измерения параметров многофазного потока со скважины с помощью нейронных сетей // Сборник материалов X Международной научной конференции «Математическое и компьютерное моделирование» (г. Омск, 10 февраля 2023) – С. 180–182.
  49. Соколов А.А. Электромеханические волны в структурах с нанозазором // Сборник тезисов III Международной конференции, посвященной 60-летию ИФТТ РАН «Физика конденсированных состояний» ФКС-2023 (Черноголовка, 29 мая – 2 июня 2023). С. 304. DOI: 10.26201/ISSP.2023/FKS-3.301.

50. Томилин В.А., Ростом А.М., Ильичев Л.В. Геометрическая фаза как основа перспективного квантового гироскопа // 17 Всероссийская конференция с международным участием «Физика ультрахолодных атомов» (г. Новосибирск, 18–20 декабря 2023). – Институт лазерной физики СО РАН. – Пленарный доклад. – С. 50.
51. Хрипунов В.П., Брагин В.И., Дедов С.В., Шадрин М.Ю. Применение инновационных подходов к разработке системы обеспечения регистрации и информационной поддержки тренажеров по программе РОС // Материалы XV Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос» (Звездный городок, 15–17 ноября, 2023). С. 195–196.
52. Черненко А.А., Сапрыкин Э.Г. Эффекты когерентности магнитных подуровней, индуцированные полем волны линейной поляризации в спектрах насыщенного поглощения и магнитного сканирования в атомах с  $\Lambda$ - и  $V$ -типом переходов // 17 Всероссийская конференция с международным участием «Физика ультрахолодных атомов» (г. Новосибирск, 18–20 декабря 2023). – Институт лазерной физики СО РАН. – С. 55.
53. Черненко И.М. Аксиоматическая семантика таймаутов в процесс-ориентированном языке роST // 61-я Международная научная студенческая конференция 2023. МНСК-2023. (г. Новосибирск, 17–26 апреля 2023). – НГУ. – Секция «Математика». – НГУ, 2023. С. 224–225.
54. Черненко И.М. Аксиоматическая семантика операторов управления процессами процесс-ориентированного языка роST // Сборник материалов X международной научной конференции «Математическое и компьютерное моделирование». Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2023. С. 258–260.
55. Чубаков П.А., Сорокин В.А., Микерин С.Л., Аполонский А.А. Метод спектральных временных окон для исследования сложных динамических процессов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Междунар. науч. конгр. (г. Новосибирск, 17–19 мая 2023), сб. материалов в 8 т. Т. 8 : Национальная науч. конф. с междунар. участием «СибОптика-2023. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей». № 2. Новосибирск: СГУГиТ, 2023. ISSN 2618-981X. С. 92–99. DOI 10.33764/2618-981X-2023-8-2-92-99. EDN JEKYWR.
56. Шевченко О.Н., Микерин С.Л., Кох К.А., Николаев Н.А. Перспективы применения кристаллов GaSe:S для телекоммуникационных систем следующего поколения // XII международная конференция по фотонике и информационной оптике : Сборник научных трудов (Москва, 1–3 февраля 2023). – Москва: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2023. – С. 424–425. – EDN RXUVLP.
57. Шевченко О.Н., Николаев Н.А., Анцыгин В.Д., Кох К.А., Микерин С.Л. Оптические свойства кристаллов GaSe:S и перспективы их применения в телекоммуникационных устройствах // Тезисы докладов Российской конференции и школы молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) (г. Новосибирск, 4–8 сентября 2023) / ИФП СО РАН. М: Издательство «Перо» – 2023. – С. 28. DOI 10.34077/RCS2023-28.

