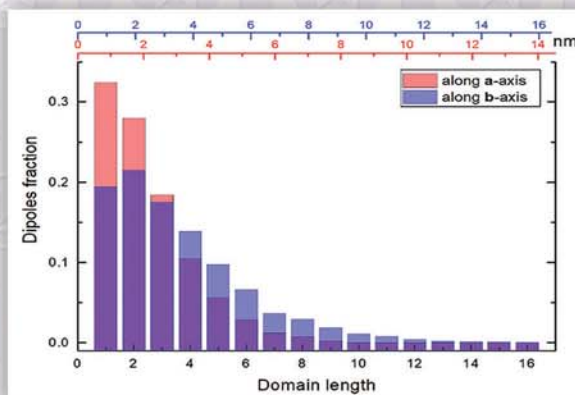
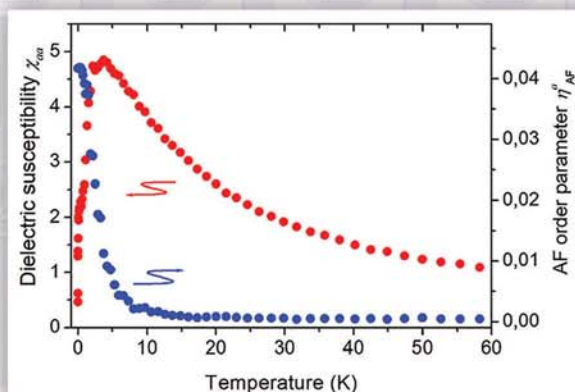
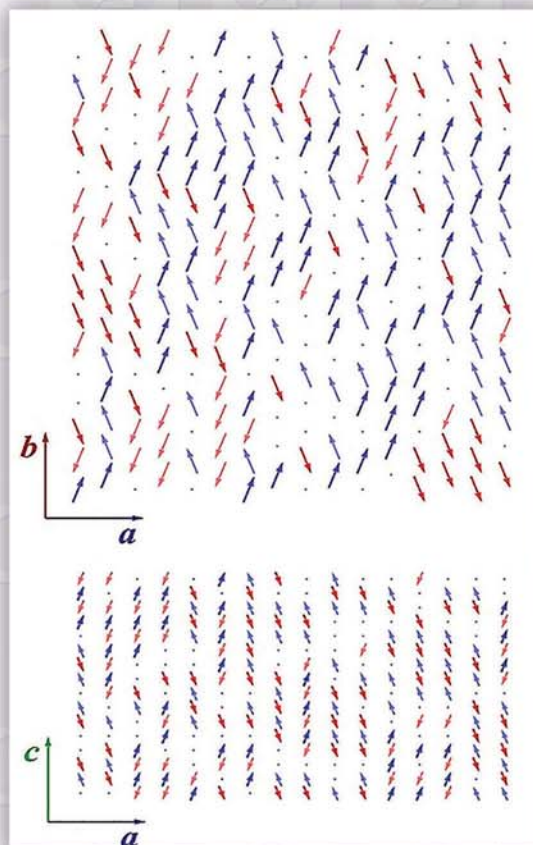


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Сибирское отделение Российской академии наук



Институт автоматике
и электрометрии

в 2020 году



Отчет о деятельности

Новосибирск

Институт автоматики и электрометрии
Сибирского отделения Российской академии наук

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ
в 2020 году

Отчет о деятельности

НОВОСИБИРСК
2021

УДК 535 + 538.9 + 539.1 + 621.391 + 681.5 + 681.7+004.3

ББК 22.34+22.38+32.81+32.965+22.34+73

О-88

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 978-5-6046428-7-0

© ИАиЭ СО РАН, 2021

Новосибирск

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	6
1. НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В 2020 ГОДУ	8
2. ПРОЕКТЫ ГОСЗАДАНИЯ ИНСТИТУТА	23
3. РФФИ, РНФ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ	75
4. ПРИКЛАДНЫЕ РАЗРАБОТКИ И ПРОЕКТЫ	77
5. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	82
5.1. СТРУКТУРА НАУЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ИАиЭ СО РАН.....	82
5.2. ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИАиЭ СО РАН.....	84
5.3. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ.....	84
5.4. МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ.....	86
5.5. ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ.....	89
5.6. НАГРАДЫ.....	92
6. ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИАиЭ СО РАН в 2020 г.	94
6.1. ПАТЕНТЫ.....	94
6.2. СТАТЬИ.....	94
6.3. МОНОГРАФИИ.....	110
6.4. МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ, СЕМИНАРОВ.....	111
6.5. АВТОРЕФЕРАТЫ.....	130
6.6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ.....	130
6.7. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ.....	130
6.8. ПУБЛИКАЦИИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В ОТЧЕТ 2019 ГОДА.....	130

ВВЕДЕНИЕ

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

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

Всего по этим направлениям выполнялось 12 базовых проектов госзадания. Отчетный 2020 год был заключительным по 10 проектам госзадания и промежуточным по 2 проектам.

В 2020 г. была получена премия Правительства Новосибирской области в номинации «Лучший молодой исследователь» по направлению научного исследования «Лазерные, плазменные и электронно-лучевые технологии».

Ученым советом Института признаны наиболее важными следующие результаты, полученные в 2020 г.:

- Сегнетоэлектрическое упорядочение молекул воды, расположенных в нанопорах минералов (*Лаборатория спектроскопии конденсированных сред*);
- Волоконные лазеры с распределенной обратной связью на основе ВБР, созданных методом поточечной фемтосекундной записи (*Лаборатория волоконной оптики*);

- Неохлаждаемый нетеплоизолированный элемент матрицы ИК-приемников на основе пироэлектрических пленок (*Лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур*);
- Источник возбуждения спектров на основе азотной микроволновой плазмы (*Лаборатория оптических информационных систем*);
- Когерентный оптический частотный рефлектометр на основе волоконного лазера с самосканированием частоты для сенсорных применений (*Лаборатория оптических сенсорных систем*);
- Метод дедуктивной верификации управляющих программ на процессориентированном языке Reflex (*Лаборатория киберфизических систем*);
- Диагностика крови пациентов с диффузным заболеванием печени методом терагерцовой спектроскопии (*Тем. группа терагерцовой фотоники*);
- Вращательная перестройка периода интерференции в системе, состоящей из беззеркального двухлучевого интерферометра и неподвижного относительно него фотоприемника (*Лаборатория физики лазеров*).

Институтом периодически (6 раз в год) издается общероссийский научный журнал «Автометрия», который переводится и переиздается в США под названием "Optoelectronics, Instrumentation, and Data Processing".

Отчет подготовлен на основе материалов, представленных научными лабораториями, планово-финансовыми и другими подразделениями и службами Института, а также отчетных сведений, подаваемых в Минобрнауки РФ. В нем изложены наиболее важные научные и научно-технические результаты, полученные при выполнении исследований в 2020 г. Приведены некоторые общие показатели и список патентов и публикаций сотрудников Института.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Институт является научно-исследовательским институтом физико-технического профиля.

Направления исследований ИАиЭ СО РАН включают актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе физические процессы в газах и конденсированных средах, индуцированные излучением, нелинейные явления при взаимодействии излучения со структурированными материалами; фундаментальные основы, а также прикладные разработки в области лазерных и оптических технологий; архитектуру, системные решения, математические модели и программно-алгоритмическое обеспечение информационно-вычислительных комплексов восприятия, анализа, отображения информации и систем управления сложными динамическими процессами.

Основные направления исследований и разработок в соответствии с международной системной классификацией и базой данных мониторинга результативности научных организаций:

- оптика (включая лазерную оптику и квантовую оптику);
- компьютерные, информационные науки и биоинформатика.

ТЕМАТИКИ НАУЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ (ЛАБОРАТОРИИ, ТЕМАТИЧЕСКИЕ ГРУППЫ)

- (01): Физики лазеров
 - (01-1): Мощных ионных лазеров
- (02): Нелинейной спектроскопии газов
- (03): Нелинейной физики
- (04): Спектроскопии конденсированных сред
- (05): Оптических информационных систем
 - (05-1): Многоканальных анализаторов оптического и рентгеновского излучений
 - (05-2): Трёхмерных лазерных технологий
- (06): Дифракционной оптики
- (07): Лазерной графики
 - (07-1): Лазерной гравиметрии
- (08): Тонкопленочных сегнетоэлектрических структур
- (09): Нечетких технологий
- (10): Цифровых методов обработки изображений
 - (10-1): Информатики и прикладной математики
- (11): Фотоники
 - (11-3): Нелинейной оптики
- (12): Вероятностных методов исследования информационных процессов
- (13): Программных систем машинной графики
 - (13-1): Магистрально-модульных систем

- (14): Синтезирующих систем визуализации
- (15): Информационной оптики
 - (15-1): Оптико-электронных специализированных процессоров
 - (15-2): Имитационно-моделирующих стендов
 - (15-3): Автоматизации измерительных технологий
 - (15-4): Терагерцовой фотоники
- (16): Интегрированных информационных систем управления
- (17): Волоконной оптики
- (18): Оптических сенсорных систем
- (19): Киберфизических систем

1. НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В 2020 ГОДУ

В 2020 г. Ученым Советом ИАиЭ СО РАН признаны важнейшими 8 результатов.

In 2020, eight 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.

1.1. Сегнетоэлектрическое упорядочение молекул воды, расположенных в нанопорах минералов

Ferroelectric ordering of water molecules singly confined in mineral nanopores

Автор: Абалмасов В.А.

Author: Abalmasov V.A.

С помощью метода Монте Карло, ранее опробованного на диэлектриках с водородными связями [1], получены термодинамически равновесные конфигурации диполей молекул воды в нанопорах кордиерита при разных температурах (рис. 1.1) и зависимость термодинамических величин от температуры (рис. 1.2). На основании этих данных сделано заключение, что особенности в диэлектрической проницаемости и теплоёмкости при температуре около 5 и 20–30 К, наблюдаемые в эксперименте, связаны с упорядочением проекций диполей вдоль оси a и b соответственно, при этом угол между направлением диполя и осью b должен быть равен примерно 20 градусам. Несмотря на то что (анти) сегнетоэлектрический параметр порядка практически равен нулю, ниже некоторой температуры оказывается отличным от нуля стекольный параметр порядка и, согласно результатам моделирования, возрастают размеры кластеров сонаправленных диполей. Это может указывать на переход системы молекул воды в кордиерите с коэффициентом заполнения пор 0.75 в состояние дипольного стекла с элементами ближнего порядка при низкой температуре [2].

Thermodynamically equilibrium dipole configurations of water molecules in cordierite nanopores (Fig. 1.1) as well as their thermodynamic quantities at different temperatures (Fig. 1.2) were obtained using the Monte Carlo method, which was previously successfully applied to hydrogen-bonded ferroelectrics [1]. Based on these results, it was concluded that the experimentally observed anomalies of the dielectric susceptibility and heat capacity at temperatures of 5 and 20–30 K are due to the ordering of the dipole components along the a and b axes, respectively, while the angle between the dipole and the b axis should be approximately 20 degrees. At low temperature, with the antiferroelectric order parameter being always close to zero, a nonzero glass order parameter appears, and the length of clusters of parallel dipoles increases, according to the calculations (Fig. 1.2, b). This indicates a dipole glass transition of the subsystem of

water molecules in cordierite with a pore filling factor of 0.75 and the appearance of the dipole short-range order at low temperature [2].

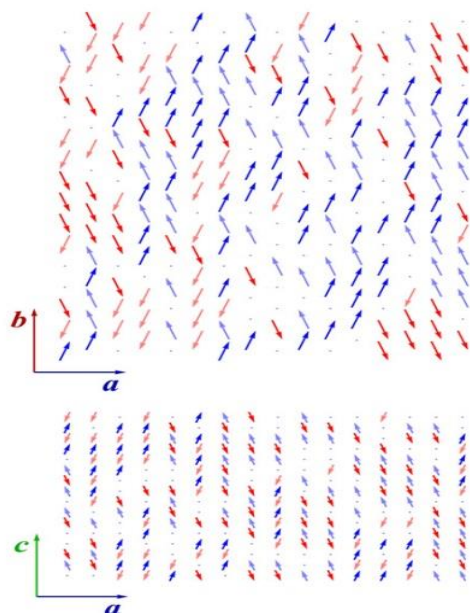


Рис. 1.1. Конфигурация диполей молекул воды в кордиерите при $T = 0$

Fig. 1.1. Configuration of dipoles of water molecules confined in cordierite pores at temperature $T = 0$

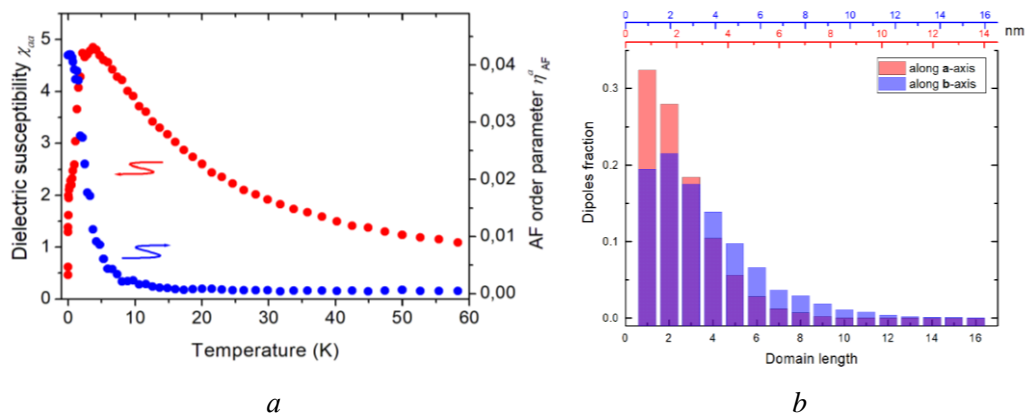


Рис. 1.2. Диэлектрическая проницаемость и антисегнетоэлектрический параметр порядка (a) и доля диполей в кластерах различной длины, образованных диполями, сонаправленными вдоль оси b (рис. 1.1), при $T = 0$ (b)

Fig. 1.2. Dielectric susceptibility and antiferroelectric order parameter (a) and fraction of dipoles in clusters of different lengths of dipoles parallel to the b (Fig. 1.1) axis at $T = 0$ (b)

Публикации/References:

1. Abalmassov V.A. Monte Carlo studies of the ferroelectric phase transition in KDP // Ferroelectrics. – 2019. – Vol. 538, is.1. – P. 1–5. – DOI:10.1080/00150193.2019.1569978.
2. Belyanchikov M.A., Savinov M., Bedran Z.V., Bednyakov P., Proschek P., Prokleska J., Abalmassov V.A., Petzelt J., Zhukova E.S., Thomas V.G., Dudka A., Zhugayevych A., Prokhorov A.S., Anzin V.B., Kremer R.K., Fischer J.K.H., Lunkenheimer P., Loidl A., Uykur E., Dressel M., Gorshunov B. Dielectric ordering of water molecules arranged in a dipole

1.2 Волоконные лазеры с распределенной обратной связью на основе ВБР, созданных методом поточечной фемтосекундной записи

Distributed feedback fiber lasers based on femtosecond pulse written point-by-point fiber Bragg gratings

Авторы: Вольф А.А.¹, Скворцов М.И.¹, Достовалов А.В.¹, Власов А.А.¹, Абдуллина С.Р.¹, Распопин К.С.¹, Парыгин А.В.¹, Бабин С.А.¹, Камынин В.А.², Цветков В.Б.², Егорова О.Н.², Семёнов С.Л.²

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

²*Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, г. Москва*

Authors: Wolf A.A.¹, Skvortsov M.I.¹, Dostovalov A.V.¹, Vlasov A.A.¹, Abdullina S.R.¹, Raspopin K.S.¹, Parygin A.V.¹, Babin S.A.¹, Kamynin V.A.², Tsvetkov V.B.², Egorova O.N.², Semjonov S.L.²

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

²*Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow (GPI RAS)*

Разработан новый метод формирования фазовых сдвигов произвольной величины в структуре волоконной брэгговской решетки (ВБР) при поточечной фемтосекундной записи [1]. Ключевым преимуществом метода является возможность модификации показателя преломления в нефоточувствительных волоконных световодах (ВС). Метод позволил изготовить высококачественные резонаторы волоконных лазеров с распределенной обратной связью (РОС-лазеров) на основе различных активных сред. Исследованы особенности режимов генерации созданных РОС-лазеров. В частности, показано, что генерация РОС-лазера на основе ВБР с фазовым π -сдвигом в эрбиевом волоконном световоде происходит исключительно для одной поляризационной моды [2]. Впервые продемонстрирован полностью волоконный гольмиевый РОС-лазер с длиной волны генерации 2.07 мкм [3]. С использованием нового композитного эрбиевого ВС разработки ИОФ РАН (г. Москва) получена генерация в рекордно коротком резонаторе длиной 5.3 мм (рис. 1.3) [4]. Созданные образцы РОС-лазеров являются перспективными источниками для ряда приложений: компактные высокочувствительные датчики физических величин, оптические линии связи, задающие источники для высококогерентных лазерных систем.

A new method was developed for the introduction of phase shifts of predefined magnitude into the structure of a femtosecond pulse written fiber Bragg grating (FBG) [1]. The key advantage of the method is the ability to modify the refractive index in non-photosensitive optical fibers. The method made it possible to develop high-quality distributed feedback fiber lasers (DFB lasers) based on various active media. The features of the lasing regimes of the developed

DFB lasers were investigated. In particular, it was shown that DFB lasing in an erbium-doped fiber occurs exclusively for one polarization mode [2]. An all-fiber holmium DFB laser with a lasing wavelength of $2.07\ \mu\text{m}$ was demonstrated for the first time [3]. With the use of a new composite erbium fiber developed by GPI RAS (Moscow), lasing was obtained in a record-breaking short cavity with a length of 5.3 mm (Fig. 1.3) [4]. The developed DFB lasers are promising sources for a number of applications: highly sensitive compact sensors of physical quantities, optical communication lines, and seed sources for highly coherent laser systems.

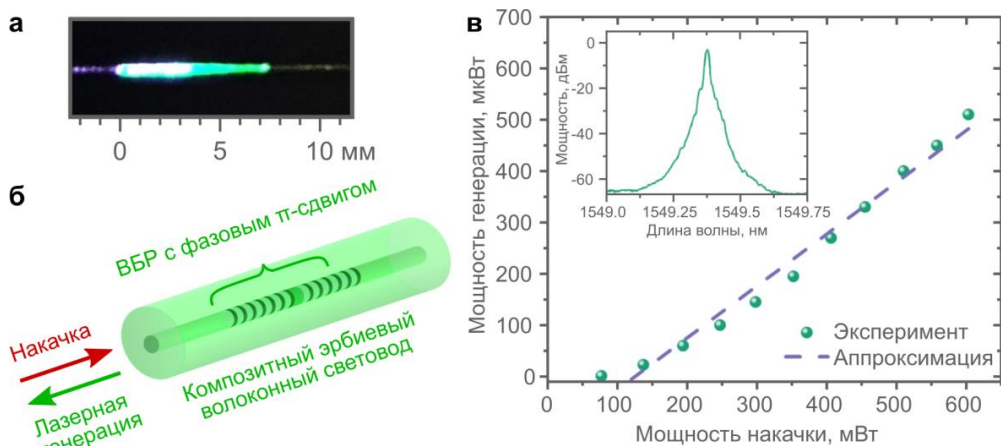


Рис.1.3. РОС-лазер на основе композитного эрбиевого ВС:

a – фотография резонатора, *б* – схема накачки резонатора, *в* – зависимость выходной мощности от мощности накачки (на вставке – оптический спектр генерации при максимальной выходной мощности)

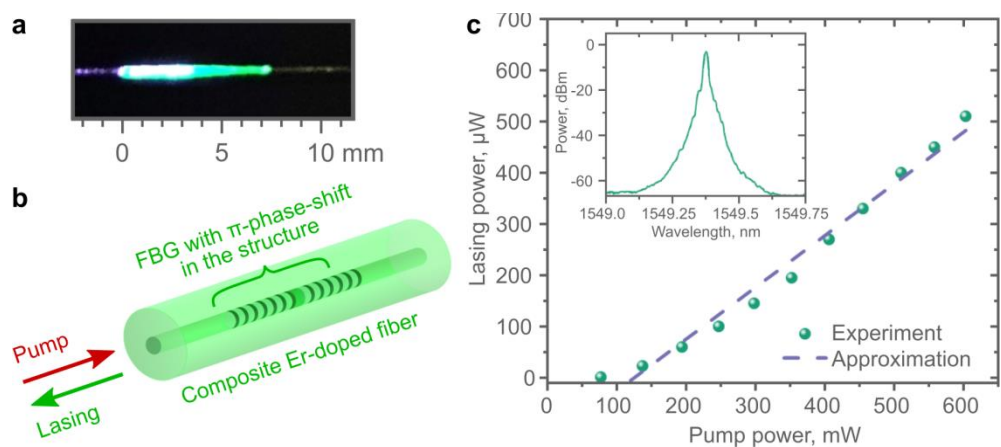


Fig. 1.3. DFB laser based on a composite erbium fiber: *a* – microphotograph of the cavity, *b* – scheme of the laser cavity pumping, *c* – laser output power versus the pump power (inset: optical spectrum of lasing at the maximum output power)

Публикации/References:

1. Wolf A., Dostovalov A., Skvortsov M., Raspopin K., Parygin A., Babin S. Femtosecond-pulse inscription of fiber Bragg gratings with single or multiple phase-shifts in the structure // Opt. Laser Technol. – 2018.– Vol. 101. – P. 202–207.
2. Skvortsov M. I., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Vlasov A.A., Akulov V.A., Babin S.A. Distributed feedback fiber laser based on a fiber Bragg grating inscribed using the femtosecond point-by-point technique // Laser Phys. Lett. – 2018. – Vol. 15, № 3. – P. 035103.
3. Wolf A.A., Skvortsov M.I., Kamynin V.A., Zhluktova I.V., Abdullina S.R., Dostovalov A.V., Tsvetkov V.B., Babin S.A. All-fiber holmium distributed feedback laser at $2.07 \mu\text{m}$ // Opt. Lett. – 2019. – Vol. 44, № 15. – P. 3781.
4. Skvortsov M.I., Wolf A.A., Vlasov A.A., Proskurina K.V., Dostovalov A.V., Egorova O.N., Galagan B.I., Sverchikov S.E., Denker B.I., Semjonov S.L., Babin S.A. Advanced distributed feedback lasers based on composite fiber heavily doped with erbium ions // Scientific Reports. – 2020. – Vol. 10, is. 1. – P. 14487. – DOI 10.1038/s41598-020-71432-w.

1.3. Неохлаждаемый нетеплоизолированный элемент матрицы ИК-приемников на основе пьезоэлектрических пленок

Uncooled thermally uninsulated element of the array of IR-detectors based on pyroelectric films

Авторы: Иванов С.Д., Косцов Э.Г.

Authors: Ivanov S.D., Kostsov E.G.

Современные многоэлементные ИК-матрицы основаны на максимальной теплоизоляции между чувствительным элементом и подложкой. Такая конструкция матрицы определяет ее высокую технологическую сложность и стоимость, при этом с ростом числа элементов матрицы требования к качеству их теплоизоляции существенно увеличиваются.

Настоящая работа [1] посвящена исследованию нового принципа построения элемента мегапиксельной ИК-матрицы. Он исключает необходимость теплоизоляции элемента и основан на использовании пьезоэлектрического эффекта. Проведено математическое моделирование функционирования элемента, численные результаты подтверждены экспериментально (рис. 1.4) на образцах, использующих в качестве чувствительного слоя тонкие пьезоэлектрические пленки ниобата-бария-стронция ($\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Nb}_2\text{O}_6:\text{La}$ ($x=0.5$)). Определены режимы функционирования рассматриваемого элемента, при которых достигается чувствительность современных болометрических приемников.

Modern multi-element IR arrays are based on the maximum thermal insulation between the sensing element and the substrate. This design feature of the array is responsible for its high technological complexity and cost. Moreover, the requirements to the quality of thermal insulation become much more severe with an increase in the number of array elements.

The present study [1] deals with a new design of a megapixel IR array element. It implies elimination of thermal insulation of the element and is based on the use of the pyroelectric effect. The element operation was modeled, and numerical results were verified via experiments on samples with thin pyroelec-

tric films of strontium—barium-niobate ($\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Nb}_2\text{O}_6$; La ($x = 0.5$)) as the sensitive layer (Fig. 1.4). Modes of operation of the element under consideration that ensure reaching the sensitivity of modern bolometric IR detectors were determined.

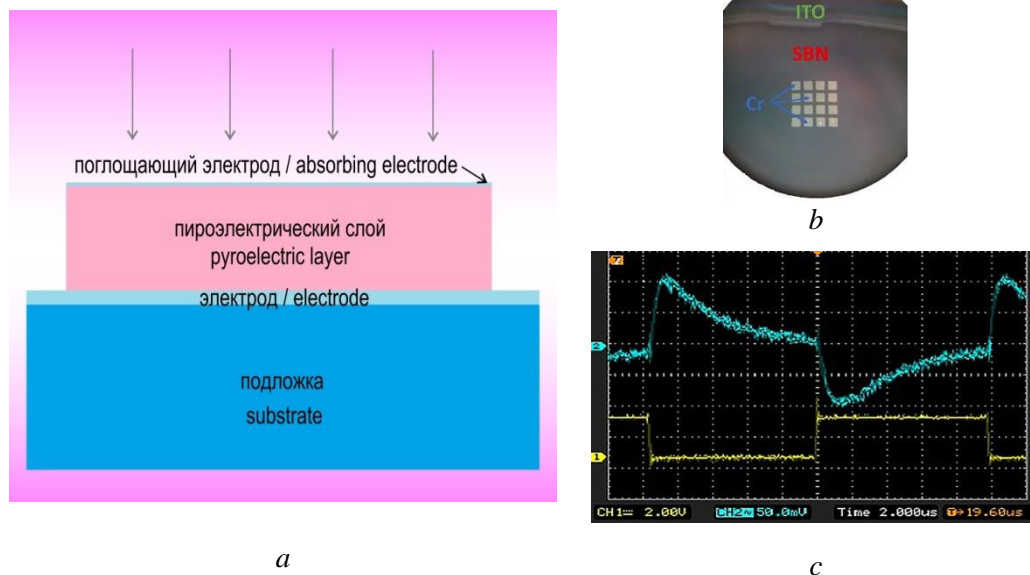


Рис. 1.4. Функционирование предлагаемого элемента: *a* – схематическая конструкция элемента; *b* – экспериментальный образец, прототип матрицы, $S = 5.2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$; *c* – характерный сигнал элемента при воздействии моделированного излучения

Fig. 1.4. Operation of the element under consideration: *a* – schematic design of the element; *b* – experimental sample, array prototype, $S = 5.2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$; *c* – characteristic element signal as a result of exposure to modulated radiation

Публикации/References:

1. Ivanov S.D., Kostsov E.G. Uncooled thermally uninsulated array element based on thin strontium barium niobate pyroelectric films // IEEE Sensors Journal. – 2020. – Is. 16. – P. 9011–9017. – DOI 10.1109/JSEN.2020.2987633.

1.4. Источник возбуждения спектров на основе азотной микроволновой плазмы

Spectrum excitation source based on nitrogen microwave plasma

Авторы: Пелипасов О.В.¹, Путьмаков А.Н.¹, Лабусов В.А.¹, Чернов К.Н.²

¹Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск (ИАиЭ СО РАН, Новосибирск)

²ООО «ВМК-Оптоэлектроника», г. Новосибирск

Authors: Pelipasov O.V.¹, Putmakov A.N.¹, Labusov V.A.¹, Chernov K.N.²

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

²LLC "VMK-Optoelektronika", Novosibirsk

Разработан новый источник возбуждения атомно-эмиссионных спектров растворов на основе азотной микроволновой плазмы тороидальной формы и близкого к аргоновой индуктивно-связанной плазме размера, возбуждаемой в цилиндрическом СВЧ (2.45 ГГц) резонаторе (рис. 1.5). Принцип получения такой плазмы основан на использовании кварцевой трехщелевой горелки, установленной продольно магнитному полю волны H_{01} , возбуждаемой в резонаторе, заполненном диэлектриком с $\epsilon = 10$. На основе разработанного источника создан спектрометр с микроволновой плазмой для анализа растворов, который по характеристикам (диапазон линейности градуировочного графика до 7 порядков, максимальная минерализация пробы 10 %, влияние матричных элементов, скорость выполнения анализа) превосходит зарубежные аналоги. Экспериментальный образец спектрометра с защитным химическим боксом апробирован в Сибирском химическом комбинате (г. Северск), где он успешно решает задачу определения содержания основных элементов (актиноидов) и примесей в растворах.

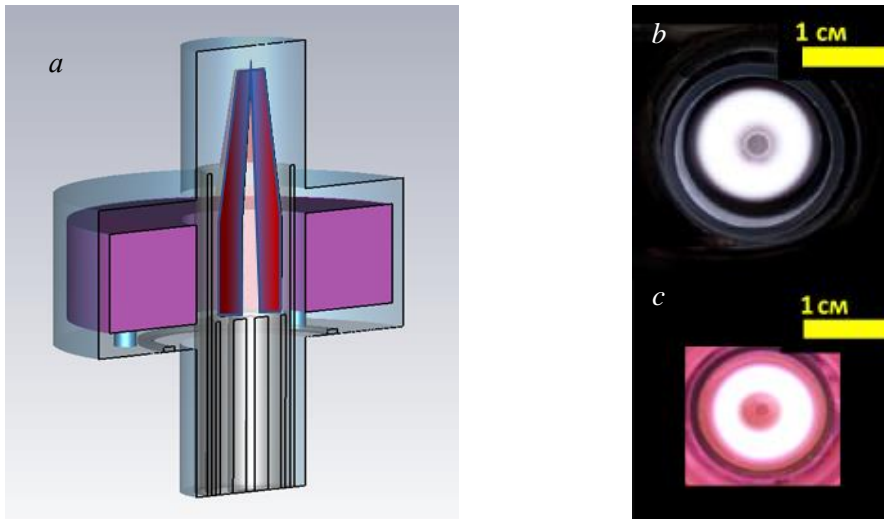


Рис. 1.5. Модель цилиндрического СВЧ резонатора с установленными внутри диэлектрическим элементом и трехщелевой кварцевой горелкой (а); фотография аргоновой индуктивно-связанной (б) и азотной микроволновой плазмы (в)

Fig. 1.5. Model of a cylindrical microwave resonator with a dielectric element and a three-slit quartz torch installed inside (a); photograph of inductively coupled argon plasma (b) and nitrogen microwave plasma (c)

A new source of excitation of atomic emission spectra of solutions based on the nitrogen microwave plasma of a toroidal shape and size close to inductively coupled argon plasma excited in a cylindrical microwave (2.45 GHz) resonator was developed (Fig. 1.5) [1–3]. The principle of obtaining such a plasma is based on the use of a quartz three-slit torch installed longitudinally to the magnetic field of the H_{01} wave excited in a resonator filled with a dielectric with $\epsilon = 10$. On the basis of the developed source, an experimental sample of an

optical spectrometer with a microwave plasma for the analysis of solutions was created, which surpasses foreign analogues in its characteristics (calibration graph linearity range up to 7 orders of magnitude, maximum mineralization of the sample 10 %, influence of matrix elements, speed of analysis, and spectral resolution 10 pm in the region of 200 nm) [4]. An experimental sample of the spectrometer with a protective chemical box was tested at the Siberian Chemical Combine (Seversk, Tomsk region), where it successfully solves the problem of simultaneous multielement determination of the content of basic elements (actinides) and impurities in solutions obtained by processing mixed uranium-plutonium nitride fuel at the spent nuclear fuel reprocessing module of the experiment demonstration power complex.

Публикации/References:

1. Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н., Чернов К.Н., Боровиков В.М., Бурумов И.Д., Селюнин Д.О., Гаранин В.Г., Зарубин И.А. Спектрометр с микроволновой плазмой «ГРАНД-СВЧ» для атомно-эмиссионного анализа // Аналитика и контроль. – 2019. – Т. 23, № 1. – С. 24–34.
2. Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н. Атомно-эмиссионный спектрометр с азотной микроволновой плазмой «Гранд-СВЧ» // Аналитика. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 140–147. – DOI 10.22184/2227-572X.2020.10.2.140.146.
3. Pelipasov O.V., Polyakova E.V. Matrix effects in atmospheric pressure nitrogen microwave induced plasma optical emission spectrometry // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. – 2020. – Vol. 35. – P. 1389–1394. – DOI 10.1039/D0JA00065E.
4. Способ определения содержания элементов и форм их присутствия в дисперсной пробе и её гранулометрического состава: пат. 2702854 Рос. Федерация на изобретение. Ващенко П.В., Гаранин В.Г., Дзюба А.А., Лабусов В.А., Пелипасов О.В.; опубли. 11.10.2019; Бюл. № 29. 2 с.

1.5. Когерентный оптический частотный рефлектометр на основе волоконного лазера с самосканированием частоты для сенсорных применений

Coherent optical frequency domain reflectometer based on a self-sweeping fiber laser for sensor applications

Авторы: Ткаченко А.Ю., Смолянинов Н.Н., Скворцов М.И., Лобач И.А., Каблуков С.И.

Authors: Tkachenko A.Yu., Smolyaninov N.N., Skvortsov M.I., Lobach I.A., Kablukov S.I.

Когерентные оптические частотные рефлектометры (КОЧР) являются сложными системами, используемыми для высокоразрешающего анализа волоконных линий и включающими в себя волоконный интерферометр, одночастотный перестраиваемый лазер и специализированное программное обеспечение. Нами продемонстрирован КОЧР [1–3], ключевым элементом которого является одночастотный самосканирующий волоконный лазер с высокой линейностью перестройки частоты собственной разработки. Экспериментально показано, что КОЧР может быть использован не только для высокоразрешающей рефлектометрии волоконной линии (дис-

кретизация ~ 200 мкм при чувствительности до -85 дБ/мм), но и для опроса массива 28 одинаковых волоконных датчиков (рис. 1.6, *a*) [3]. В частности, корреляционный анализ сигнала для одного датчика показывает смещение корреляционного пика в область меньших частот при его нагреве (рис. 1.6, *b*).

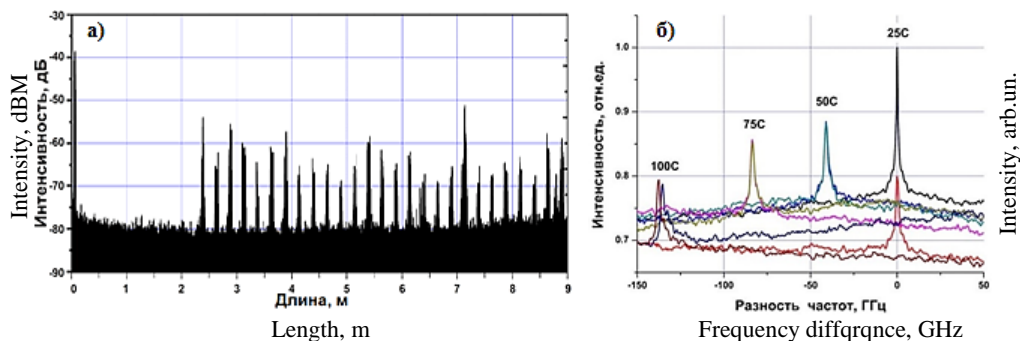


Рис.1.6. Продольное распределение коэффициента отражения в волоконной линии (*a*) и смещение корреляционного пика сигнала от одного датчика при его нагреве (*b*)

Fig. 1.6. Longitudinal distribution of the reflection coefficient in the fiber line (*a*) and the shift of the correlation peak of the signal related to one sensor during its heating (*b*)

Coherent optical frequency domain reflectometers (OFDR) are complex systems used for high-resolution analysis of fiber lines. The systems consist of a fiber interferometer, single-frequency tunable laser, and specialized software. We demonstrated an OFDR [1–3] whose key element is an in-house built single-frequency self-sweeping fiber laser with a high linearity of frequency tuning. It was experimentally demonstrated that OFDR can be used not only for high-resolution reflectometry of a fiber line (spatial sampling down to 200 microns at the sensitivity of down to -85 dB/mm), but also for interrogating an array of 28 identical fiber sensors (Fig. 1.6, *a*) [3]. In particular, the correlation analysis of the signal related to one fiber sensor reveals the shift of the correlation peak toward lower frequencies when it is heated (Fig. 1.6, *b*).

Публикации/References:

1. Ткаченко А.Ю. и др. Когерентный оптический частотный рефлектометр на основе волоконного лазера с самосканированием частоты // Квант. электроника. – 2019. – Т. 49 (12). – С. 1121–1126.
2. Смолянинов Н.Н. и др. Модуль обработки оптических сигналов с устройств на основе волоконного лазера с самосканированием частоты // Приборы и техника эксперимента (в печати).
3. Ткаченко А.Ю., Смолянинов Н.Н., Скворцов М.И., Лобач И.А., Каблуков С.И. Когерентный оптический частотный рефлектометр на основе волоконного лазера с самосканированием частоты для сенсорных применений // Приборы и техника эксперимента. – 2020. – № 4. – С. 102–108. – DOI 10.31857/S0032816220040333.

1.6. Метод дедуктивной верификации управляющих программ на процесс-ориентированном языке Reflex

Method of deductive verification of control programs in the process-oriented Reflex language

Авторы: Ануреев И.С., Гаранина Н.О., Лях Т.В., Розов А.С., Зюбин В.Е.

Authors: Anureev I.S., Garanina N.O., Liakh T.V., Rozov A.S., Zyubin V.E.

Предложен метод дедуктивной верификации аннотированных Reflex-программ [1, 2] (рис. 1.7), который включает четыре шага: аннотирование исходной Reflex-программы через задание условий запуска, ограничений на окружение и инвариантов цикла управления; трансляцию аннотированной Reflex-программы в аннотированную Си-программу; генерацию условий корректности для результирующей Си-программы; доказательство порожденных условий корректности. В качестве формального обоснования метода разработаны: операционная семантика аннотированных Reflex-программ [3, 4]; трансформационная семантика Reflex-программ в язык Си [5]; аксиоматическая семантика полученных в результате трансляции аннотированных Си-программ. Метод апробирован на тестовой управляющей программе с использованием SMT-решателя Z3. Предложенный метод является первым методом формальной верификации процесс-ориентированных программ и направлен на контроль качества программного обеспечения для программируемых логических контроллеров.