58. Abalmasov V.A. Metastable states in the J1-J2 Ising model // The International Summer Conference on Theoretical Physics (Moscow, 3–7 July 2023) [https://actp.mipt.ru/isctp/info/ISCTP-2023\\_Scientific\\_program.pdf](https://actp.mipt.ru/isctp/info/ISCTP-2023_Scientific_program.pdf).
59. Babin S.A. New laser regimes in multimode and multicore fibers with femto-second-pulse inscribed 1D-3D refractive-index structures // Advanced Fiber Laser (AFL) 2023 (Shenzhen, 10–12 November 2023). Plenary talk.
60. Belokon S.A., Zolotukhin Y.N., Maltsev A.S. Total Energy Flight Speed and Altitude Control for a Small UAV: Simulation and Flight Experiment // 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE) (Novosibirsk, Russian Federation – 2023). – P. 1100–1103, DOI: 10.1109/APEIE59731.2023.10347892.
61. Belousov D.A., Kuts R.I., Korolkov V.P. Thermochemical laser writing of silicide masks on dual-layer films a-Si/Cr // SPIE Proceedings. Photonics Asia. – 2023. (Beijing, China, 14–16 October 2023). – Paper 12768-88.
62. Budarnykh A.E., Lobach I.A., Kablukov S.I. Optical Frequency Domain Reflectometer for Spatial-Resolved Gas Sensing // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) – 2023. – V. 2023-June, 2023. P. 930–933.
63. DOI: 10.1109/EDM58354.2023.10225167.
64. Chernenko I.M. Requirements patterns in deductive verification of process-oriented programs and examples of their use // Системная информатика, 2023. No. 22. doi: 10.31144/si.2307-6410.2023.n22.p11-20.
65. Chernenko I.M., Anureev I.S. Development of Verification Condition Generator for Process-Oriented Programs in PoST Language // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Novosibirsk, Russian Federation, 2023). – P. 1760–1765, doi: 10.1109/EDM58354.2023.10225217.
66. Dostovalov A., Bronnikov K., Gladkikh S., Mitsai E., Zhizhchenko A., Kuchmizhak A. Highly regular nanogratings formation on amorphous semiconductors films by femtosecond laser radiation // Proc. SPIE, v.12762: Advanced Laser Processing and Manufacturing VII. – 2023. – 14–16 October 2023, Beijing, China. P. 12762-8.
67. Gaskov M.P., Salgaeva U.O., Kondakov A.A., Lobach I.A. AWG-Based Interrogator for FBG Sensors // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) – 2023. – V. 2023-June, 2023. P. 910–914. DOI 10.1109/EDM58354.2023.10225072.
68. Gnezdilova A.V., Garanina N.O., Staroletov S.M., Zyubin V.E. Towards Controlled Natural Language for Event-Driven Temporal Requirements // Там же. – P. 1860–1865, doi: 10.1109/EDM58354.2023.10225047.
69. Gornev I.A., Bondarchuk V.V. Towards Collaborative Coding in RIDE Web IDE // 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE) (Novosibirsk, Russian Federation). – 2023. – P. 970–974, doi: 10.1109/APEIE59731.2023.10347731.
70. Ishchenko A.D., Anureev I.S., Staroletov S.M., Garanina N.O., Zyubin V.E. Formalization of Process-oriented Programs in poST Using Isabelle/HOL //

- 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Novosibirsk, Russian Federation). – 2023. – P. 1810–1815, doi: 10.1109/EDM58354.2023.10225143.
71. Kharenko D.S., Koliada N., Gervaziev M., Chekhovskoy I., Bochkarev N., Revyakin A., Patrin G., Shtyrina O., Fedoruk M., Babin S. Nonlinear pulse dynamic in a weak coupled normal dispersion multicore fiber // Proc. SPIE, vol.12775: Quantum and Nonlinear Optics X, 127750W (2023) <https://doi.org/10.1117/12.2688542>.
  72. Korolkov V., Bessmetlsev V., Dostovalov A., Babin S. Precision Laser Technologies for Optical Instrumentation // The 30th International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT 2023). – LM-I-20.
  73. Kuts R., Belousov D., Korolkov V. Usage of the metal silicide formation reactions for direct thermochemical laser writing // Там же. – LM-O-11. DOI: 10.24412/cl-35039-2023-23-45-45.
  74. Kuts R.I., Korolkov V.P., Sametov A.R., Cherkashin V.V., Zaitseva D.A., Golubtsov S.K. Thermochemical laser writing of chromium grayscale masks and their application for fabrication of multilevel diffractive optical elements // SPIE Proceedings. SPIE Proceedings. Photonics Asia. – 2023. – (Beijing, China, 14–16 October 2023). – Paper 12768-88.
  75. Kuznetsov A.G., Wolf A.A., Munkueva Zh., Dostovalov A.V., Babin S.A. Optimization of random FBG array in multimode graded-index fiber for Raman lasing with improved spatio-spectral characteristics // Proc. SPIE, v.12760: Advanced Lasers, High-Power Lasers, and Applications XIV. – 14–16 October 2023, Beijing, China.
  76. Nikolaev N., Rybak A., Kuznetsov S. Improving the technique of terahertz time-domain spectroscopy by means of anti-aliasing filtration and under-sampling // Proc. SPIE 12776, Infrared, Millimeter-Wave, and Terahertz Technologies X, 127760G (26 November 2023). <https://doi.org/10.1117/12.2687656>
  77. Nikolaev N., Sinko A., Bychkova S., Antsygin V., Maximov L., Minakov F., Shkurinov A. Characterization of the new semiorganic nonlinear crystal of guanlylurea hydrogen phosphite in the terahertz range // Proc. SPIE 12776, Infrared, Millimeter-Wave, and Terahertz Technologies X, 1277615 (26 November 2023).
  78. Novikov V.N. Correlation of the medium-range fluctuations of the shear modulus in glass-formers with fragility // 9th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems (Makuhari Messe, Chiba, Japan, 12–18 August 2023) [https://9idmrsc.jp/files/9IDMRCS\\_Program\\_August13-18.pdf?230807](https://9idmrsc.jp/files/9IDMRCS_Program_August13-18.pdf?230807).
  79. Permiashkin D.A. Towards Conflict Resolution Methods in Process-Oriented Programs // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), Novosibirsk, Russian Federation. – 2023. – P. 1790–1793, doi: 10.1109/EDM58354.2023.10225109.
  80. Poddubrovskii, N.R., Lobach, I.A., Kablukov, S.I. Optimization of Noise Floor Level in an Optical Frequency Domain Reflectometer Based on a Self-Sweeping Fiber Laser (Conference Paper) // 24th IEEE International Conference of