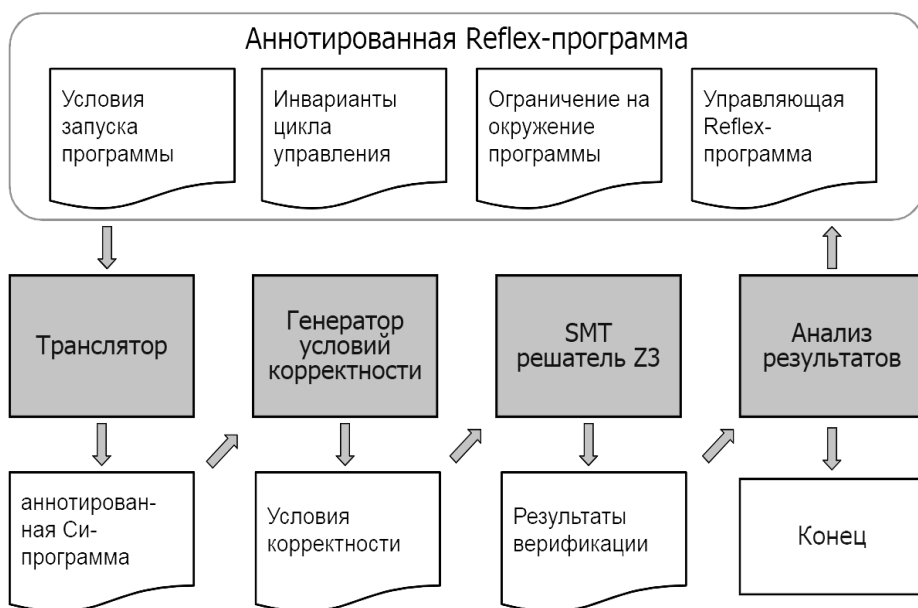


Рис. 1.7. Схема дедуктивной верификации Reflex-программ

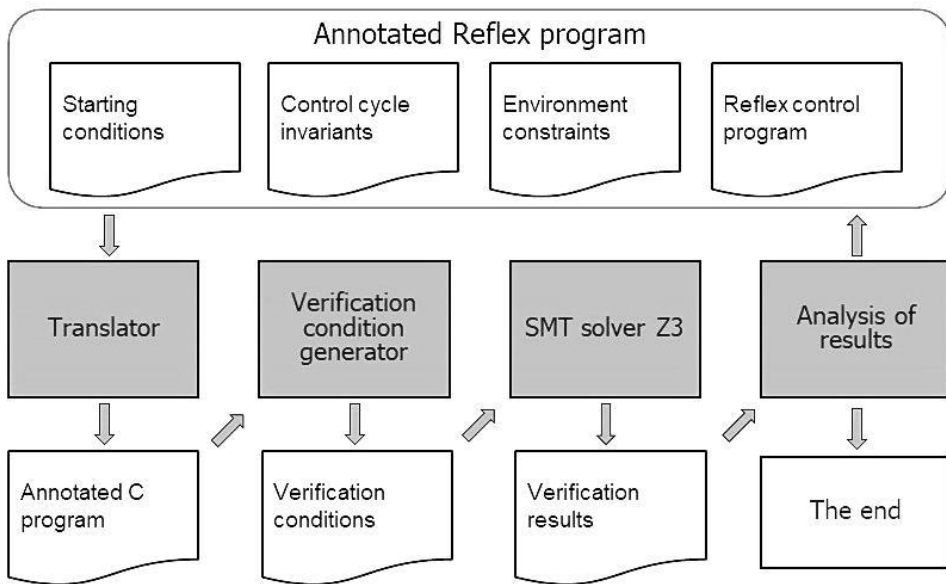


Fig. 1.7. Method of deductive verification of control programs in the process-oriented Reflex language

A method of deductive verification of annotated Reflex-programs (Fig. 1.7) is proposed [1, 2], which consists of four steps: annotating the source Reflex-program by setting starting conditions, environment constraints, and control cycle invariants; translation of the annotated Reflex-program into an annotated C program; generation of verification conditions for the resulting C program, and proving the generated verification conditions. As a formal foundation of the method, we developed an operational semantics of annotated Reflex programs [3, 4]; a transformational semantics of Reflex-programs into the C language [5], and an axiomatic semantics of the resulting annotated C programs. The method was tested on a control program using the Z3 SMT solver. The proposed method is the first method for formal verification of process-oriented programs. It is used for quality control of software for programmable logic controllers.

Публикации/References:

1. Anureev I., Garanina N., Liakh T., Rozov A., Zyubin V., Gorlatch S. Two-Step Deductive Verification of Control Software Using Reflex // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2019. – Vol 11964. – P. 50–63. – DOI 0.1007/978-3-030-37487-7_5.
2. Ануреев И.С., Гаранина Н.О., Лях Т.В., Розов А.С., Зюбин В.Е., Горлач С.П. Дедуктивная верификация Reflex-программ // *Программирование*. – 2020. – № 4. – С. 14–26. – DOI 10.31857/S0132347420040020.
3. Anureev I.S. Operational semantics of Reflex // *System Informatics*. – 2019. – № 14. – P. 1–10. – DOI 10.31144/si.2307-6410.2019.n14.p1-10.
4. Ануреев И.С. Операционная семантика аннотированных Reflex программ // *Моделирование и анализ информационных систем*. – 2019. – Т. 26, № 4. – С. 475–487.
5. Anureev I., Garanina N., Liakh T., Rozov A., Zyubin V. Towards safe cyber-physical systems: the Reflex language and its transformational semantics // *IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2019)* (Tomsk, Russia, April 18–20, 2019). – DOI 10.1109/SIBCON.2019.8729633.

1.7. Диагностика крови пациентов с диффузным заболеванием печени методом терагерцовой спектроскопии

Diagnostics of the blood of patients with a diffuse liver disease by the method of terahertz spectroscopy

Авторы: Анцыгин В.Д.¹, Николаев Н.А.¹, Кручинина М.В.², Громов А.А.², Кручинин В.Н.³, Генералов В.М.⁴, Минин И.В.⁵, Минин О.В.⁵

¹Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск (ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск)

²Научно-исследовательский институт терапии и профилактической медицины – филиал ИЦиГ СО РАН (НИИТПМ, г. Новосибирск)

³Институт физики полупроводников Сибирского отделения Российской академии наук им. А.В. Ржанова (ИФП СО РАН, г. Новосибирск)

⁴Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» (ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, р.п. Кольцово, Новосибирская область)

⁵Томский государственный университет (ТГУ, г. Томск)

Authors: Antsygin V.D.¹, Nikolaev N.A.¹, Kruchinina M.V.², Gromov A.A.², Kruchinin V.N.³, Generalov V.M.⁴, Minin I.V.⁵, Minin O.V.⁵

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

²Institute of Internal and Preventive Medicine, branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk (IIPM – Branch of IC&G SB RAS, Novosibirsk)

³Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (ISP SB RAS, Novosibirsk)

⁴State Research Center of Virology and Biotechnology “Vector” (Koltsovo, Novosibirsk Region)

⁵Tomsk State University (TSU, Tomsk)

Результат заключается в повышении точности различения степени поражения печени у пациентов с патологией различной степени тяжести с помощью терагерцовой (ТГц) спектроскопии эритроцитов крови пациентов.

Исследования проведены в группах пациентов без патологий внутренних органов (30 человек) и пациентов с патологиями печени различной степени тяжести (79 человек) [1]. Показана корреляция спектров ТГц пропускания суспензии эритроцитов в диапазоне до 1 ТГц с изменением электрических и вязкоупругих свойств эритроцитов вследствие заболеваний печени (рис. 1.8). Показано, что сочетание ТГц спектроскопии с методом диэлектрофореза увеличивает точность различения поражения печени 1, 2 и 3, 4 степени (75.1 % чувствительности и 84.5 % специфичности) по сравнению с точностью, которую дает только метод диэлектрофореза (71.4 % чувствительности и 60.4 % специфичности). Изменения физических характеристик образцов связаны с адсорбцией молекул глобулина на поверхно-

сти эритроцитов, концентрация которого в сыворотке крови увеличивается вследствие диффузных болезней печени. Преимуществом метода является малая инвазивность и амбулаторная доступность.

The result is in the improvement of the accuracy of distinguishing the degree of liver damage in patients with different degrees of pathology using terahertz (THz) spectroscopy of the patients' erythrocytes.

The studies were carried out in groups of patients without pathologies of internal organs (30 people) and patients with liver pathologies of different degrees (79 people) [1]. A correlation of the THz transmission spectra of a suspension of erythrocytes in the range up to 1 THz with changes in the electrical and viscoelastic properties of erythrocytes due to liver diseases was demonstrated (Fig. 1.8). It was shown that combining THz spectroscopy with dielectrophoresis increases the accuracy of differentiating liver damage of 1, 2 and 3, 4 degrees (75.1 % sensitivity and 84.5 % specificity) as compared to the accuracy of dielectrophoresis alone (71.4 % sensitivity and 60.4 % specificity). The changes in the physical characteristics of the samples are associated with adsorption of globulin molecules on the surface of erythrocytes (the concentration of globulin in the blood serum increases due to diffuse liver diseases). The advantage of the method is low invasiveness and outpatient availability.

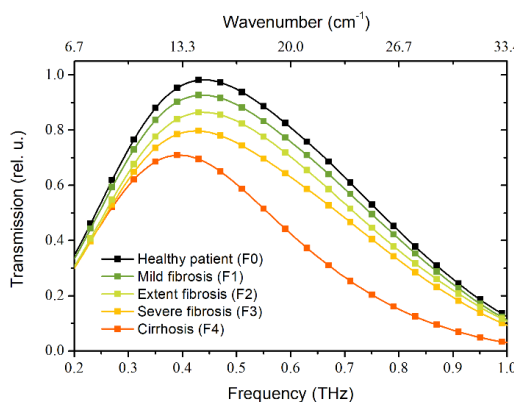
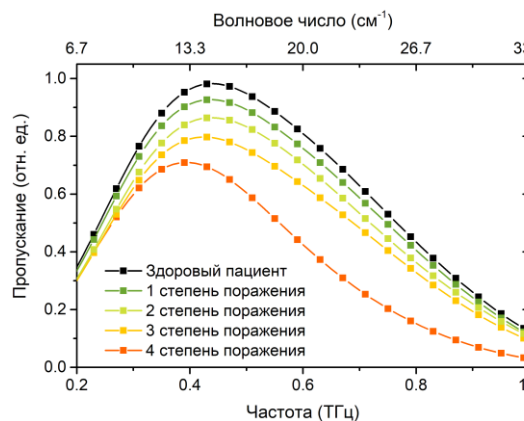


Рис. 1.8. Спектры пропускания измерительной ячейки с кремниевыми окнами, заполненной суспензиями эритроцитов крови пациентов с различной степенью заболеваний печени: от здоровых до больных циррозом с разной степенью поражения

Fig. 1.8. Transmission spectra of the measurement cell with silicon windows filled with suspensions of erythrocytes from the blood of patients with various degrees of liver diseases: from healthy patients to patients with cirrhosis

Публикации/References:

1. Kruchinina M.V., Gromov A.G., Kruchinin V.N., Generalov V.M., Nikolaev N.A., Antsygin V.D., Minin I.V., Minin O.V. Investigation of red blood cells from patients with diffuse liver diseases by combined dielectrophoresis and terahertz spectroscopy method // Optical Engineering. — 2020. — Vol. 60, is. 8. — P.082003 (10 p.). — DOI 10.1117/1.OE.60.8.082003.

1.8 Вращательная перестройка периода интерференции в системе, состоящей из беззеркального двухлучевого интерферометра и неподвижного относительно него фотоприемника

Rotational tuning of the interference period in a system consisting of a mirrorless two-beam interferometer and a photodetector that is stationary relative to the interferometer

Авторы: Угожаев В.Д.

Authors: Ugozhaev V.D.

Впервые предложена и проанализирована [1, 2] не юстируемая система двухлучевой интерферометр – фотоприемник, в которой симметричная интерференционная картина в процессе перестройки остаётся неподвижной вблизи фотоприемника. При этом интерферометр представлен единственным элементом – светоделительным кубиком (рис. 1.9, а). Система обладает предельными компактностью и виброустойчивостью по сравнению с другими устройствами аналогичного назначения. Пространственная частота перестраивается в интервале $100\text{--}2500\text{ мм}^{-1}$ ($\lambda = 540\text{ нм}$) или $200\text{--}4000\text{ мм}^{-1}$ (240 нм) (рис. 1.9, б). Система может найти применение в области исследования новых фоточувствительных материалов (голография, фоторезисты), для создания рельефных периодических структур (интерференционная литография), записи брэгговских решеток в оптических волокнах.

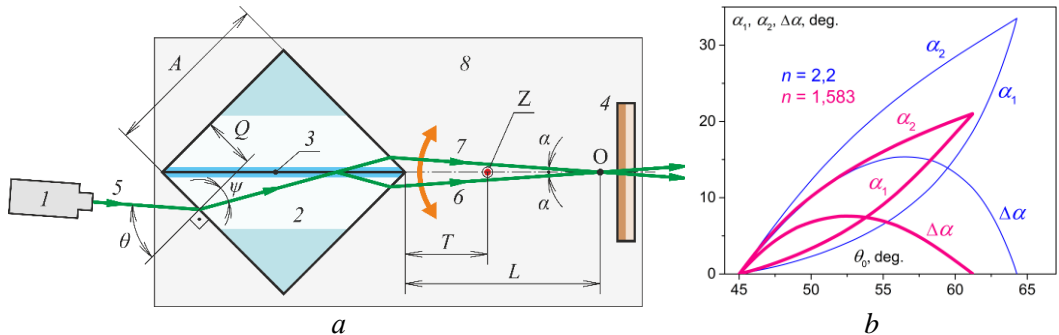


Рис. 1.9. Схема интерферометра (а): 1 – источник излучения, 2 – светоделительный кубик, 3 – делительное зеркало, 4 – фотоприемник, 5 – исходный пучок, 6 и 7 – интерферирующие пучки, 8 – основание; Z – ось вращения, перпендикулярная плоскости рисунка. Перестроенные характеристики при диаметре световых пучков $D = 0,1A$ (б): α_1 и α_2 – нижняя и верхняя границы диапазона перестройки и $\Delta\alpha$ – его ширина в зависимости от базового угла падения θ_0 исходного пучка 5

Fig. 1.9. Optical layout of the interferometer (а): 1 – radiation source, 2 – beam splitter cube, 3 – dividing mirror, 4 – photoreceiver medium, 5 – initial beam, 6 and 7 – interfering beams, 8 – baseplate; Z – the axis of rotation perpendicular to the figure plane. Tuning characteristic of interferometer with the light beams diameter $D = 0.1A$ (б): α_1 and α_2 are the lower and upper limits of the angle in the tuning range, and $\Delta\alpha$ is the range width depending on the basic incidence angle θ_0 of the initial beam 5

For the first time, a non-adjustable two-beam interferometer-photodetector system is proposed and analyzed [1, 2]. In this system, in the process of tuning the symmetric interference pattern remains immobile near the photodetector. The interferometer is represented by a single element — a beam-splitter cube (Fig. 1.9, *a*). The system is extremely compact and vibration-resistant compared to other devices made for similar purposes. The spatial frequency is adjusted in the range of 100–2500 mm⁻¹ ($\lambda = 540$ nm) or 200–4000 mm⁻¹ (240 nm) (Fig. 1.9, *b*). The system can be used for studying new photosensitive materials (holography, photoresists), for creating relief periodic structures (interference lithography), and for recording Bragg gratings in optical fibers.

Публикации/References:

1. Двухлучевой интерферометр: пат. 2697892 РФ на изобретение. Угожаев В.Д.; опубл. 21.08.2019. Бюл. № 24. 2 с.
2. Угожаев В.Д. Вращательная перестройка периода голографической решётки в беззеркальном интерферометре с неподвижным фотоприёмником // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 109–123. – DOI 10.15372/AUT20200112.

2. ПРОЕКТЫ ГОСЗАДАНИЯ ИНСТИТУТА

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

Проект II.10.2.1. Фотоника микро- и наноструктурированных сред. № гос. рег. АААА–А17–117060810014–9. № темы 0319 2019–0001

Исполнители проекта:

Лаборатория физики лазеров

Лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур

Лаборатория фотоники

Тематическая группа мощных ионных лазеров

Тематическая группа нелинейной оптики

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

Исследование синтезированных активных плазмонных наноструктур в «биологических» средах

Установлена долговременная стабильность работоспособности суспензии спазеров, находящихся внутри искусственных липосом в течение не менее одного месяца при нормальных условиях хранения (рис. 2.1). Определено, что интенсивность свечения спазеров сохранялась в течение ста вспышек лазера накачки при плотности энергии 500 мДж/см^2 [1].

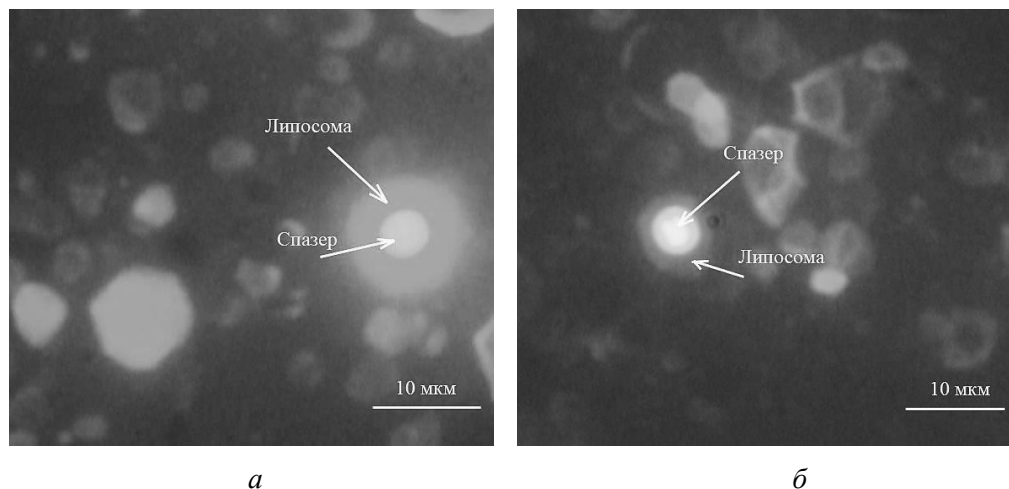


Рис. 2.1. Микрофотография разных выборок липосом и эмиссии спазеров: свежая суспензия (а) и спустя один месяц (б)

Теоретическое и численное исследование взаимодействия металлических наночастиц, окруженных резонансной средой (молекулы красителя) моле-

кулярными структурами (супрамолекулярные J-агрегаты красителей, молекулы ДНК), имеющими спиральную пространственную структуру

Впервые предложены и исследованы модели хиральной нелинейной наносреды, включающие металлические наночастицы и атомы, с невязанным распространением импульсов электромагнитного поля и наносреды с постоянным дипольным моментом, описываемые полностью интегрируемыми моделями, вне рамок приближения медленной огибающей (рис. 2.2). Анализ полученных точных солитонных и бризерных решений показал, что эти наносреды могут использоваться для создания эффективных преобразователей излучения и контроля формы импульсов [2–4].

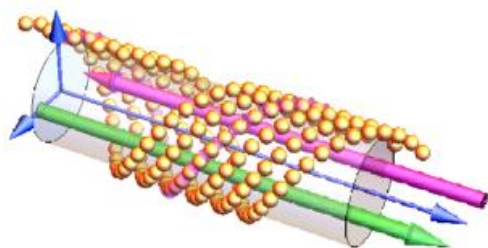
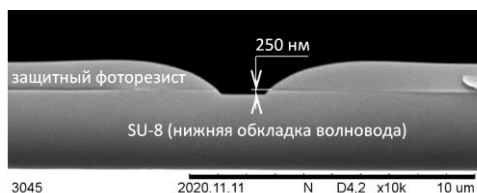


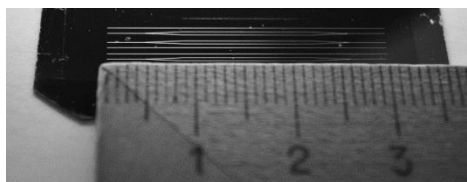
Рис. 2.2. Хиральная наносистема. Красная и зеленые стрелки показывают направления распространения импульсов поля в волноводе, окруженном спирально расположенными атомами, металлическими наночастицами (желтые сферы)

Разработка планарных интерферометров типа Маха – Цендера для амплитудной модуляции света на основе хромофорсодержащих полимеров

Найдены геометрические параметры волноводных структур для длин волн в окнах прозрачности кварцевого волокна (850, 1300, 1500 нм) и комбинаций материалов (NOA 61, SU-8), и определены технологические подходы для формирования заданной структуры слоев (рис. 2.3) [5]. Практически реализованы лабораторные макеты массивов амплитудных модуляторов типа интерферометра Маха – Цендера. В частности, при модуляции излучения 1.3 мкм на частоте 1 кГц экспериментально получено полуволновое напряжение 24 В при длине активного плеча интерферометра 1.3 см (рис. 2.3).



а



б

Рис. 2.3. Созданные структуры: *а* – электронное изображение сечения волноводного канала на этапе плазмохимического травления; *б* – образец изготовленной волноводной основы с массивом структур для фазовых модуляторов и типа Маха – Цендера

Исследование и оптимизация генерационных характеристик мощного титан-сапфирового лазера в непрерывном режиме и режиме модуляции

добротности с синхронизацией мод на основе модифицированного метода СЗАОМ

Осуществлена CW- и QML-генерация в TiSa-лазере с накачкой от лазерных диодов. В CW-режиме получена выходная мощность ~ 1 Вт, в QML режиме – 300 мВт и длительности импульса 200–250 фс (рис. 2.4). Измеренная квантовая эффективность флуоресценции в титан-сапфировом кристалле при возбуждении на 450 нм и температуре жидкого азота составляет $\approx 120\%$ [6–8].

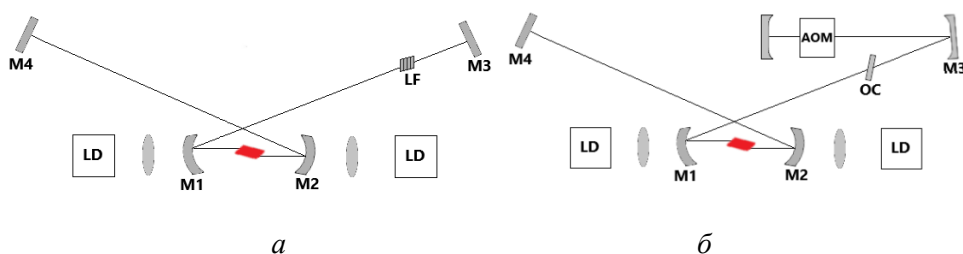


Рис. 2.4. Оптические схемы TiSa-лазеров для непрерывного режима работы (а) и модуляции добротности с синхронизацией мод (б): M1–M4, M5 – зеркала резонатора, LF – однокомпонентный фильтр Лио, LD – лазерные диоды с системой фокусировки, АОМ – двухчастотный акустооптический модулятор, ОС – кварцевая пластинка

Разработка и исследование физико-технических принципов функционирования новых микроэлектрооптических ступенчатых отражательных металлических дифракционных решеток с минимальным временем коммутации оптического сигнала

Разработана технология создания управляемых полем зазоров между подвижным электродом и поверхностью сегнетоэлектрика протяженностью до 1 мкм. Созданы образцы элементов дифракционных решеток в структуре с сегнетоэлектрической пленкой толщиной 0.3 мкм и величиной $\epsilon/d \sim 10^9 \text{ м}^{-1}$, и исследованы их характеристики (рис. 2.5). Элементы дифракционных решеток демонстрируют длительность такта менее 1 мкс при максимально достижимом в эксперименте напряжении и чувствительность смещения подвижного электрода 200–500 нм/В [9, 10].

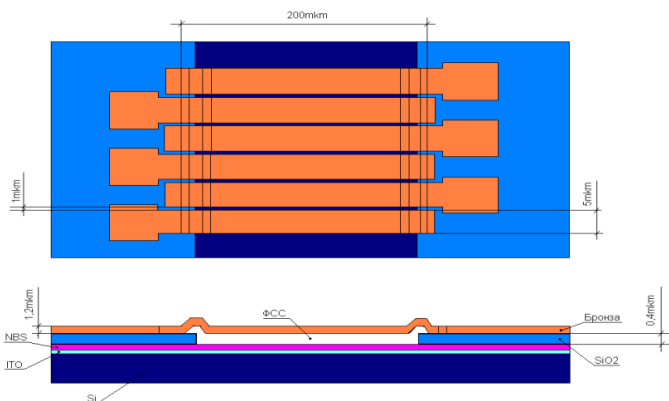


Рис. 2.5. Фрагмент созданной дифракционной решетки

Публикации:

1. Кучьянов А.С., Микерин С.Л., Адищев С.В., Алькаиси А.Х.Ш., Зайцева Ю.В. Возможности создания комплексов «спазеры в липосомах» для применения в тераностике // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 3. – С. 110–117. – DOI 10.15372/AUT20200312.
2. Заболотский А.А. Совместное влияние диполь-дипольного взаимодействия и постоянного дипольного момента на форму импульса поля без огибающей // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2020. – Т. 158, вып. 4. – С. 594–604. – DOI 10.31857/S0044451020100028.
3. Zabolotskii A.A. Few-cycle solitons in a dispersive medium with a permanent dipole moment // Physical review E. – 2020. – Vol. 102, is. 1. – P. 012214 (8 p.). – DOI 10.1103/PhysRevE.102.012214.
4. Zabolotskii A.A. Nonlinear electromagnetic pulse isolator // Physical review A. – 2020. – Vol. 101, is. 5. – P. 053837 (8 p.). – DOI 10.1103/PhysRevA.101.053837.
5. Угожаев В.Д. Вращательная перестройка периода голографической решётки в беззеркальном интерферометре с неподвижным фотоприёмником // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 109–123. – DOI 10.15372/AUT20200112.
6. Грибанов А.В., Яковин Д.В., Яковин М.Д. Гранат-неодимовый лазер с синхронизацией мод акустооптическим модулятором бегущей волны и сферическим зеркалом // Оптический журнал. – 2020. – Т. 87, № 6. – С. 3–8. – DOI 10.17586/1023-5086-2020-87-06-03-08.
7. Грибанов А.В., Яковин Д.В., Яковин М.Д. Режимы импульсной генерации в Nd:YAG-лазере с различными оптическими схемами резонаторов // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 3. – С. 118–125. – DOI 10.15372/AUT20200313.
8. Яценко А.С. К юбилею периодической таблицы Менделеева // Сибирский физический журнал. – 2020. – Т. 15, № 2. – С. 105–115. – DOI 10.25205/2541-9447-2020-15-2-105-115.
9. Baginsky I.L and Kostsov E.G., Nanometer Gap in Electromechanical Converters – a Way to Achieve an Extremely High Energy Density // Micromachines. – 2019. – № 10. – P. 746–758.
10. In the book “Emerging Trends in Engineering Research and Technology” / ed. by Dr. Gnana Sheela K. – 2020. Baginsky I.L., Kostsov E.G., Kamishlov V.F. Two-capacitor electric microgenerators. Vol. 8, Chapter 1. DOI 10.9734/bpi/etert/v8.

Проект II.10.2.2. Нелинейные и когерентные оптические явления в атомах и их конденсатах при внешнем воздействии (статические поля, межатомные столкновения, взаимодействие с поверхностью). № гос. рег.-AAAA–A17–117052210003–4. № темы 0319–2019–0002

Исполнители проекта:

Лаборатория нелинейной спектроскопии газов

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

Теоретическое исследование способа контроля делокализованного атомарного конденсата в комбинированной схеме когерентной обратной связи и обратной связи, основанной на измерениях. Теоретическое исследование схемы трансформирования состояния делокализованного атомарного конденсата однофотонным интерферометрическим зондированием с пост-селекцией

Предложен эффективный способ интерферометрического контроля атомарного конденсата с помощью когерентной обратной связи (т. е. об-

ратной связи, не основанной на измерениях). Рассматривалась проблема декогеренции конденсата невзаимодействующих атомов в двухъямном потенциале при интерферометрическом зондировании с классическим монохроматическим внешним полем. Найдено точное решение для квантово-оптической системы с обратной связью. Теоретически продемонстрирована эффективность когерентной квантовой обратной связи для контроля состояния конденсата в двухъямном потенциале.

В ходе запланированного на 2020 год исследования эффекта однофотонного зондирования делокализованного атомарного конденсата с последующей пост-селекцией обозначилось широкое направление с возможными приложениями в метрологии как альтернатива «усиления слабых значений». 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.

Получены новые результаты в теоретико-категорном подходе к анализу фундаментальных физических принципов [1–6].

Реализация оптической дипольной ловушки для холодных атомов рубидия

Выполнены плановые работы по созданию автономной оптической системы дипольной оптической ловушки для атомов рубидия. Оптическая ловушка использует лазерное излучение с мощностью до 0.5 Вт и длиной волны 960 нм. Загрузка ловушки атомами рубидия будет осуществляться из магнитооптической ловушки (температура атомов 200 мК) либо из магнитной ловушки (температура атомов 100 нК). Важные современные применения методов лазерного охлаждения связаны с прецизионной лазерной спектроскопией нового типа, изучением волновых свойств материи, оптическими стандартами частоты, вырожденными конденсированными системами и задачами квантовой информатики.

Теоретическое исследование влияния столкновений на спектр резонансной флуоресценции возбуждаемых двумя монохроматическими полями трехуровневых атомов с V-конфигурацией уровней

Теоретически исследовано влияние столкновений на спектр резонансной флуоресценции трехуровневых атомов с V-конфигурацией уровней при возбуждении двумя монохроматическими резонансными полями. Анализ проведен для систем с малым доплеровским уширением по сравнению с частотой столкновений (большие давления буферного газа) и для общего случая произвольного изменения (от полного сбоя до полного сохранения) фазовой памяти на любом из трех переходов в V-системе. Показано, что в трехуровневых атомах V-типа, возбуждаемых двумя монохроматическими полями, спектр резонансной флуоресценции на одном из переходов (количество спектральных линий и их ширины) сильно зависит от

присутствия резонансного излучения на смежном переходе. В определенных условиях ширины линий будут полностью определяться релаксационными характеристиками смежного перехода и, в частности, могут быть многократно сужены при росте интенсивности излучения на смежном переходе. Показано, что, несмотря на однородный характер уширения линий поглощения, спектр резонансной флуоресценции обладает ярко выраженной анизотропией по отношению к взаимной ориентации волновых векторов спонтанного и возбуждающего излучений. Установлено, что ширины линий в спектре резонансной флуоресценции в определенных условиях пропорциональны коэффициенту диффузии взаимодействующих с излучением атомов. Этот факт может служить основой спектроскопического метода измерения транспортных частот столкновений поглощающих излучение частиц с буферными. Показано, что эффекты фазовой памяти при столкновениях приводят к сильной качественной и количественной модификации спектра резонансной флуоресценции.

Исследование влияния направления и скорости сканирования частоты лазерного излучения на спектр резонансного поглощения паров щелочных металлов в ячейках с антирелаксационным покрытием в присутствии магнитного поля

Экспериментально показано, что асимметрия в амплитудах пиков спектра D1 линии 85Rb меняется на противоположную при переходе от быстрого сканирования к медленному. Теоретические расчеты показали, что эта асимметрия возникает из-за соотношения скорости сканирования и времени релаксации атомов по внутренним состояниям, которое становится макроскопическим при высоком качестве антирелаксирующего покрытия. Вторым главным фактором является существенная разница в скорости распада возбужденного состояния на разные сверхтонкие компоненты основного состояния атома, а также порядок прохождения в резонансе этих переходов при прямом и обратном направлении сканирования частоты лазера. Экспериментально исследованы магнитооптические резонансы в горячих парах калия, где зафиксированы подобные закономерности [7, 8].

Публикации:

1. Yakovleva T.S., Rostom A.M., Tomilin V.A., Il'ichov L.V. Geometric phase for “dark” subspaces in coherent population trapping // *Modern Physics Letters B*. – 2020. – Vol. 34, № Supp01. – Vol. 2150021 (8 p.). – DOI 10.1142/S0217984921500214.
2. Ростом А. Интерференция между актами пред- и постселекции // *Квантовая электроника*. – 2020. – Т. 50, № 6. – С. 595–599. – DOI 10.1070/QEL17335.
3. Tomilin V. A., Il'ichov L.V. Solvable model of quantum-optical feedback // *Physics Letters A*. – 2020. – Vol. 384, is. 27. – P. 126718. – DOI 10.1016/j.physleta.2020.126718.
4. Tomilin V. A., Il'ichov L.V. Solvable model of phase-switching quantum feedback // *AIP Conference Proceedings*. – 2020. – Vol. 2241, is. 1: 5th International Conference on Quantum Technologies (ICQT 2019) (Moscow, July15–19, 2019). – P. 020035. – DOI 10.1063/5.0011404.
5. Томили В.А., Ильичев Л.В. Управление атомным конденсатом Бозе-Эйнштейна при интерферометрическом зондировании с обратной связью // *Квантовая электроника*. – 2020. – Т. 50, № 6. – С. 537–542. – DOI 10.1070/QEL17334.

6. Il'ichov L.V. Category forms of Local-Causality and Non-Signalling and their duals // Journal of physics: conference series. – 2020. – Vol. 1557, is. 1: 21st International Meeting on Physical Interpretations of Relativity Theory 2019 (PIRT 2019) (Moscow, July 1–5, 2019) / Bauman Moscow State Technical University. – P. 012025. – DOI 10.1088/1742-6596/1557/1/012025.
7. Gateva S., Tsvetkov S., Gozzini S., Nasyrov K.A., Andreeva C., Todorov G., Cartaleva S. Enhanced absorption and transparency coherent magneto-optical resonances in hot potassium vapor // XXI International conference and school on quantum electronics "Laser physics and applications" (ICSQE' 2020) (September 21–24, 2020), Virtual forum: book of abstracts. – P. P.B2. – P. 75–76. <http://www.icsqe2020.ie-bas.org/>
8. Perevalov T.V., Gismatulin A.A., Seregin D.S., Wang Y.J., Xu H.Y., Kruchinin V.N., Spesivcev E.V., Gritsenko V.A., Nasyrov K.A., Prosvirin I.P., Zhang J., Vorotilov K.A., Baklanov M.R. Critical properties and charge transport in ethylene bridged organosilica low-kappa dielectrics // Journal of Applied Physics. – 2020. – Vol. 127, № 19. – P. 195105. – DOI 10.1063/1.5145239. <https://doi.org/10.1063/1.5145239>

Проект II.10.2.3. Оптическая спектроскопия для задач материаловедения, химической и биологической физики.

№ гос. рег. АААА–А17–117052410033–9. № темы 0319–2019–0003

Исполнители проекта:

Лаборатория спектроскопии конденсированных сред

Лаборатория информационной оптики

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

Исследование низкочастотных спектров комбинационного рассеяния света (КРС) дегидратированных мембран насыщенных и ненасыщенных фосфолипидов. Исследование спектров КРС и рассеяния Мандельштама–Бриллюэна водных растворов ионов в зависимости от положения в ряду Гофмейстера. Исследование влияния величины флуктуаций упругих констант на фрагильность стеклообразных материалов. Развитие методов колебательной спектроскопии для исследования распределения и фазового состояния липидов в замораживаемых биологических клетках. Характеризация фазовых переходов липидов в эмбрионах мыши с модифицированным липидным составом с помощью спектроскопии КРС для различных протоколов криоконсервации

Исследование дегидратированных плоских фосфолипидных мембран методом низкочастотного КРС показало наличие в спектре колебательной моды в районе 10 см^{-1} , которая соответствует слоевой колебательной моде бислоя с частотой, определяемой отношением скорости звука и толщины мембраны. Эта мода имеет смешанный продольно-поперечный тип и локализована на масштабах меньших, чем длина волны света. Полученные результаты необходимы для развития модельных представлений о слоевых модах в фосфолипиде, которые перспективны для исследования фазового разделения в биологических мембранах [1]. Изучение концентрационных зависимостей позиции линии рассеяния Мандельштама–Бриллюэна (РМБ) в водных растворах солей, различающихся по положению в ряду Гофмей-

стера, показало связь коэффициента пропорциональности с параметром V_{LD} этих солей. Таким образом, свойство космотропности/хаотропности соли связано с изменением упругих свойств раствора на масштабе сотни нанометров. Были закончены и опубликованы работы по определению структурных характеристик компьютерной модели воды [2] и по определению температуры стеклования ряда ионных стеклюющих материалов [3].

На основе экспериментальных данных щелочно-боратных стекол и предложенной теоретической модели была найдена связь индекса фрагильности и флуктуаций сдвигового модуля: чем больше флуктуации, тем меньше индекс фрагильности [4]. Развита модель стеклования на основе поперечного модуля сдвига [5]. Закончены и опубликованы исследования, в которых динамическая корреляционная длина в стеклах $(ZrF_4-BaF_2)-NaPO_3$ была определена по положению бозонного пика в спектрах низкочастотного КРС [6], а толщина полупроводниковых пластинок – по положению собственной моды [7].

На примере эмбрионов мыши развиты методы анализа данных КРС, позволяющие исследовать фазовые переходы в одиночных эмбрионах с малым содержанием липидов. Показано, что в эмбрионах мыши после культивирования в средах с повышенным содержанием линолевой кислоты возрастает степень ненасыщенности липидов [8] и снижается температура фазового перехода. Была закончена и опубликована статья, включающая экспериментальные данные по фазовому переходу липидов в эмбрионах кошки [9].

Исследование температурных зависимостей деформации (дилатометрии) на серии кристаллов $Sr_xBa_{1-x}Nb_2O_6$ ($x = 0.3, 0.5, 0.6, 0.75$) как в сегнетоэлектрической, так и в параэлектрической фазах. Анализ температурных зависимостей амплитуды центрального пика в КРС, сигналов ГВГ, упругих модулей и деформации для определения температурных зависимостей величин дипольных моментов в кристаллах SBN-x

Показано, что температурные зависимости величин дипольных моментов в локальных полярных областях в параэлектрической фазе кристаллов SBN-x можно описать при помощи температурных зависимостей величин центрального пика в КРС, сигнала ГВГ, деформации и упругих модулей [10, 11]. Обнаружено, что зависимость температуры Бернса от состава SBN-x существенно слабее, чем для температуры фазового перехода. Сделан вывод о том, что микроскопическая природа феномена температуры Бернса является общей для кристаллов SBN-x различного состава. Проведена работа по выяснению микроскопического механизма в основе влияния механических напряжений на релаксорные свойства. Показано, что прессование приводит к возникновению остаточных механических напряжений, которые меняют параметр ангармонизма, ответственного за уширение пика $E(TO)$ фона [12, 13].

Методы спектроскопии КРС были применены для исследования колебательных свойств кристаллов молибдатов [14] и алюмоборатов [15, 16].

Проведено теоретическое исследование сегнетоэлектрической динамики индуцированной фемтосекундным инфракрасным импульсом [17]. Численное решение для термодинамического потенциала совместно с членами нелинейной связи фононов позволило объяснить переключение поляризации действием деполяризующего электрического поля, вызванного связанными зарядами на границах доменов. Также было показано, что предположенный ранее механизм переключения с ненулевым поперечным электрическим моментом, связанным с поперечным псевдоспином, не может работать в ряде сегнетоэлектриков типа порядок-беспорядок по симметричным ограничениям [18]. Были развиты численные методы Монте-Карло для анализа возможности сегнетоэлектрического упорядочения изолированных молекул воды при их дипольном взаимодействии. Результаты численного анализа были применены для интерпретации экспериментальных результатов диэлектрической спектроскопии, пироэлектromетрии и теплоемкости для молекул воды в полостях кордерита, полученными зарубежными исследовательскими группами [19].

Исследование и сравнение диэлектрических ТГц свойств кристаллов КТР и КТА, новых кристаллов семейства боратов. Разработка и исследование методов повышения точности измерений в импульсной терагерцовой спектроскопии

В области 0.3–2.1 ТГц экспериментально определены показатель преломления и коэффициент поглощения нелинейно-оптических кристаллов КТР, КТА и ВВО [20–22]. Получены параметры дисперсионных уравнений для этих кристаллов. Сделан вывод о перспективности ВВО для применения в качестве генератора терагерцового излучения при интенсивной лазерной накачке. Проанализирована возможность нелинейного преобразования частот ИК-лазеров (1.064 мкм) в излучение субтерагерцового (миллиметрового) диапазона в кристаллах β -ВВО, LBO и КТР [23]. Для этой цели были измерены их показатели преломления и коэффициенты поглощения на длинах волн 1–3 мм и рассчитаны кривые синхронизма. В терагерцовой области спектра 0.2–2.1 ТГц исследованы оптические свойства популярного нелинейного кристалла $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$ (KGW), легированного 1 % Nd [24, 25].

Предложен метод для повышения точности и скорости субтерагерцовых измерений в импульсных ТГц спектрометрах за счет применения фильтров низких частот на основе частотно-селективных поверхностей [26, 27]. Метод апробирован при измерении спектров пропускания низкочастотных полосовых фильтров. Показано увеличение скорости измерений до 12 раз и сокращение доверительного интервала экспериментальных данных до 4 раз при измерениях с фильтром низких частот за счет уменьшения влияния долговременного дрейфа системы измерений.