- Young Professionals in Electron Devices and Materials. – 2023. – V. 2023-June, 2023. – P. 890–894. DOI: 10.1109/EDM58354.2023.10225015.
81. Pugachev A.M., Sokolov A.A. Evolution of the dipole moment in crystals and films of strontium barium niobate // International Conference “Materials Science and nanotechnology” (Ekaterinburg, August 27–30, 2023). P. 32. <https://nanocenter.urfu.ru/en/msn2023/>.
  82. Roganov V., Dolgovesov B., Asmolova E., Chetvergova M. Analysis of Directions for Improvement of Flight Simulators // E3S Web of Conferences: «International Scientific Conference on Biotechnology and Food Technology (BFT-2023)» (Saint Petersburg, Russia, September 19–21, 2023). – V. 460. – Article Number 04037. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346004037>.
  83. Roganov V., Dolgovesov B., Gudkova E. Simulators of visual environment of aviation and space simulators // E3S Web of Conf. «International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Environmental Technologies (EMMFT-2023)» (Voronezh, Russia, October 9–13, 2023). – Article Number 03014. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345803014>.
  84. Roganov V., Chetvergova M., Savochkin A., Dolgovesov B. The Task of Synthesizing 3D-models of the Environment with 3D-models of Moving Objects Using Aviation Simulator // International Conference on Evolutionary Artificial Intelligence (ICEAI 2023) (Malaysia, 13–14, September 2023). Сборник докладов. 2023 ICEAI Proceedings.pdf. P. 564–590. <https://drive.google.com/file/d/1vzXoMiaDqU20UKbSV8Jb4gQEX-jjkdlX/view>.
  85. Shevchenko O.N., Nikolaev N.A., Antsygin V.D. Estimation of the nonlinear-optical coefficient of GaSe:S crystals according to electro-optical measurements // Proc. SPIE 12920, XVI International Conference on Pulsed Lasers and Laser Applications, 129200G, 2023.
  86. Shevchenko O.N., Nikolaev N.A., Antsygin V.D. Nonlinear coefficients at telecom wavelengths responsible for the optical and terahertz wave interactions in GaSe:S crystals // Proc. SPIE 12776, Infrared, Millimeter-Wave, and Terahertz Technologies X, 127760Z (26 November 2023).
  87. Timofeev K.A., Shornikov Y.V., Achitaev A.A. Comparison of Numerical Methods for Stiff Problems in SimInTech // IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Novosibirsk, Russian Federation). – 2023. – P. 1730–1733, doi: 10.1109/EDM58354.2023.10225240.
  88. Trubin M.V., Yurkevich V.D. Estimation of the Mathematical Model Parameters for a Multi-channel Electro-hydraulic Strength Test Bench // Там же. DOI: 10.1109/EDM58354.2023.10225085.
  89. Vyatkin S., Dolgovesov B. A method for modeling volumetric clouds and sub-surface scattering of functionally specified objects // E3S Web of Conferences: International Scientific Siberian Transport Forum – TransSiberia 2023 (Novosibirsk, Russia, May 16–19, 2023). – V. 402, Article Number 03004. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340203004>.
  90. Vyatkin S., Dolgovesov B. The method of multiple sampling by significance for the visualization of functionally defined scenes // E3S Web of Conferences:

International Scientific and Practical Conference «Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering, 2023» (ERSME – 2023) (Rostov-on-Don, Russia, March 1–3, 2023). – V. 376, Article Number 05029. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337605029>.