Публикации:

1. Leonov D.V., Dzuba S.A., Surovtsev N.V. Membrane–Sugar Interactions Probed by Low-Frequency Raman Spectroscopy: The Monolayer Adsorption Model // Langmuir: the ACS

- journal of surfaces and colloids. – 2020. – Vol. 36, is. 39. – P. 11655–11660. – DOI 10.1021/acs.langmuir.0c02458.
2. Belosludov V., Gets K., Zhdanov R., Malinovsky V., Bozhko Yu., Belosludov R., Surovtsev N., Subbotin O., Kawazoe Y. The nano-structural inhomogeneity of dynamic hydrogen bond network of TIP4P/2005 water // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10, is. 1. – P. 7323. – DOI: 10.1038/s41598-020-64210-1.
 3. Bakulina O.D., Ivanov M.Yu., Prikhod'ko S.A., Pylaeva S., Zaytseva I.V., Surovtsev N.V., Adonin N.Yu., Fedin M.V. Nanocage formation and structural anomalies in imidazolium ionic liquid glasses governed by alkyl chains of cations // *Nanoscale*. – 2020. – Vol. 12, is. 38. – P. 19982–19991. – DOI 10.1039/d0nr06065h.
 4. Kojima S., Novikov V.N., Kofu M., Yamamuro O. Nanometric Fluctuations of Sound Velocity in Alkali Borate Glasses and Fragility of Respective Melts // *Physica Status Solidi (B) Basic Research*. – 2020. – Vol. 257. – P. 2000073 (6 p.). – DOI 10.1002/pssb.202000073.
 5. Zykova V.A., Adichtchev S.V., Novikov V.N., Surovtsev N.V. Second-order-derivative analysis of structural relaxation time in the elastic model of glass-forming liquids in liquid water // *Physical review E*. – 2020. – Vol. 101, is. 5. – P. 052610 (7 p.). – DOI 10.1103/PhysRevE.101.052610.
 6. Ignatieva L.N., Marchenko Yu.V., Mashchenko V.A., Maslennikova I.G., Goncharuk V.K., Adichtchev S.V., Sarin S.A. Formation of glass ceramic composite in (ZrF₄-BaF₂)-NaPO₃ system // *Journal of non-crystalline solids*. – 2020. – Vol. 548. – P. 120329 (6 p.). – DOI 10.1016/j.jnoncrysol.2020.120329.
 7. Karimulin K.R., Arzhanov A.I., Eremchev I.Yu., Kulnitskiy B.A., Surovtsev N.V., Naumov A.V. Combined photon-echo, luminescence and Raman spectroscopies of layered ensembles of colloidal quantum dots // *Laser physics*. – 2019. – Vol. 29, № 12. – P. 124009. – DOI 10.1088/1555-6611/ab4bdb.
 8. Брусенцев Е.Ю., Чуйко Э.А., Окотруб К.А., Игонина Т.Н., Рожкова И.Н., Рагаева Д.С., Раннева С.В., Напримеров В.А., Амстиславский С.Я. Влияние диеты с повышенным содержанием жира на липидный профиль ооцитов мышей // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2020. – Т. 24, № 5. – С. 533–538. – DOI 10.18699/VJ20.645.
 9. Mokrousova V.I., Okotrub K.A., Brusentsev E.Yu., Kizilova E., Surovtsev N.V., Amstislavsky S. Y. Effects of slow freezing and vitrification on embryo development in domestic cat // *Reproduction in domestic animals*. – 2020. – Vol. 55, is. 10. – P. 1328–1336. – DOI 10.1111/rda.13776.
 10. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V., Gorev M.V., Ivleva L.I., Lykov P.A. Temperature dependence of the spontaneous polarization, acoustic and strain anomalies in strontium barium niobate crystals of different chemical compositions probed by the second harmonic generation technique // *Ferroelectrics*. – 2020. – Vol. 560, is. 1. – P. 54–60. – DOI 10.1080/00150193.2020.1722883.
 11. Zaytseva I.V., Pugachev A.M., Surovtsev N.V., Ivleva L.I., Lykov P.A. Optical investigations of fluctuation of order parameter in THz range in Sr_xBa_{1-x}Nb₂O₆ crystals with different chemical compositions // *Ferroelectrics*. – 2020. – Vol. 560, is. 1. – P. 102–109. – DOI 10.1080/00150193.2020.1722890.
 12. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Surovtsev N.V., Krylov A.S. Anharmonicity and local non-centrosymmetric regions in BaTiO₃ pressed powder studied by the Raman line temperature dependence // *Ceramics International*. – 2020. – Vol. 46, is. 14. – P. 22619–22623. – DOI 10.1016/j.ceramint.2020.06.024.
 13. Zaytseva I.V., Pugachev A.M., Surovtsev N.V., Krylov A.S. Features of Raman spectra in barium titanate pressed powder // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 699, № 1. – P. 012058. – DOI 10.1088/1757-899X/699/1/012058
 14. Grossman V., Adichtchev S.V., Atuchin V.V., Bazarov B.G., Bazarova J.G., Kuratieva N., Oreshonkov A.S., Pervukhina N.V., Surovtsev N.V. Exploration of the Structural and Vibrational Properties of the Ternary Molybdate Tl₅BiHf(MoO₄)₆ with Isolated MoO₄ Units and Tl⁺ Conductivity // *Inorganic Chemistry*. – 2020. – Vol. 59, is. 17. – P. 12681–12689. – DOI: 10.1021/acs.inorgchem.0c01762.

15. Oreshonkov A.S., Roginskii E.M., Shestakov N.P., Gudim I.A., Temerov V.L., Nemtsev I.V., Molochev M.S., Adichtchev S.V., Pugachev A.M., Denisenko Y.G. Structural, electronic and vibrational properties of $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$ // *Materials*. – 2020. – Vol. 13, is. 3. – P. 545 (16 p.) – DOI 10.3390/ma13030545.
16. Oreshonkov A.S., Shestakov N.P., Molochev M.S., Aleksandrovsky A.S., Gudim I.A., Temerov V.L., Adichtchev S.V., Pugachev A.M., Nemtsev I.V., Pogoreltsev E.I., Denisenko Y.G. Monoclinic $\text{SmAl}_3(\text{BO}_3)_4$: synthesis, structural and spectroscopic properties // *Acta Crystallographica B*. – 2020. – Vol. 76, part 4. – P. 654–660. – DOI 10.1107/S2052520620008781.
17. Abalmassov V.A. Ultrafast reversal of the ferroelectric polarization by a midinfrared pulse // *Physical Review B*. – 2020. – Vol. 101, is. 1. – P. 014102. – DOI 10.1103/PhysRevB.101.014102.
18. Abalmasov V.A. Comment on "Ultrafast polarization switching in ferroelectrics" // *Physical review research*. – 2020. – Vol. 2, is. 2. – P. 028001 (2 p.). – DOI 10.1103/PhysRevResearch.2.028001.
19. Belyanchikov M.A., Savinov M., Bedran Z.V., Bednyakov P., Proschek P., Prokleska J., Abalmassov V.A., Petzelt J., Zhukova E.S., Thomas V.G., Dudka A., Zhugayevych A., Prokhorov A.S., Anzin V.B., Kremer R.K., Fischer J.K.H., Lunkenheimer P., Loidl A., Uykur E., Dressel M., Gorshunov B. Dielectric ordering of water molecules arranged in a dipolar lattice // *Nature communications*. – 2020. – Vol. 11, is. 1. – P. 3927 (9 p.). – DOI 10.1038/s41467-020-17832-y.
20. Huang J., Li Y., Gao Y., Huang Z., Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Lanskii G., Andreev Y. Terahertz birefringence and dichroism of kta crystal // *Crystals*. – 2020. – Vol. 10, is. 9. – P. 730 (P. 1–7). – DOI 10.3390/cryst10090730.
21. Li Y., Huang J., Huang Z., Nikolaev N.A., Lanskii G., Mamrashev A.A., Andreev Yu. Optical properties of BiB_3O_6 in the terahertz range // *Results in physics*. – 2020. – Vol. 16. – P. 102815. – DOI 10.1016/j.rinp.2019.102815.
22. Nikolaev N.A., Huang Z., Huang J., Li Y., Andreev Y., Lanskii G. Properties of BIBO crystal in the terahertz regime // *Proceedings of SPIE*. – 2020. – Vol. 11348: Terahertz Photonics. – P. 1134818. – DOI 10.1117/12.2555663.
23. Николаев Н.А., Ланский Г.В., Андреев Ю.М., Ежов Д.М., Креков М.Г., Лисенко А.А. Кристаллы β -ВВО, ЛВО и КТР как источники миллиметрового излучения // *Известия вузов. Физика*. – 2020. – Т. 63, № 6. – С. 113–116. – DOI 10.17223/00213411/63/6/113.
24. Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A. Optical properties of Nd:KGW crystal in the range of 0.2–2.1 THz // *Results in physics*. – 2020. – Vol. 16. – P. 102842. – DOI 10.1016/j.rinp.2019.102842.
25. Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A. Terahertz optical properties of 1% Nd-doped KGW // *SPIE Proceedings*. – 2020. – Vol. 11348: Terahertz Photonics (April 6–10, 2020). – P. 1134815. – DOI 10.1117/12.2555374.
26. Рыбак А.А., Николаев Н.А., Кузнецов С.А., Yang S.-H. Применение ёмкостных микроструктур в качестве антиалиасных фильтров для задач широкополосной импульсной терагерцевой спектроскопии // *Автометрия*. – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 124–132. – DOI 10.15372/AUT20200113.
27. Nikolaev N.A., Rybak A.A., Kuznetsov S.A. Application of metasurface-based low-pass filters for improving THz-TDS characteristics // *Journal of physics: Conference series*. – 2020. – Vol. 1461: METANANO 2019 (St. Petersburg, July 15–19, 2019). № 1. – P. 12118. – DOI 10.1088/1742-6596/1461/1/012118.

Проект II.10.2.4. Нелинейные явления при распространении лазерного излучения в волоконных, микрорезонаторных и гибридных системах.

№ гос. рег. АААА–А17–117062110026–3. № темы 0319–2019–0004

Исполнители проекта:

Лаборатория нелинейной физики

Лаборатория фотоники

Лаборатория волоконной оптики

Тематическая группа нелинейной оптики

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

Исследование формирования многосолитонных структур в волоконных лазерах при различных механизмах взаимодействия солитонов в лазерном резонаторе

Исследуются механизмы формирования многосолитонных структур в волоконных лазерах [1–7]. Установлены механизмы реализации шумовых импульсов, являющихся аналогом солитонной жидкости, которые могут быть связаны как с нелинейностью показателя преломления высоких порядков, так и с сосредоточенностью внутрирезонаторных элементов волоконного лазера. Показано, что пространственно-временная локализация шумового импульса (рис. 2.6, *a*), формируемого постоянно меняющимися солитонами, обусловлена пьедесталом такого импульса (рис. 2.6, *б*), из которого формируются новые солитоны взамен затухающих солитонов. Установлено, что с ростом накачки длина шумового импульса линейно увеличивается при сохранении других его свойств. Таким образом, как и при генерации прямоугольных импульсов при диссипативном солитонном резонансе [7] сохраняется линейный рост энергии формируемых шумовых импульсов с ростом накачки и, как следствие, сохраняется возможность дальнейшего увеличения энергии формируемых импульсов.

На основе численного моделирования установлено, что уменьшение нелинейности показателя преломления внутрирезонаторных элементов, а также переход от модели с сосредоточенными внутрирезонаторными элементами к модели с равномерно распределенной средой приводит к переходу от режима шумового импульса к режиму стационарных идентичных солитонов. В зависимости от условий генерации такой режим может реализовываться в форме солитонного кристалла, солитонного стекла, информационной последовательности стационарных солитонов, а также форме генерационного режима с удвоением периода следования импульсов в выходном излучении [2–4]. Показано, что уменьшение частотной дисперсии усиления и потерь приводит к увеличению подвижности солитонов, формирующих шумовой импульс, и к его распаду на отдельные независимые движущиеся солитоны (режим генерации, соответствующий солитонному газу).

Проведенный анализ основан на разработанных методах и подходах решения нелинейно-дисперсионных уравнений, описывающих взаимодействие излучения со средой. Полученные результаты представляют интерес для разработки методов генерации высокоэнергетических световых импульсов, а также импульсов с широкими спектрами излучения.

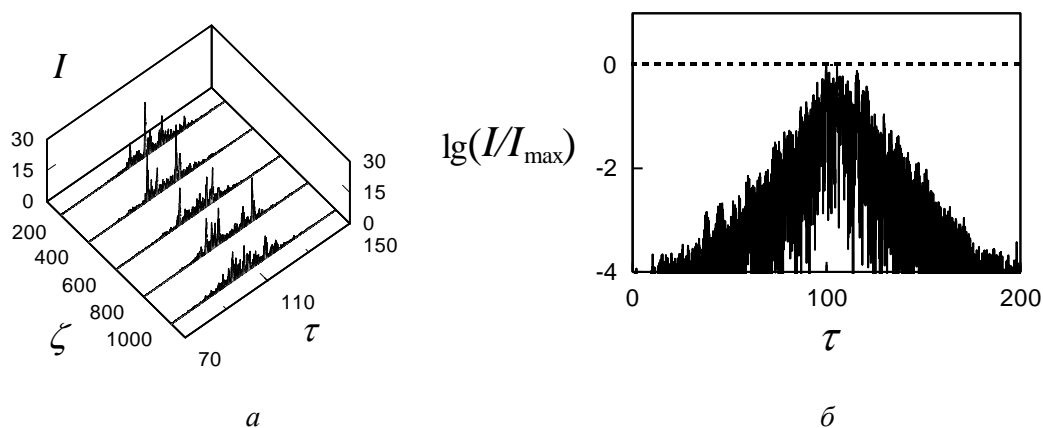


Рис. 2.6. *a* – временное распределение интенсивности $I(\tau)$ как функция числа проходов излучения через лазерный резонатор ζ в режиме генерации шумового импульса; *б* – распределение интенсивности $I(\tau)$ в логарифмическом масштабе $\lg(I/I_{\max})$ для $\zeta = 1000$. I_{\max} – максимальное значение интенсивности

Исследование нелинейных уравнений, описывающих каскадные процессы генерации второй гармоники и параметрической генерации, применительно к оптическим микрорезонаторам с квадратичной нелинейностью. Поиск решений в форме оптических гребёнок (комбов), включая топологические диссипативные солитоны. Создание и применение металл-диэлектрических микроструктур в световодах для лазерных и сенсорных систем

Сформулированы основные уравнения для описания частотных комбов и диссипативных солитонных состояний в оптических микрорезонаторах типа шепчущей галереи с квадратичной нелинейностью и внешней накачкой (см. схему на рис. 2.7), включая топологически различные периодические и антипериодические состояния. Проанализированы требования к микроструктурированию резонаторов (radial poling), необходимые для применимости этих уравнений. В бездиссипативном пределе аналитически найдены новые семейства периодических и антипериодических солитонов, и описаны соответствующие им свойства спектрально широких частотных комбов. В пределе нулевых частотных расстройок и для накачки во вторую гармонику, аналитически и численно найдено семейство самостартующих антипериодических солитонных решений, отвечающих спектрально широким дуальным комбам в области первой и второй гармоник (рис. 2.8). Рассмотрено влияние эффектов сноса, обусловленных различием групповых скоростей первой и второй гармоник, на свойства частотных комбов. Рассмотрены основные типы бифуркаций, возникающих при варьировании длины волны и мощности накачки. Даны приложения развитой теории к оптическим микрорезонаторам на основе ниобата лития. Объяснены особенности генерации частотных комбов в микрорезонаторах применительно к экспериментам с накачкой в первую гармонику [8–12].

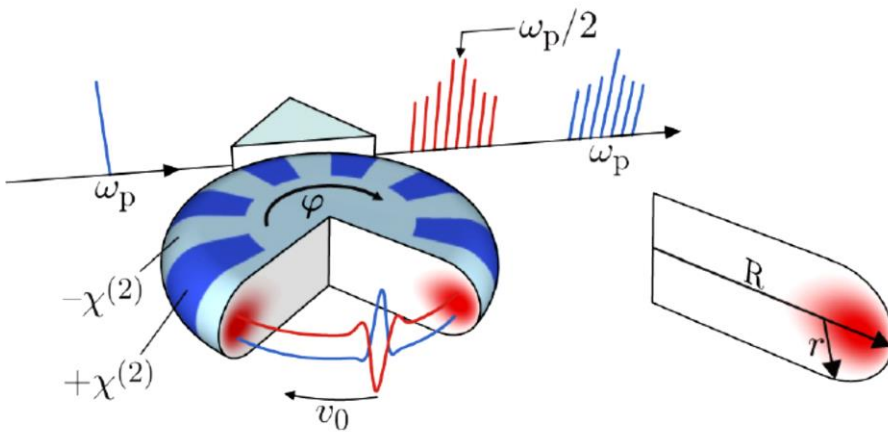


Рис. 2.7. Схема генерации дуальных частотных комбов при внешней накачке во вторую гармонику в оптических микрорезонаторах с квадратичной нелинейностью. Дуальный комб состоит из двух субкомбов в области первой и второй гармоник и отвечает двум связанным между собой локализованным солитонным состояниям,двигающимся с общей скоростью. На вставке справа показаны поперечное сечение резонатора и локализация оптических мод типа шепчущей галереи

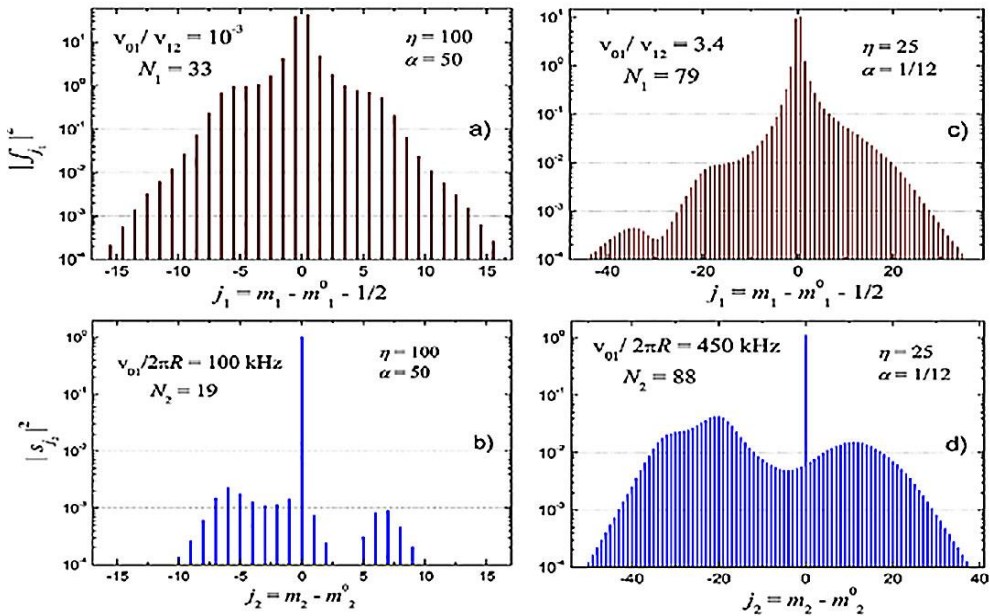


Рис. 2.8. Представительные свойства дуальных частотных комбов, отвечающих антипериодическим солитонным состояниям. Красный и синий цвета отвечают субкомбам в области первой и второй гармоник. Данные на рисунках отвечают различным параметрам сноса, мощности накачки и эффективного числа линий в комбе

Созданы металл-диэлектрические микроструктуры в оптических элементах и световодах для лазерных и сенсорных применений. В частности, проведено теоретическое исследование и разработан метод расчета и изготовления сенсора коэффициента преломления аналитической жидкости, работа которого основана на эффекте инвертированного поверхностного плазмонного резонанса (ИППР) в схеме Кречмана. Чувствительный элемент сенсора выполнен в виде наклонного отражательного интерферометра на основе тонкой металлической пленки никеля (6 нм) и согласованным диэлектрическим многослойным покрытием. Показано, что сенсор может иметь очень высокие параметры качества: отношение спектральной чувствительности к ширине на полувысоте сигнального пика в спектральной области $>10^3$ ПП⁻¹ (показатель преломления аналита), что как минимум на порядок превышает уровень современных сенсоров ППР. Кроме того, данный сенсор имеет очень близкий к максимальному значению контраст. Вместо узкого провала интенсивности, характерного для ППР-сенсоров, данный ИППР-сенсор имеет узкий спектральный пик интенсивности в отраженном свете (до 100 пм), что можно использовать для создания положительной обратной связи в лазерном резонаторе и увеличить как чувствительность (лазерными, интерферометрическими и радиофотонными методами), так и уменьшить ширину сигнального пика, что может потенциально повысить разрешающую способность коэффициента преломления до 10^{-9} ПП [13–14].

Оценка пропускной способности линии при передаче данных в QPSK и 8-QAM форматах. Разработка математических методов поддержки оптических солитонных линий связи

Предложен новый способ подавления нелинейного межбитового взаимодействия коротких оптических импульсов при распространении в канале связи на 320 Гбит/с. С помощью численного моделирования показано, что сочетание большого чирпа и переменной компенсации накопленной дисперсии на порядок снижает частоту ошибок распознавания сигнала на приемном конце линии. Причина улучшения качества связи – в низкой амплитуде битовых импульсов вследствие чирпа и расплывания. Расчеты выполнены для импульсов длительностью 25 пс, распространяющихся по 1000 км линии с 8-ступенчатой амплитудно-фазовой модуляцией и двумя состояниями поляризации (рис. 2.9). Кардинальное улучшение качества детектирования может быть полезным как при выборе дизайна новых высокоскоростных линий связи, так и при модернизации существующих [15–17].

Широко распространенный подход к оценке параметров аппроксимирующих функций использует нелинейный метод наименьших квадратов (МНК) и сводит задачу оценки к минимизации нелинейного функционала наименьших квадратов. Основным недостатком нелинейного метода МНК является то, что случайные ошибки эксперимента приводят к появлению ложных локальных минимумов функционала. Для решения этой проблемы

рассмотрен оригинальный линейный подход к решению нелинейных параметрических задач. Этот подход использует обобщение линейного метода МНК и конечно-разностную аппроксимацию этого обобщения. Суть метода состоит в том, что вместо того, чтобы искать параметры функции, аппроксимирующей экспериментальные данные, предлагается выбрать линейную аппроксимацию и дискретизацию уравнения, которому эта функция удовлетворяет. Предложенный метод расширяет область применимости МНК на широкий класс нелинейных обратных задач оценки параметров. В работе также обсуждаются вопросы качества (смещенности) получаемых оценок, а также приводятся результаты численного моделирования, подтверждающие широкие возможности и перспективы метода [18].

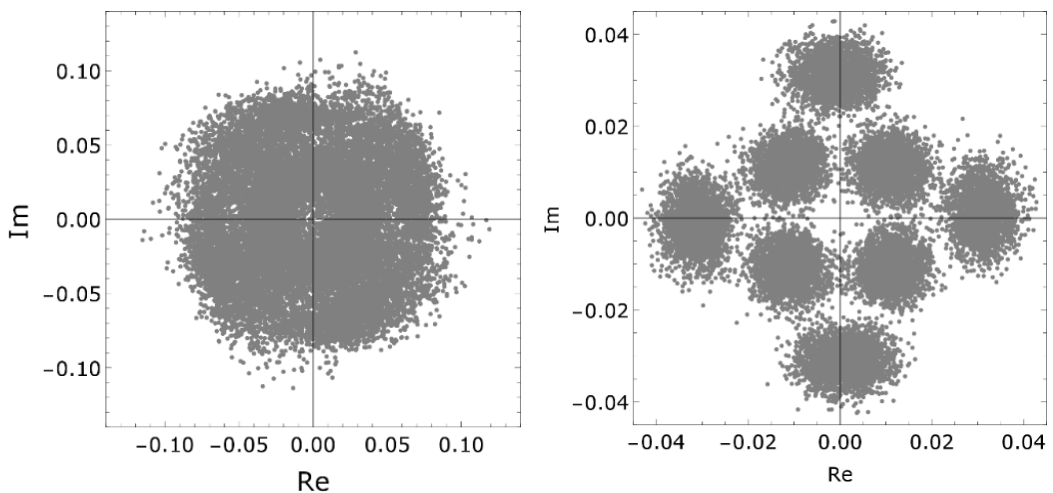


Рис. 2.9. Сигнальная диаграмма 8QAM формата с переменной компенсацией накопленной дисперсии: слева – без чирпа и компенсации, справа – с чирпом и компенсацией. Вероятность ошибки распознавания составила 2×10^{-1} и 6.8×10^{-3} соответственно

Задачи рассеяния, как прямая, так и обратная, находят широкое применение в реальных практических приложениях оптического, электромагнитного и акустического зондирования сред. Одной из наиболее актуальных проблем в этой области является повышение точности решения прямой задачи рассеяния, описываемой системой уравнений Захарова–Шабата. На основе консервативной схемы четвертого порядка точности был разработан алгоритм для решения прямой задачи рассеяния для системы Захарова–Шабата. При различных рассматриваемых краевых условиях (Дирихле, Неймана, Робена, Ньютона или периодического типа) конструирование сеточных уравнений осуществляется с помощью аппроксимации интегрального тождества Марчука на равномерной сетке. Для проверки предложенного подхода проведено численное моделирование процессов рассеяния на примере известных точных решений задачи рассеяния. В качестве одного из таких решений была выбрана модель брэгговской волоконно-оптической решётки с чирпом и аподизацией. Расчеты подтвер-

дили высокую точность и экономичность предложенного алгоритма, что является важным и актуальным для задачи оптического зондирования сред, а также для повышения производительности оптических линий связи. В таблице приведена зависимость погрешности расчётов, определённой как абсолютная разница между высокоточным решением ($N=32\ 103$) и численным решением для сравнительного малого числа N узлов сетки для различных выбранных значений безразмерного параметра задачи – частоты ω [19].

Сравнение лазерных и сенсорных характеристик структур показателя преломления в специальных световодах, сформированных с помощью фемтосекундного ИК- и непрерывного УФ-лазера. Оптимизация характеристик одночастотного волоконного лазера с распределенной обратной связью для применений в устройствах опроса сенсоров, оптимизация характеристик фемтосекундного волоконного лазера для различных применений

Разработаны и оптимизированы методы фемтосекундной записи периодических структур показателя преломления в специализированных световодах с полиимидным и металлическим защитным покрытием, в том числе радиационно-стойких, композитных и многосердцевинных [20, 21]. Проведено сравнение лазерных и сенсорных характеристик структур показателя преломления типа волоконных брэгговских решёток (ВБР) в различных специализированных световодах, записанных различными методами.

В частности, с использованием разработанного ранее метода формирования фазовых сдвигов при поточечной фемтосекундной записи проведена запись ВБР со сдвигом на пол-длины волны в композитном волоконном световоде с высокой концентрацией эрбия. Сформированный таким образом резонатор с распределенной обратной связью (РОС) имел рекордно короткую длину (5.3 мм). При этом параметры ультракороткого эрбиевого волоконного РОС-лазера с генерацией в области 1550 нм сравнимы и даже лучше, чем у стандартных эрбиевых РОС-лазеров со значительно большей длиной. Лазер генерирует одну поляризационную моду в одночастотном режиме (ширина линии на полувысоте <3.5 кГц) мощностью 0.5 мВт с низким уровнем шумов ($RIN < -95$ дБ/Гц) (рис. 2.10). В этом же композитном волокне с помощью УФ-технологии с использованием фазовой маски записан резонатор длиной 40 мм. Такой РОС-лазер генерирует одночастотное излучение мощностью >18 мВт с рекордной эффективностью (3.3 %) для эрбиевых лазеров. Разработанные технологии формируют перспективную платформу эрбиевых РОС-лазеров с уникальными выходными характеристиками и эксплуатационными свойствами, обеспечивающими им широкие возможности практического использования в сенсорных системах в качестве активных датчиков и/или источника излучения устройств опроса. Кроме того, проведен сравнительный анализ характеристик волоконных лазеров с регулярной и случайной распределенной обратной связью [22–26].

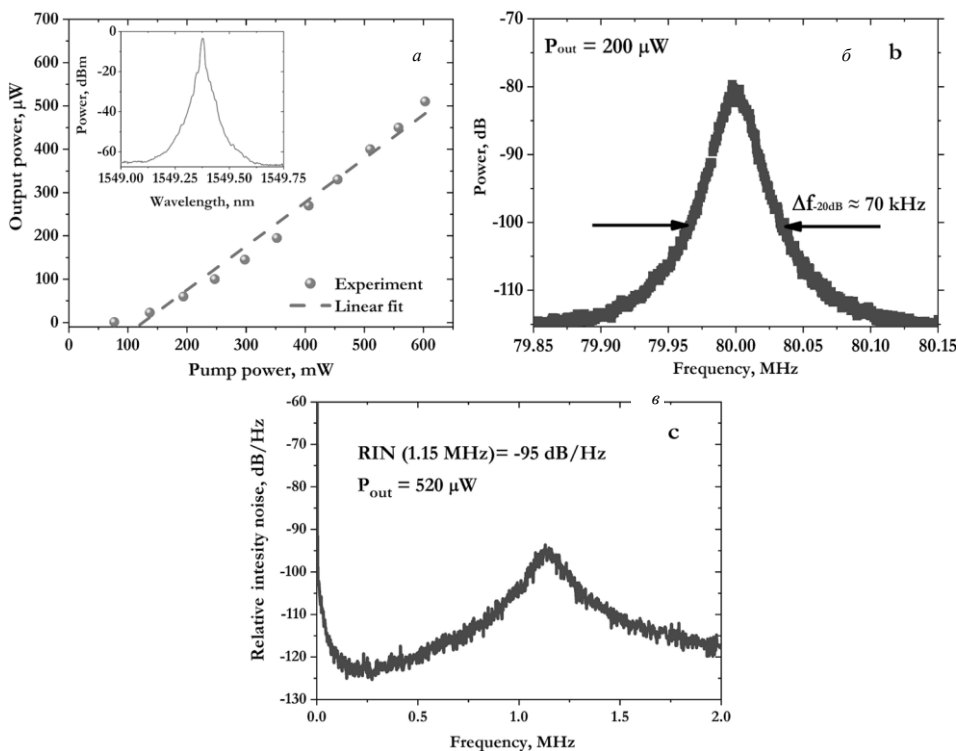


Рис. 2.10. Зависимость выходной мощности РОС-лазера от мощности накачки с оптическим спектром на вставке (а), РЧ спектр сигнала биений, измеренный методом самогетеродинамирования (б), относительный шум интенсивности (RIN) при максимальной мощности лазера (в)

На основе массивов ВБР, записанных фемтосекундными импульсами в 7 сердцевинных волокнах, разработаны и исследованы волоконно-оптические датчики формы (ВОДФ), в том числе для медицинских применений. Продемонстрировано восстановление формы подвижной части управляемого медицинского папиллотомы с внедренным ВОДФ длиной 8 см. Исследовано влияние длины ВБР и расстояния между соседними секциями ВБР вдоль волокна на погрешность восстановления, при оптимальных параметрах ошибка восстановления составила менее 1 мм. Датчики на основе массивов ВБР в специализированных волокнах применены также для распределенной термометрии при лазерной абляции биотканей и распределенного мониторинга температуры, деформаций и акустической эмиссии в композитных материалах [27–35].

Проведена оптимизация характеристик фемтосекундного волоконного лазера для применений в биомедицине и микрообработке материалов. В частности, разработан полностью волоконный вариант ВКР генератора диссипативных солитонов в области окна прозрачности биотканей вблизи 1.3 $\mu\text{м}$ на основе внешнего резонатора. Предложен и рассчитан вариант с подавлением пьедестала фемтосекундных импульсов при помощи нелинейного усиливающего петлевого зеркала. Волоконный иттербиевый лазер с генерацией диссипативных солитонов в области 1.05 $\mu\text{м}$, усиленных в

тейперном волокне, впервые применен для формирования поверхностных структур на пленке титана, исследована предельная производительность записи лазерно-индуцированных пространственно-периодических структур (ЛИППС) при увеличении частоты повторения импульсов [36–41].

Кроме того, проведены исследования термохимических ЛИППС, записанных фс импульсами на пленках аморфного Si, Hf и Zr различной толщины. Исследованы морфология, химический состав. В случае пленок Hf достигнута скорость записи 2 мм/с. На кремнии обнаружены структуры разнообразной морфологии, формирование которых управляется скоростью сканирования. Получен уникальный тип структур – гексагональная решетка конусообразных выступов, обладающий примечательными оптическими (увеличение пропускания в видимом диапазоне, снижение отражения до 2 %) и сенсорными свойствами. Кроме того, исследован режим кристаллизации аморфного кремния с помощью фс импульсов при минимальных изменениях поверхности пленки [42–47].

Публикации:

1. Комаров А.К., Комаров К.П., Чжао Л.М. Ультракороткие импульсы с широким спектром излучения в волоконных лазерах с пассивной синхронизацией мод // Оптика и спектроскопия. – 2020. – Т. 128, вып. 4. – С. 505–512. – DOI 10.21883/OS.2020.04.49201.272-19.
2. Yao X., Li L., Komarov A.K., Klimczak M., Tang D., Shen D., Su L., Zhao L. Period doubling eigenstates in a fiber laser mode-locked by nonlinear polarization rotation // Optics Express. – 2020. – Vol. 28, is. 7. – P. 9802–9810. – DOI 10.1364/OE.383661.
3. Hua L., Wang S., Yang X., Yao X., Li L., Komarov A.K., Klimczak M., Shen D., Tang D., Su L., Zhao L. Period doubling of multiple dissipative-soliton-resonance pulses in a fibre laser // OSA Continuum. – 2020. – Vol. 3, is. 4. – P. 911–920. – DOI 10.1364/OSAC.385465.
4. Wang Y., Su L., Wang S., Hua L., Li L., Shen D., Tang D., Komarov A. K., Klimczak M., Fu S., Tang M., Tang X., Zhao L. Breach and recurrence of dissipative soliton resonance during period-doubling evolution in a fiber laser // Physical review A. – 2020. – Vol. 102, is. 1. – P. 013501 (7 p.). – DOI 10.1103/PhysRevA.102.013501.
5. Zhao J., Zhou J., Li L., Shen D., Komarov A., Su L., Tang D., Klimczak M., and Zhao L. Nonlinear absorbing-loop mirror in a holmium-doped fiber laser // Journal of Lightwave Technology. – 2020. – Vol. 38, is. 21. – P. 6069–6075. – DOI 10.1109/JLT.2020.3005611.
6. Erofeev V.I. The effect of forced oscillations on the kinetics of wave drift in an inhomogeneous plasma // Plasma Science and Technology. – 2020. – Vol. 22, № 12. – P. 125002 (12 p.). – DOI 10.1088/2058-6272/abb189.
7. Sanchez F., Kemel M., Nady A., Semaan G., Salhi M., Komarov A.K. On the coherence of dissipative soliton resonance square pulses // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 86. – DOI 10.31868/RFL2020.86.
8. Podivilov E.V., Smirnov S.V., Breunig I., Sturman B. I. Nonlinear solutions for $x^{(2)}$ frequency combs in optical microresonators // Physical review A. – 2020. – Vol. 101, is. 2. – P. 023815 (10 p.). – DOI 10.1103/PhysRevA.101.023815.
9. Smirnov S., Sturman B.I., Podivilov E.V., Breunig, I. Walk-off controlled self-starting frequency combs in $X^{(2)}$ optical microresonators // Optics express. – 2020. – Vol. 28, is. 12. – P. 18006–18017. – DOI 10.1364/OE.395360.
10. Стурман Б.И. Баллистический и сдвиговый токи в теории фотогальванического эффекта // Успехи физических наук. – 2020. – Т. 190, № 4. – С. 441–445. – DOI 10.3367/UFNr.2019.06.038578.

11. Podivilov E.V., Sturman B.I., Breunig I. Frequency comb solutions for driven $x^{(2)}$ optical microresonators // *Journal of the Optical Society of America B*. – 2020. – Vol. 37, is. 11. – P. 3316–3324. – DOI 10.1364/JOSAB.402007.
12. Szabados J., Sturman B.I., Breunig I. Frequency comb generation threshold via second-harmonic excitation in $x^{(2)}$ optical microresonators // *APL Photonics*. – 2020. – Vol. 5, is. 11. – P. 116102 (7 p.). – DOI 10.1063/5.0021424.
13. Терентьев В.С., Симонов В.А. Спектральные характеристики наклонного отражательного интерферометра как сенсора показателя преломления. // *Оптика и спектроскопия*. – 2021. – Т. 129, вып. 2. – С. 23. – DOI: 10.21883/OS.2021.02.50564.232-20.
14. Симонов В.А., Терентьев В.С. Модовый интерферометр Маха-Цандера на основе утоньшенного волокна для измерения показателя преломления жидкости. // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 173–174. DOI: 10.31868/RFL2020.173-174.
15. Шапиро Е.Г., Шапиро Д.А. Подавление нелинейного шума в высокоскоростном оптическом канале с фазовой модуляцией и компенсацией дисперсии // *Квантовая электроника*. – 2020. – Т. 50, № 2. – С. 184–186. – DOI 10.1070/QEL17038.
16. Shapiro E.G., Shapiro D.A. Suppression of nonlinear noise in a high-speed optical channel with variable dispersion compensation // *Journal of Optical Communications*. – 2020. DOI: 10.1515/joc-2020-0097.
17. Шапиро Е.Г., Шапиро Д.А. Высокоскоростная многоканальная линия связи с переменной компенсацией дисперсии: подавление нелинейных искажений // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 128–129. – DOI: 10.31868/RFL2020.128-129.
18. Frumin L.L. Linear least squares method in nonlinear parametric inverse problems // *Journal of inverse and ill-posed problems*. – 2020. – vol. 28, is. 2. – P. 307–312. – DOI 10.1515/jiip-2019-0009.
19. Горбенко Н.И., Ильин В.П., Крылов А., Фрумин Л.Л. О численном решении прямой задачи рассеяния Захаров-Шабата // *Сибирский журнал вычислительной математики*. – 2020. – Т. 23, № 2. – С. 117–125. – DOI 10.15372/SJNM20200201.
20. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Simonov V.A., Korobeynikov M.V., Bryazgin A., Kashaykin P.F., Yakushin S.S., Mikhailenko M., Babin S.A. Study of radiation-induced spectral changes of femtosecond laser written FBG in metal and polyimide coated fiber // *Proceedings of SPIE*. – 2020. – Vol. 11354: Optical sensing and detection VI. – P. 113542J. – DOI 10.1117/12.2555818.
21. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Bronnikov K.A., Skvortsov M.I., Churin A.E., Babin S.A. Femtosecond pulse structuring of multicore fibers for development of advanced fiber lasers and sensors // *Solid state phenomena*. – 2020. – Vol. 312. – P. 221–226. – DOI 10.4028/www.scientific.net/SSP.312.221.
22. Skvortsov M.I., Wolf A.A., Vlasov A.A., Proskurina K.V., Dostovalov A.V., Egorova O.N., Galagan B.I., Sverchkov S.E., Denker B.I., Semjonov S.L., Babin S.A. Advanced distributed feedback lasers based on composite fiber heavily doped with erbium ions // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10, is. 1. – P. 14487. – DOI 10.1038/s41598-020-71432-w.
23. Скворцов М.И., Фомиряков Э.А., Трещиков В.Н., Никитин С.П., Вольф А.А., Власов А.А., Достовалов А.В. Сравнительный анализ методов измерения спектральных ширин волоконных лазеров с распределенной обратной связью // *Прикладная фотоника*. – 2020. – Т. 7, № 3. – С. 102–112. – DOI 10.15593/2411-4367/2020.3.07.
24. Skvortsov M.I., Wolf A.A., Vlasov A.A., Proskurina K.V., Dostovalov A.V., Egorova O.N., Galagan B.I., Sverchkov S.E., Denker B.I., Semjonov S.L., Babin S.A. Ultrashort-cavity dfb laser based on Er^{3+} -heavily-doped phosphosilicate fiber // *Optics InfoBase Conference Papers*. – 2020. – part F190: Specialty Optical Fibers (SOF 2020) (Washington, USA, July 13–16, 2020). – P. SoTu3H.4. – DOI 10.1364/SOF.2020.SoTu3H.4.
25. Скворцов М.И., Вольф А.А., Власов А.А., Прокураина К.В., Достовалов А.В., Егорова О.Н., Галаган Б.И., Свечков С.Е., Денкер Б.И., Семенов С.Л., Бабин С.А. 5-мм лазер с распределенной обратной связью на основе композитного Er^{3+} волоконного свето-