91. Zyubin V.E., Garanina N.O., Kozlova A.V. Developing EDTL IDE Kernel with Xtext Framework // 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE) (Novosibirsk, Russian Federation). – 2023. – P. 1000–1005, doi: 10.1109/APEIE59731.2023.10347639.
92. Zyubin V.E., Ivanishkin D.S., Anureev I.S. Towards Process-Oriented Programming Distributed Control Systems // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Novosibirsk, Russian Federation). – 2023. – P. 1840–1843, doi: 10.1109/EDM58354.2023.10225024.
93. Zyubin V., Kravchenko A., Sychev A. Visual monitoring of swarms of industrial robots // 2023 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2023. – P. 604–609, doi: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272883.
94. Zyubin V., Maseevsky A. Developing Cloud PLC for poST-Specified Software // 2023 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE, 2023. – P. 477–481, doi: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272742.

#### 6.4. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

1. Cholach A.R., Yakovin D.V., Latkin N.I., Sidorov I.A. Freezing-out of heavy isotopes of Kr // arXiv:2311.18404 [cond-mat.mtrl-sci]. DOI 10.48550/arXiv.2311.18404.
2. Mullyadzhyanov I., Gudko A., Mullyadzhyanov R., Gelash A. Numerical direct scattering transform for breathers // arxiv.org:2308.04568. Proceedings of the Royal Society A. Mathematical, Physical and Engineering Sciences v. 480 Issue 2282. Online ISSN: 1471 2946. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.2023.0529>.

#### 6.5. АВТОРЕФЕРАТЫ

1. Гервазиев М.Д. Исследование нелинейной пространственно-временной эволюции излучения в многомодовых волокнах с градиентным профилем показателя преломления методом модовой декомпозиции. Дисс. к.-ф.м.н. по спец. 1.3.6 – «Оптика» (рук. к.ф.-м.н. Харенко Д.С.) – Новосибирск: ИАиЭ СО РАН, 2023.
2. Рыбак А. Развитие методов и техники фильтрации и субдискретизации в импульсной терагерцовой спектроскопии. Дисс. к.-ф.м.н. по спец. 1.3.6 – «Оптика» (рук. к.т.н. Николаев Н.А.) – Новосибирск: ИАиЭ СО РАН, 2023
3. Свитов Д.В. Оптимизация производительности свёрточных нейронных сетей в системе распознавания лиц. Дисс. к.-ф.м.н. по спец. 1.2.2 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (рук. д.т.н. Нежевенко Е.С.) – Новосибирск: ИАиЭ СО РАН, 2023.

## 6.6. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

1. Патент № 2793297 РФ на изобретение Будадин О.Н. Федотов М.Ю. Шелемба И.С. Козельская С.О. Способ оптико-теплового контроля внутренних деформаций конструкции из полимерного композиционного материала и устройство для его осуществления. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Опубликовано: 31.03.2023 Бюл. № 10.
2. Патент № 2793298 РФ на изобретение Будадин О.Н. Федотов М.Ю. Шелемба И.С. Козельская С.О. Способ неразрушающего контроля качества конструкции и ресурса автомобильного газового баллона из полимерных композиционных материалов и устройство для его осуществления. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Опубликовано: 31.03.2023 Бюл. № 10.
3. Патент № 2797442 РФ на изобретение В.В. Коняшкин, А.А. Соколов. Электростатический преобразователь. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Опубликовано: 06.06.2023 Бюл. № 16.
4. Патент № 2797692 РФ на изобретение Вольф А. А., Немов И. Н., Скворцов М. И., Чурин А.Е. Стабилизированный источник лазерного излучения с протяженным резонатором в волоконном световоде. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Опубликовано: 07.06.2023 Бюл. № 16.
5. Патент № 2797693 РФ на изобретение Лобач И.А., Каблуков С.И. Способ измерения параметров неоднородностей показателя преломления вдоль оптического волокна и оптический рефлектометр частотной области. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Опубликовано: 07.06.2023 Бюл. № 16.
6. Патент № 2801639 РФ на изобретение Владимирская А.Д., Поддубровский Н.Р., Лобач И.А., Каблуков С.И. Волоконный кольцевой источник лазерного излучения с пассивным сканированием частоты. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН. Опубликовано: 11.08.2023 Бюл. № 23.
7. Патент № 2801676 на изобретение Бударных А.Е., Лобач И.А., Тимиртдинов Ю.А., Смолянинов Н.Н. Способ автоматического измерения и управления длиной волны перестраиваемого источника оптического излучения и устройство для его осуществления. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН и ПГНИУ, Опубликовано: 14.08.2023 Бюл. № 23.
8. Свидетельство № 2023663116 Лобач И.А., Симонов В.А., Терентьев В.С., Вобликов Е.Д., Салгаева У.О. Программа оценки параметров фотонных интегральных схем. Патентообладатель ИАиЭ СО РАН и ПГНИУ. Дата публикации и номер бюллетеня: 20.06.2023 Бюл. № 6.

## 6.7. ПУБЛИКАЦИИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В ОТЧЕТ 2022 ГОДА

### СТАТЬИ

1. Сапрыкин Э.Г., Черненко А.А, Никитенко А.Г. Резонансы насыщенного поглощения на переходах с моменом уровней  $J=1/2$  в сильном насыщающем поле // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2022. – № 2. – С. 27–31. – EDN ROHMHZ.
2. Korolkov V.P., Sedukhin A.G., Kuts R.A., Cherkashin V.V., Golubtsov S.K., Malyshev A.I., Belousov D.A. // Analyzing the tolerances on direct laser writing

- of two-dimensional Dammann gratings and performing the software correction of writing modes. – Proc. SPIE 12318, Holography, Diffractive Optics, and Applications XII, 123182G (19 December 2022); doi: 10.1117/12.2643720.
3. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Malinovskiy V.K., Surovtsev N.V., Ivleva L.I., Lykov P.A. Determination of the Burns temperature in strontium barium niobate crystals with various chemical compositions probed by Raman and Brillouin scattering // *Ferroelectrics*. – 2022. – V. 592. – С. 108–115. DOI 10.1016/j.jallcom.2022.164022.

#### МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ, СЕМИНАРОВ

1. Зюбин В.Е. Реализация распределенной системы управления с сохранением семантики гиперпроцесса // Сборник трудов Российской конференции с международным участием «Распределенные информационно-вычислительные ресурсы (DICR-2022)» (г. Новосибирск, 5–8 декабря 2022). С. 91–97. DOI: 10.25743/DIR.2022.51.99.016.
2. Микерин С.Л., Симанчук А.Э., Чубаков П.А., Шелковников В.В., Васильева Н.В., Коротаяев С.В., Орлова Н.А., Бережная В.Н., Каргаполова И.Ю., Максимов А.М., Ищенко Р.А., Рязанов Н.Д. Нелинейно-оптические свойства дендронизованных донорно-акцепторных хромофоров, содержащих полифторированные блоки // *Материалы всероссийской научной конференции с международным участием "IV Байкальский материаловедческий форум"*, Улан-Удэ - оз. Байкал, 01-07 июля 2022 года. - Улан-Удэ: Бурятский научный центр Сибирского отделения РАН, 2022. - С. 194-196. - EDN MJAQZR.

#### ЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗДАНИЯ

1. Budnikov K.I., Serdyukov O.V., Kurochkin A.V., Nestulya R.V. Application of HTTP Filters to Manage Access to the Equipment in Automated Control Systems Based on the Technology of Industrial Internet of Things // *Current Overview on Science and Technology Research*. V. 7, 26 October 2022. P. 120–130. ISBN 978-93-5547-902-0 (eBook). <https://doi.org/10.9734/bpi/costr/v7/4228A>

#### АВТОРЕФЕРАТЫ

1. Ткаченко А.Ю. Разработка и исследование устройств опроса волоконно-оптических датчиков на основе самосканирующего волоконного лазера. Дисс. к.-ф.м.н. по спец. 1.3.6.– «Оптика» (рук. Лобач И.А.) – Новосибирск: ИАиЭ СО РАН, 2022.