- вода // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 68–69. – Doi: 10.31868/RFL2020.68-69.
26. Gorbunov O.A., Sugavanam S., Vatnik I.D., Churkin D.V. Poisson distribution of extreme events in radiation of random distributed feedback fiber laser // *Optics letters*. – 2020. – vol. 45, is. 8. – P. 2375–2378. – DOI 10.1364/OL.390492.
 27. Bronnikov K.A., Wolf A.A., Yakushin S.S., Dostovalov A.V., Egorova O.N., Zhuravlev S.G., Semjonov S.L., Wabnitz S., Babin S.A. Durable shape sensor based on FBG array inscribed in polyimide-coated 7-core optical fiber. // *Optics Express*. – 2019. – Vol. 27, is. 26. –P. 38421–38424. –DOI 10.1364/OE.380816.
 28. Morra F., De Landro M., Korganbayev S., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Cigada A., Saccomandi P. Spatially resolved thermometry during laser ablation in tissues: distributed and quasi-distributed fiber optic-based sensing // *Optical fiber technology*. – 2020. – Vol. 58. – P. 102295 (13 p.). – DOI 10.1016/j.yofte.2020.102295.
 29. Korganbayev S., Orrico A., Bianchi L., De Landro M., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Saccomandi P. Closed-loop temperature control based on fiber bragg grating sensors for laser ablation of hepatic tissue // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20, is. 22. – P. 6496 (16 pp.). – DOI 10.3390/s20226496.
 30. Korganbayev S., Orrico A., Bianchi L., De Landro M., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Saccomandi P. Closed-loop temperature control based on fiber bragg grating sensors for laser ablation of hepatic tissue // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20, is. 22. – P. 6496 (16 pp.). – DOI 10.3390/s20226496.
 31. Korganbayev S., Asadi S., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Zalteri M., Schena E., Azhari H., Weitz I.S., Saccomandi P. Highly dense FBG arrays for millimeter-scale thermal monitoring during nanocomposite-enhanced laser ablation // *Proceedings of SPIE*. – 2020. – Vol. 11354: Optical sensing and detection VI. – P. 11354OG. – DOI 10.1117/12.2555436.
 32. Korganbayev S., Pini R., Orrico A., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Saccomandi P. Towards temperature-controlled laser ablation based on fiber Bragg grating array temperature measurements // *IEEE International workshop on Metrology for industry 4.0 and IoT (Roma, Italy, June 3–5, 2020)*. – P. 268–272. – DOI 10.1109/MetroInd4.0IoT48571.2020.9138171.
 33. Wolf A.A., Simonov V.A., Dostovalov A.V., Terentyev V.S., Babin S.A. Spatial division multiplexing of acoustic sensors using 7-core optical fiber // *Optics InfoBase Conference Papers*. – 2020. – Part F190: Specialty Optical Fibers (SOF 2020) (Washington, USA, July 13–16, 2020). – P. SoM2H.4. – DOI 10.1364/SOF.2020.SoM2H.4.
 34. Терентьев В.С., Достовалов А.В., Серьезнов А.Н., Кузнецов А.Б., Симонов В.А., Вольф А.А., Скворцов М.И., Бабин С.А. Регистрация сигналов акустической эмиссии в композитных материалах волоконно-оптическими датчиками на основе ФС-лазерной записи // Там же. – С. 205–206. – DOI 10.31868/RFL2020.205-206.
 35. Федотов М. Ю., Будадин О.Н., Козельская С.О., Терентьев В.С. Методы одновременного контроля деформации и температуры конструкций волоконно-оптическими датчиками // *Конструкции из композиционных материалов*. – 2020. – № 2. – С. 44–51.
 36. Bednyakova A.E., Kharenko D.S., Yarovikov A.P. Numerical analysis of the transmission function of the NPE-based saturable absorber in a mode-locked fiber laser // *JOSA B*. – 2020. – Vol. 37, is. 9. – P. 2763–2767. – DOI: 10.1364/JOSAB.396274.
 37. Bednyakova A., Kharenko D.S., Zhdanov I.S., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Babin S.A. Raman dissipative solitons generator near 1.3 μm : limiting factors and further perspectives // *Optics express*. – 2020. – Vol. 28, is. 15. – P. 22179–22185. – DOI 10.1364/OE.393603.
 38. Zhdanov I.S., Kharenko D.S., Bednyakova A.E., Fedoruk M.P., Babin S.A. All-fiber pulsed laser source based on Raman dissipative soliton generation for biological tissue analysis // *Proceedings SPIE*. – 2020. – Vol. 11497: Ultrafast Nonlinear Imaging and Spectroscopy VIII (29 September 2020). – P. 1149717 (6 p.). – DOI 10.1117/12.2569010.

39. Ефремов В.Д., Антропов А.А., Харенко Д.С. Подавление пьедестала сверхкоротких импульсов при помощи нелинейного усиливающего петлевого зеркала // Прикладная фотоника. – 2020. – Т. 7, № 3. – С. 80–89. – DOI 10.15593/2411-4367/2020.3.05.
40. Ефремов В.Д., Антропов А.А., Харенко Д.С. Подавление пьедестала сверхкоротких импульсов при помощи нелинейного усиливающего петлевого зеркала // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 201–202. – DOI 10.31868/RFL2020.201-202.
41. Кузнецов А.Г., Харенко Д.С., Достовалов А.В. Исследование процессов формирования лазерно-индуцированных периодических поверхностных структур с помощью полностью волоконного источника чирпованных диссипативных солитонов // Прикладная фотоника. – 2020. – Т. 7, № 1. – С. 39–48. – DOI 10.15593/2411-4367/2020.1.03.
42. Dostovalov A.V., Korolkov V.P., Terentyev V.S., Bronnikov K.A., Babin S.A. Thermochemical High-ordered Surface Structure Formation with an Astigmatic Gaussian Beam on Metal Thin Films // Proc. 2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS-Spring) (Rome, Italy, 2019). – P. 3269–3272. – DOI 10.1109/PIERS-Spring46901.2019.9017747.
43. Dostovalov A.V., Bronnikov K.A., Belousov D.A., Korolkov V.P. Fast formation of hybrid periodic surface structures on Hf thin-film by focused femtosecond laser beam // Proc. SPIE. – Vol. 11183: Advanced laser processing and manufacturing III X (SPIE/COS Photonics Asia, Hangzhou, China, October 20–23, 2019). – P. 111830U. – DOI: 10.1117/12.2537672.
44. Dostovalov A.V., Bronnikov K.A., Korolkov V.P., Babin S.A., Mitsai E., Mironenko A., Tutov M., Zhang D., Sugioka K., Maksimovic J., Katkus T., Juodkazis S., Zhizhchenko A., Kuchmizhak A. Hierarchical anti-reflective laser-induced periodic surface structures (LIPSS) on amorphous Si films for sensing applications // Nanoscale. – 2020. – Vol. 12, is. 25. – P. 13431–13441. – DOI 10.1039/D0NR02182B.
45. Bronnikov K.A., Dostovalov A.V., Cherepakhin A., Mitsai E., Nepomniaschiy A., Kulinich S.A., Zhizhchenko A., Kuchmizhak A. Large-scale and localized laser crystallization of optically thick amorphous silicon films by near-IR femtosecond pulses // Materials. – 2020. – Vol. 13, is. 22. – P. 5296 (P. 1–10). – DOI 10.3390/ma13225296.
46. Mitsai E., Dostovalov A.V., Bronnikov K.A., Nepomniaschiy A.V., Zhizhchenko A.Yu., Kuchmizhak A. Crystallization of optically thick amorphous silicon films by near-IR femtosecond laser processing // Solid state phenomena. – 2020. – Vol. 312. – P. 134–139 – DOI 10.4028/www.scientific.net/SSP.312.134.
47. Белоусов Д.А., Достовалов А.В., Корольков В.П., Микерин С.Л., Бронников К.А., Бабин С.А. Высокопроизводительная запись ТЛИППС на тонких пленках Hf астигматическим гауссовым пучком фемтосекундного лазера // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 150–151. – DOI 10.31868/RFL2020.150-151.

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

№ гос. рег. АААА–А17–117053110007–0. № темы 0319–2019–0005

Исполнители проекта:

Лаборатория оптических информационных систем

Тематическая группа многоканальных анализаторов оптического и рентгеновского излучений

Тематическая группа трехмерных лазерных технологий

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

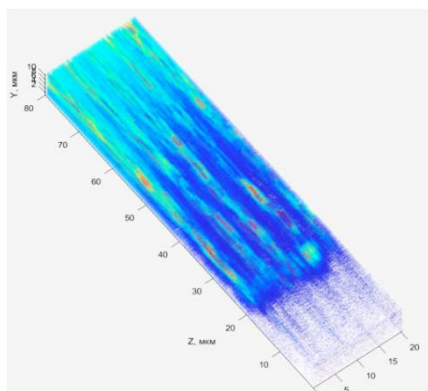
Экспериментальное исследование процессов коллинеарного гетеродинного детектирования света, рассеянного в мутных средах. Восстановление внутренней структуры объемной фазовой решетки путем глубинного лазерного гетеродинного микрозондирования. Экспериментальное исследование динамики одновременной записи наложенных голографических решеток в толстослойных фотополимерных материалах. Разработка проекционного ИК-объектива из халькогенидного стекла

Созданы макет лазерного «томографа» с двухканальным гетеродинным фотодетектором, предназначенный для послойного исследования оптически неоднородных (мутных) сред, и соответствующая методика обработки экспериментальных данных. Такое физико-техническое решение позволяет получить значения амплитуды прошедшего и рассеянного света для отдельно взятого по глубине слоя, сведения о характере, значениях амплитуд и фаз выходных случайных сигналов во всех анализируемых слоях, значения их послойных и межслойных интервалов корреляции и др. Предложена и апробирована методика определения аппаратной функции экспериментального «томографа», и дана оценка его разрешающей способности по толщине исследуемых тестовых образцов.

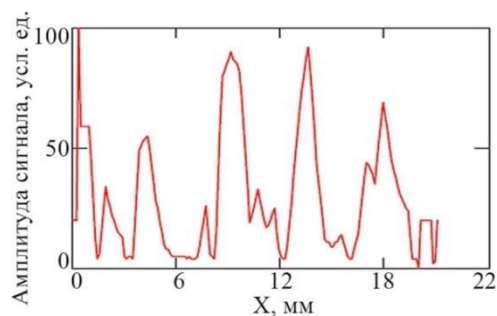
Путем двухпучкового лазерного гетеродинного микрозондирования по глубине (по оси Z), характеризующегося высокой пространственной селективностью, проведено восстановление структуры объемной голографической решетки. При использовании лазера с длиной волны 660 нм, исследуемой среды с показателем преломления $n = 1.43$ и фокусирующего объектива с числовой апертурой 0.6 размеры микрозонда составляли $\Delta x \times \Delta y \times \Delta z = 0.8 \times 1.2 \times 5.2$ мкм³ и были близки к дифракционному пределу. Решетка записана в кристалле фторида кальция (CaF_2) толщиной 2.4 мм в НИУ ИТМО Щеулиным А.С. и Ангерваксом А.Е. (г. Санкт-Петербург).

Фрагмент решетки в объеме $\Delta x \times \Delta y \times \Delta z = 20 \times 7 \times 60$ мкм³ представлен на рис. 2.11, а. Область от 0 до 20 мкм по оси Z соответствует воздуху, а от 20 до 80 мкм – кристаллу CaF_2 . Сканирование в диапазоне 20 мкм по оси X позволило получить данные для визуализации 4–5 полос решетки. Полосы имеют сильную продольную неоднородность. Максимальное изменение показателя преломления в рассматриваемом фрагменте решетки составляет $\sim 1.1 \times 10^{-4}$.

На рис. 2.11, б представлено распределение амплитуды сигнала считывания поперек полос, т. е. вдоль оси X (при $Z = 54$ мкм, $Y = 7$ мкм). Полуширина штриха составляет ~ 1.2 – 1.4 мкм, а усредненный период полос ~ 4.5 мкм. Несинусоидальный профиль полос свидетельствует о нелинейном характере голографической записи. Результаты исследований представлены в [1, 2].



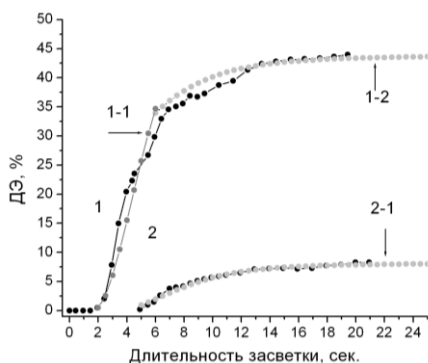
a



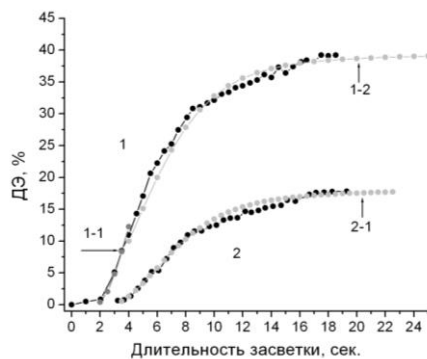
б

Рис. 2.11: *a* – 3D-микроразображение фрагмента толстой голографической решетки в кристалле CaF₂; *б* – распределение амплитуды сигнала считывания поперек полос решетки (при $Z = 54$ мкм, $Y = 7$ мкм)

Проведено исследование взаимного влияния двух сдвинутых по времени наложенных голографических решёток, записываемых в толстом слое фотополимерного материала. Получены новые данные о динамике дифракционной эффективности (ДЭ) двух наложенных объёмных отражательных голограмм (1-й и 2-й) с различными периодами решёток при их одновременной записи и записи с задержкой (рис. 2.12). Установлено, что в случае одновременной записи решёток 1 и 2 происходит уменьшение финальных значений их ДЭ с 55 до 23 %, а в случае задержки начала записи решётки 2 (например, на 5 с) у решётки 1 наблюдается снижение скорости роста ДЭ и уменьшение её финального значения до 44 %. С учетом этих и некоторых других данных проведено уточнение параметров известных уравнений кинетики фотополимеризации. Расчётные графики изменения ДЭ, полученные с помощью уточнённых формул, хорошо согласуются с экспериментальными данными (СКО ~ 2 %) [3].



a



б

Рис. 2.12. Графики экспериментальных (чёрные точки) и расчетных (серые точки) данных динамики ДЭ двух наложенных решёток с задержкой записи одной относительно другой: *a* – на 5 с; *б* – на 3 с

Проведена разработка ИК-объектива-ахромата, состоящего из двух элементов: плоско-выпуклой линзы из халькогенидного стекла и корректирующей хроматизм дифракционной зонной пластики на тонкой халькогенидной пленке. Линзы получены путем формования халькогенидного стекла состава As_2S_3 при температуре $340\text{ }^\circ\text{C}$ между двумя оксидными стеклами с плоской и сферической поверхностями. Параметры экспериментальных образцов линзы: диаметр 20 мм, фокусное расстояние 35 мм, толщина в центре 2 мм, вес 1.3 г.

На рис. 2.13, *а* приведено изображение зонной пластики, полученной оптическим гравированием зон в халькогенидном слое As_2S_3 (толщина 5 мкм) на подложке из оксидного стекла, прозрачного до 2.5 мкм. Запись проводилась с помощью круговой лазерной системы с твердотельным лазером на длине волны $\lambda = 532\text{ нм}$ (АО «Новосибирский приборостроительный завод»). Максимальная разность оптической задержки между зонами составляла 15λ на $\lambda = 550\text{ нм}$ (рис. 2.13, *б*). Такой глубины фазового рельефа достаточно для синтеза зонных пластинок ближнего и среднего ИК-излучения. Макет объектива-ахромата для работы в спектральном диапазоне длин волн от 1 до 5 мкм показан на рис. 2.13, *в* [4, 5].

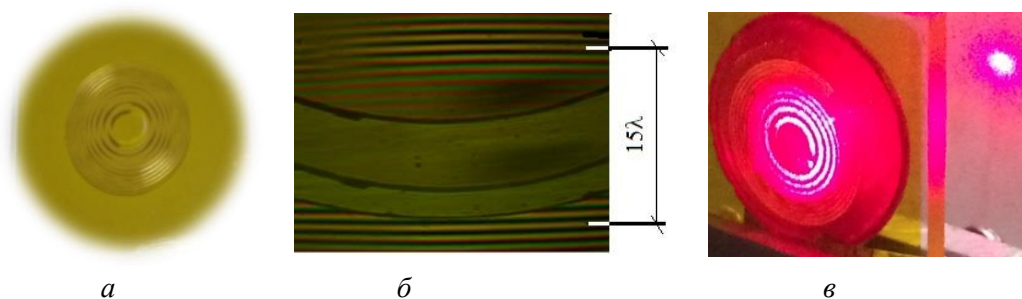


Рис. 2.13. Зонная пластинка в халькогенидном слое толщиной 5 мкм (*а*); максимальная глубина фазового рельефа пластинки равна 30 полуволнам (при $\lambda = 550\text{ нм}$) (*б*); точечное изображение, сформированное объективом в видимом диапазоне излучения ($\lambda = 650\text{ нм}$) (*в*)

Разработка спектрометра на основе новой вогнутой дифракционной решётки с радиусом кривизны подложки 2 м для увеличения спектральной разрешающей способности и исследование его характеристик

Создан действующий макет спектрометра на основе новой неклассической вогнутой дифракционной решётки с радиусом кривизны подложки 2 м (2400 штрихов/мм) и двух анализаторов МАЭС со сборками по 14 линеек фотодетекторов БЛПП-4000. Рабочий спектральный диапазон макета спектрометра составляет 190–350 нм. Работа выполнялась совместно с предприятием «ВМК-Оптоэлектроника».

На рис. 2.14 показаны фрагменты спектров образца состава алюмосиликатных рыхлых отложений СГХМ-4: чёрным цветом – во время вспышки спектральной линии золота $Au\text{ I } 267.595\text{ нм}$, а серым – интегральный спектр. На рис. 2.14, *б* видно наложение линии вольфрама $W\text{ I } 267.5867\text{ нм}$ на линию $Au\text{ I } 267.595\text{ нм}$ из-за недостаточного разрешения

спектрометра «Гранд», которое может приводить к значительной систематической погрешности измерения интенсивности линии золота и, соответственно, к погрешности определения его массовой доли в пробе. В спектре, зарегистрированном с помощью макета (рис. 2.14, а) такого наложения практически не наблюдается. Пределы обнаружения золота, полученные с использованием градуировочных зависимостей интенсивности линии золота от его содержания в ГСО, в созданном макете и в спектрометре «Гранд» оказались приблизительно равны. Результаты исследований отражены в публикациях [6–9].