Научное издание

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ  
в 2023 году

Отчет о деятельности

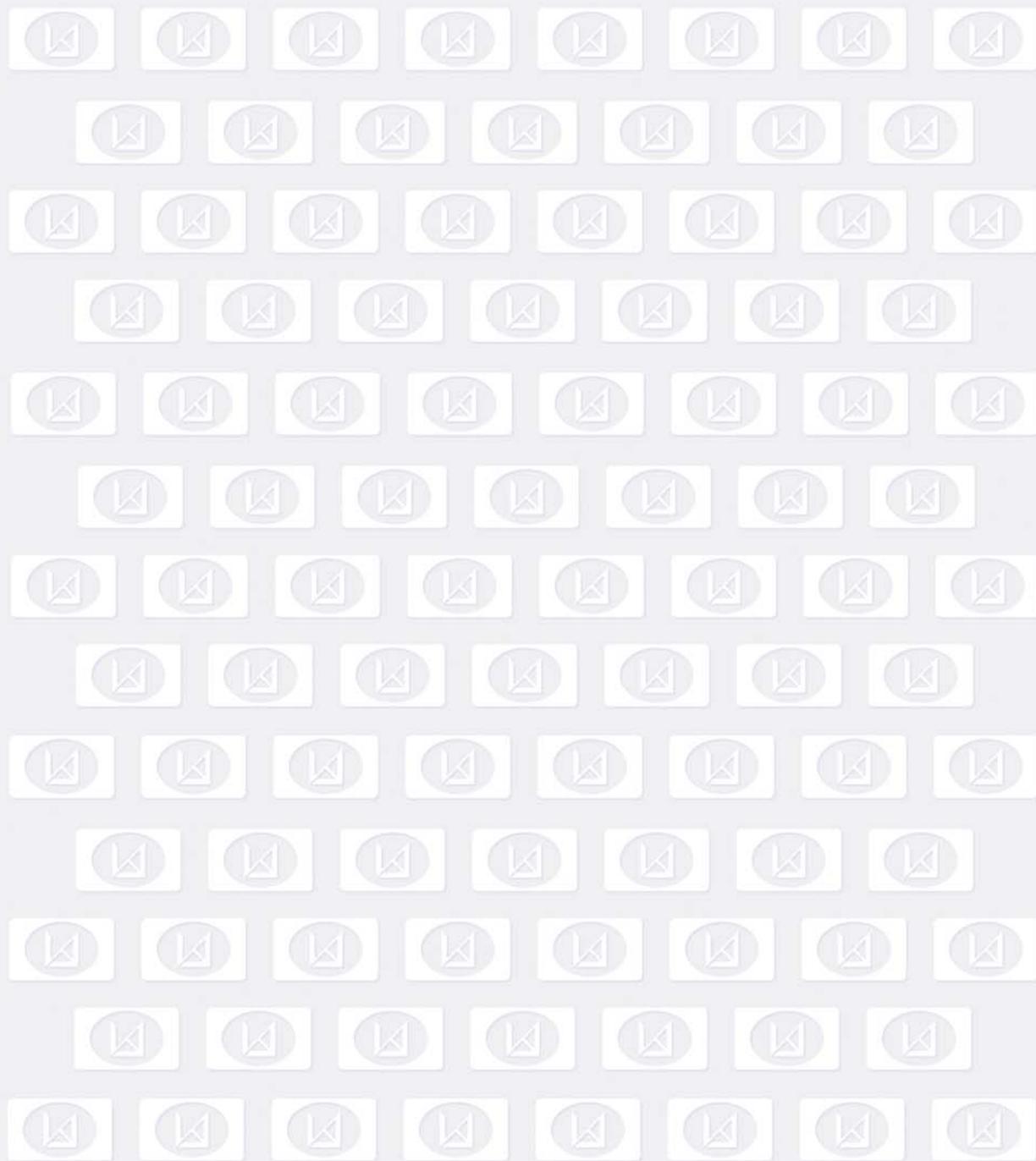
Редактирование, компьютерная верстка, дизайн  
*Потатуркина Н.Г., Максимова Н.Н.*

---

Подписано в печать .07.2024 г. Формат 70×108/16  
Усл.-печ. л. 11,03 Тираж 100 экз. Заказ № 154

---

Сибирское отделение РАН  
630090, г. Новосибирск, просп. академика Лаврентьева, 17  
Отпечатано в Сибирском отделении РАН  
630090, г. Новосибирск, Морской просп. 2  
Тел. 330-84-66  
E-mail: [e.lyannaya@sb-ras.ru](mailto:e.lyannaya@sb-ras.ru)



**ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ  
И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ СО РАН**

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