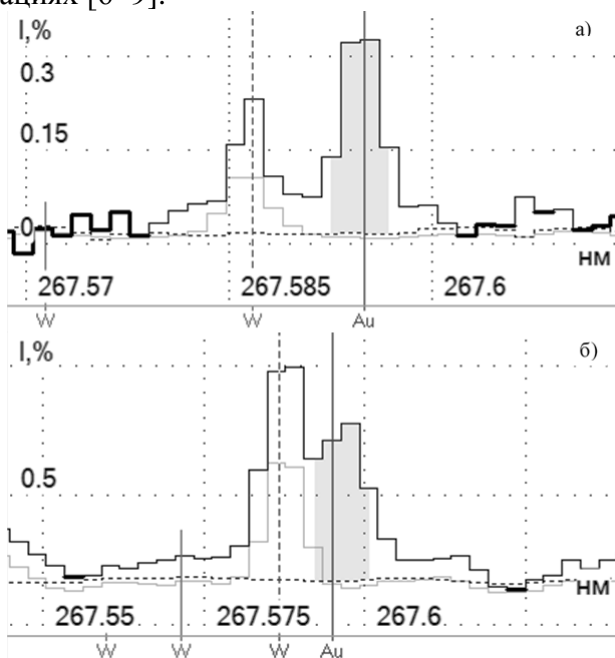


Рис. 2.14. Фрагменты спектров образца состава алюмосиликатных рыхлых отложений СГХМ-4, содержащих вспышку спектральной линии Au I 267.595 нм и расположенную рядом с линией W I 267.5867 нм, зарегистрированных линейками БЛПП-4000 на созданном макете (а) и «Гранд» (б)

Публикации:

1. Steinberg I.Sh., Atuchin V.V. Two-photon holographic recording in LiTaO₃:Fe crystals with high intensity nanosecond pulses at 532 nm // *Materials chemistry and physics*. – 2020. – Vol. 253. – P. 122956 (6 p.). – DOI 10.1016/j.matchemphys.2020.122956. (<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.122956>).
2. Vasilyev E.V., Shelkovnikov V.V., Orlova N.A., Steinberg I.Sh., Loskutov V.A. Single- and two-photon recording of holograms at combined cationic and free-radical polymerization photoinitiated by thioxanthone derivatives // *Polymer journal*. – 2020. – Vol. 52. – P. 1279–1287. – DOI 10.1038/s41428-020-0381-2. (<https://doi.org/10.1038/s41428-020-0381-2>).
3. Пен Е.Ф. Динамика дифракционной эффективности наложенных объемных отражательных голограмм при их одновременной записи в фотополимерном материале // *Автометрия*. – 2020. – Т. 56, № 4. – С. 30–40. – DOI 10.15372/AUT20200404.
4. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Формирование тонкопленочных аксиконов с максимальными фокусными отрезками // *Там же*. – С. 89–94. – DOI 10.15372/AUT20200410.

5. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Запись дифракционных решеток в схеме с активной стабилизацией интерференционного поля // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVI Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 18 июня – 8 июля, 2020): сборник материалов в 8-ми томах: т. 8/1. Национальная конференция с международным участием «СИБОПТИКА–2020». – С. 146–152. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-8-1-146-152. (<https://doi.org/10.33764/2618-981X-2020-8-1-146-152>).
6. Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н. Атомно-эмиссионный спектрометр с азотной микроволновой плазмой «Гранд-СВЧ» // Аналитика. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 140–147. – DOI 10.22184/2227-572X.2020.10.2.140.146.
7. Pelipasov O.V., Polyakova E.V. Matrix effects in atmospheric pressure nitrogen microwave induced plasma optical emission spectrometry // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. – 2020. – Vol. 35. – P. 1389–1394. – DOI 10.1039/D0JA00065E.
8. Лабусов В.А., Зарубин И.А., Пелипасов О.В., Саушкин М.С., Сипатов А.М., Саженков А.Н., Цатиашвили В.В. Идентификация молекулярных полос в спектрах излучения плазмы внутри малоэмиссионной камеры сгорания // Автометрия, 2020, Т. 56, № 4. – С. 12–20. – DOI 10.15372/AUT20200402.
9. Polyakova E.V., Pelipasov O.V. Plasma molecular species and matrix effects in the Hummer cavity microwave induced plasma optical emission spectrometry // Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy. – 2020. – Vol. 173. – P. 105988. – DOI 10.1016/j.sab.2020.105988. (<https://doi.org/10.1016/j.sab.2020.105988>).

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

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

Исполнители проекта:

Лаборатория дифракционной оптики

Тематическая группа лазерной гравиметрии

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

Разработка программно-аппаратных средств синтеза и характеристики дифракционных оптических элементов, формирующих эталонные волновые фронты, а также амплитудных решёток

Для определения ошибок записи прецизионных дифракционных структур был разработан новый метод контроля погрешностей изготовления прецизионных синтезированных голограмм, формирующих эталонные волновые фронты, по взаимному смещению двух решеток, встроенных одна в другую, одна из которых записана до записи основной голограммы, а другая – в процессе записи [1]. Серия таких меток с решетками формируется вдоль радиуса голограммы (рис. 2.15). Проведен сравнительный анализ нового метода с разработанным ранее блочным методом определения сдвига между двумя соседними решетками. Блоч-

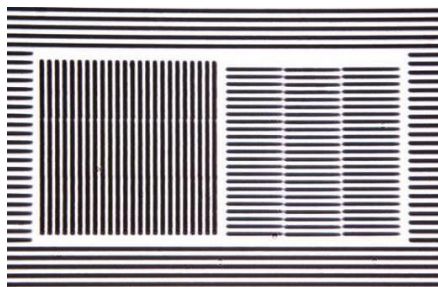


Рис. 2.15. Фотография блочных двухкоординатных меток

ный метод формирования меток более наглядный для анализа. Однако метод встроенных решеток позволяет реализовать автоматический дифрактометрический анализ.

Разработка методов синтеза структуры и генерации новых видов сфокусированных гауссово- и бесселеподобных световых пучков

Острая фокусировка радиально поляризованного лазерного пучка с кольцевой аподизацией его поперечного профиля приводит к появлению преимущественно продольной поляризации в фокальной области и позволяет получить субволновый размер сфокусированного пятна значительно меньший, чем при линейной и круговой поляризации. Аналогичным образом остро сфокусированный вихревой пучок с азимутальной поляризацией и кольцевой аподизацией имеет преимущественно продольную составляющую магнитного поля в фокальной области и также может быть сфокусирован до сверхмалых субволновых размеров. Для формирования таких пучков был разработан новый метод светоэффективной конвертации стандартных линейно-поляризованных лазерных пучков в цилиндрически поляризованные пучки на основе тонкопленочных диэлектрических структур, освещаемых наклонно и симметрично по отношению к общей оптической оси [2]. Данный метод предполагает объединение с методом кольцевой фокусировки пучков, осуществляемым с помощью светоэффективных систем преобразования формы пучков на основе рефракционных аксиконов, а также с помощью высокоапертурных иммерсионных объективов [3]. Метод не требует «чистки» поля пучков с помощью режекторных фильтров пространственных частот.

Исследование металлосодержащих пленок как регистрирующих сред для лазерной записи фазовых высокоапертурных дифракционных оптических элементов

Применение металлосодержащих пленок как регистрирующих сред предоставляет необычные по сравнению с фоторезистами технологические возможности и весьма эффективно для изготовления синтезированных голограмм для оптического контроля. С применением термохимической технологии лазерной записи на пленке хрома изготовлен уникальный дифракционный однокомпонентный объектив со светосилой $F/1$ с субмикронными зонами для формирования эталонного волнового фронта в интерферометрии [4, 5]. Его исследование в системе интерферометрического контроля показало величину ошибок в пределах $\lambda/10$ (рис. 2.16) [6].

Разработка автоматической системы выставления вертикали абсолютного гравиметра, основанного на анализе смещения луча, отраженного от падающего пробного тела. Продолжение мониторинга гравитационного поля Земли в сейсмоактивных и пограничных зонах «континент–океан» и гравиметрических измерений плотности и вертикальных движений земной коры в платформенных областях

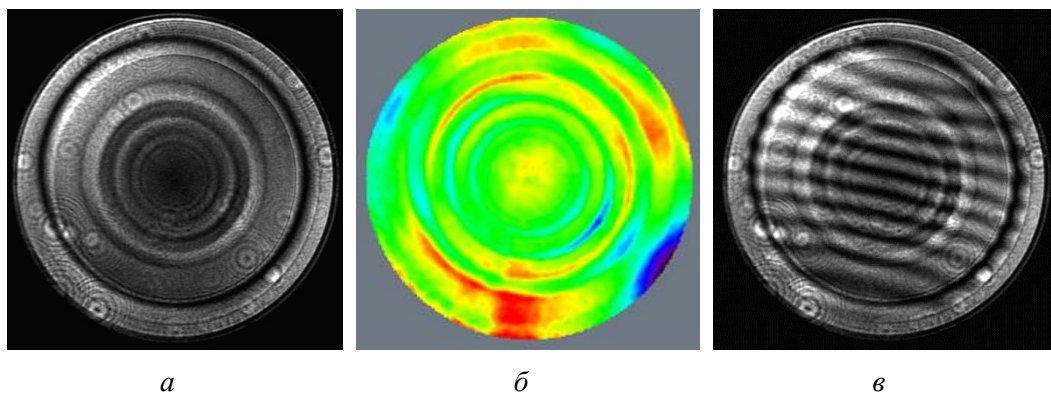


Рис. 2.16. Распределение интенсивности после отражения от дифракционной структуры (а), распределение ошибок волнового фронта ($PV = 0.156 \lambda$, $rms = 0.0194 \lambda$) (б), интерферограмма стороны дифракционного объектива от стороны дифракционной структуры (в)

Для выполнения фундаментальных и прикладных геофизических исследований по определению абсолютного значения g в условиях внешней среды (т. е. в полевых условиях), характеризующихся разнообразием вибросейсмических условий проведения измерений, а также для использования баллистических гравиметров для работы на подвижных основаниях (например, для морских измерений) необходимы оперативный контроль точности выставления и автоматическая коррекция вертикали гравиметра в процессе проведения измерений. Для этих целей был разработан метод автоматического выставления вертикали абсолютного лазерного баллистического гравиметра. Автоматическая коррекция вертикали рабочего луча гравиметра производится с помощью актюаторов, установленных на подвижных опорах основания гравиметра. Экспериментальная проверка способа показала, что погрешность выставления вертикали не превышает 30 мкрад. Лазерным баллистическим гравиметром проведены измерения неприливных вариаций ускорения силы тяжести Δg на двух пунктах сейсмоактивной зоны Горного Алтая и на базе морской экспедиционной станции «Мыс Шульца» Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН на полуострове Гамова в зоне перехода «континент–океан» [8]. Проведена оценка стабильности высоты на пунктах в п. Ключи (Новосибирский район) и в Академгородке г. Новосибирска с помощью абсолютных гравиметров типа ГАБЛ разработки Института автоматики и электрометрии СО РАН.

Публикации:

1. Shimansky R.V., Nasyrov R.K., Belousov D.A. Measuring fabrication errors of computer-generated holograms using embedded microgratings // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11551: Holography, diffractive optics, and applications X. – P. 11551OL (9 p.). – DOI 10.1117/12.2573615.
2. Григорьева А.А., Булавская А.А., Белоусов Д.А., Милойчикова И.А., Черепенников Ю.М., Стучебров С.Г. Применение полимерных компенсаторов, изготовленных при помощи трехмерной печати, для модуляции параметров медицинского электронного пучка // Медицинская техника. – 2020. – № 5. – С. 28–31.

3. Korolkov V.P., Nasyrov R.K., Sedukhin A.G., Belousov D.A., Kuts R.I. New Methods of Manufacturing High-Aperture Computer-Generated Holograms for Reference Wavefront Shaping in Interferometry // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2020. – Vol. 56, № 2. – P. 140–149. – DOI: 10.3103/S8756699020020119.
4. Korolkov V.P., Belousov D.A. Application of nanotechnologies to the problems of diffractive optics // International conference on Information technology and nanotechnology (ITNT) (Samara, May 26–29, 2020). – P. 1–8. – DOI 10.1109/ITNT49337.2020.9253171.
5. Semenov A.P., Abdulkadyrov M.A., Dobrikov N.S., Ignatov A.N., Patrikeev V.E., Pridnya V.V., Polyanchikov A.V., Nasyrov R.K. Experience of computer generated holograms (CGH) application for testing, alignment, and positioning of astronomical and space mirrors aspherical surfaces // Proceedings of SPIE: vol. 11341: Applied Optics and Photonics China 2019: Space Optics, Telescopes, and Instrumentation (AOPC 2019) (Beijing, China, July 7–9, 2019). – P. 113411L. – DOI 10.1117/12.2547477.
6. Korolkov V.P., Nasyrov R.K., Sedukhin A.G., Belousov D.A., Kutz R.I. Polarization effects in interferometric testing with f/1 diffractive transmission sphere // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11551: Holography, diffractive optics, and applications X. – P. 115511I (1 p.). – DOI 10.1117/12.2573608.
7. Белоусов Д. А., Достовалов А.В., Корольков В.П., Микерин С.Л. Метод обработки микроизображений для анализа структур ТЛИППС // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43. – №. 6. – С. 936–945.
8. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Бойко Е.В., Валитов М.Г., Стусь Ю.Ф., Сизиков И.С., Носов Д.А., Калиш Е.Н. О сравнении результатов определения координат и скоростей смещения пунктов с помощью двухчастотных приемников космической геодезии // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 63–77. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-63-77.

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

№ гос. рег. АААА–А17–117060810013–2. № темы 0319–2019–0007

Исполнители проекта:

Лаборатория лазерной графики

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

Создание экспериментальных стендов систем гибридного трехмерного синтеза, программно-аппаратных средств для их управления, специальных систем трехмерного нанесения порошков, паст и жидкостей на различные подложки (в том числе состоящих из наноразмерных частиц). Разработка методик контроля качества таких технологий, выявление ограничений и преимуществ новых технологий

На основе выполненных исследований разработаны узлы управления диспенсерами оптико-механическими узлами, программное обеспечение и создан экспериментальный стенд системы для послойного локального нанесения программно-заданной 3D-топологии жидких и пастообразных композиций с заданной проводимостью и их последующей лазерной обработки. На рис. 2.17 и 2.18 приведены фото системы и порталного механизма с диспенсерной головкой соответственно.



Рис. 2.17. Гибридная диспенсерно-лазерная система



Рис. 2.18. Портальный механизм с диспенсерной головкой

Основные технические характеристики

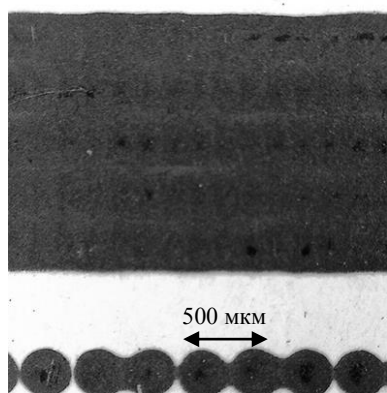
Максимальный размер изготавливаемого изделия, мм ³	110×110×120
Спецификация процесса синтеза жидкостных или пастообразных слоев:	
Скорость перемещения головки диспенсеров, м/с	до 0.2
Толщина наносимого слоя, мкм	1–100
Размер сменных сопел диспенсера для жидких композиций, мкм	30–100
Размер сменных насадок для паст, мкм	100–300
Спецификация лазерного канала:	
Диаметр лазерного луча в плоскости записи, мкм	50
Дискретность лазерного луча в плоскости записи, мкм	5
Скорость движения лазерного луча, максимальная, м/с	1
Лазер волоконный, длина волны 1.06 мкм, мощность 20 Вт	

Результаты испытаний системы в режиме послойного нанесения жидких и пастообразных композиций, разработанных ИХТМ СО РАН, с последующим локальным нагревом элементов топологии лазерным излучением встроенного в систему волоконного лазера представлены на рис. 2.19 [1, 2].

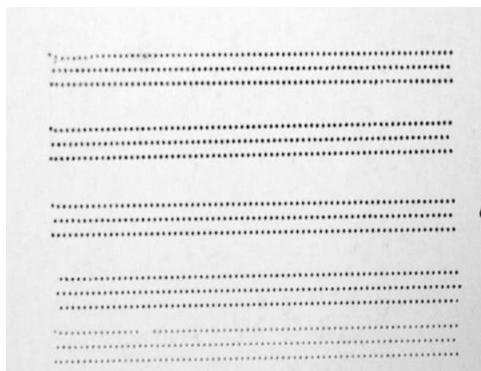
Совместно с ИХТМ СО РАН проведен комплекс работ по отработке методов прямого синтеза скаффолдов из гидроксипатита с использованием разработанных в ИАиЭ СО РАН систем трехмерного послойного синтеза на основе мощного CO₂-лазера [3].

Впервые проведено исследование поведения гидроксипатита, содержащего ионы цинка и силиката, при его селективном лазерном плавлении под воздействием лазерного излучения с длиной волны 10.6 мкм. Для сравнения исследовано поведение данного материала при нагревании в высокотемпературной печи. Показано, что механохимически синтезированный образец можно использовать для получения медицинских изделий методом селективного лазерного плавления. Благодаря резкому нагреву и охлаждению ионы-заместители в образце с малой степенью замещения

остаются в структуре апатита. В случае медленного нагрева данного образца его термостабильность понижается – при температуре 910 °С выделяются фазы ZnO и β -Ca₃(PO₄)₂.



a



б

Рис. 2.19. Результаты испытаний системы: *a* – фрагмент тестового нанесения медного пастообразного слоя на полимерную подложку с последующей лазерной обработкой (разработка ИТТМС СО РАН), размер сопла диспенсера 200 мкм; *б* – тестовое изображение нанесения серебряных наночернил (разработка ИХТТМ СО РАН), размер сопла 100 мкм, размер серебряных точек на бумажной подложке 130 мкм

Разработан метод многопроходного формирования глубоких микроканалов в стёклах путём послышной лазерной микрообработки фемтосекундными импульсами, позволяющий существенно уменьшить количество микродефектов и улучшить точность их формирования, однако во многих случаях он не позволяет получить одинаковое и равномерное качество краев микроканалов по всему периметру [4].

При разработке узлов и системотехники гибридных послышных 3D-принтеров учитывалась возможность установки обзорной системы технического зрения и локального датчика температуры, установленного в канале сканирования лазерного излучения. Фотокамера системы технического зрения с объективом устанавливается наклонно, так чтобы в поле зрения попадала вся плоскость послышного синтеза, оптический термодатчик на основе пирометра устанавливается в оптическом канале лазерного модуля. Разделение лазерного канала и канала отраженного излучения производится на оптическом делительном кубике, пропускающем излучение лазера с длиной волны 1.06 мкм и направляющем отраженное излучение на пирометр.

Разработанные нами профилометры на основе методов хроматической конфокальной профилометрии, на наш взгляд, являются оптимальными для исследования поверхности изделий, сформированных послышным порошковым лучевым синтезом. Сменные головки позволяют измерять профили с дискретностью от долей микрон до нескольких микрон, при этом, в зависимости от нужного разрешения, можно проводить исследе-

дования поверхностей с неровностями от нескольких мм до 100 мм. Пример измерений с помощью конфокального хроматического профилометра ИАиЭ СО РАН [5] приведен на рис. 2.20.

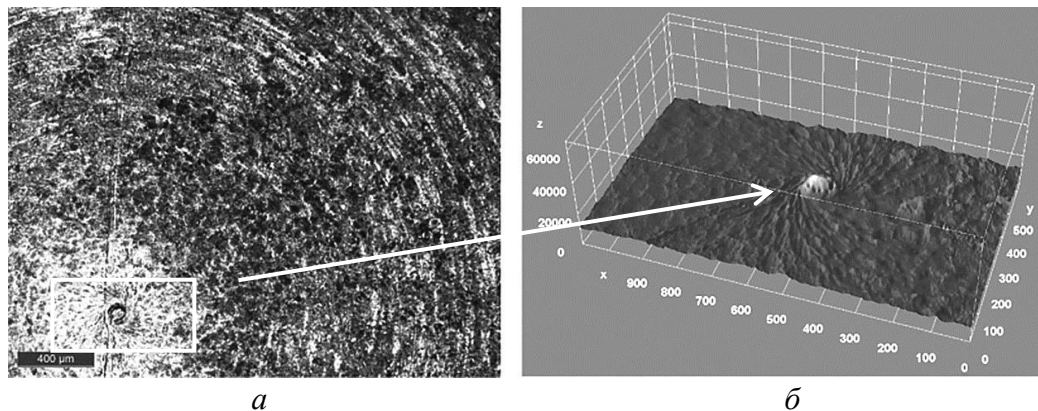


Рис. 2.20. Иллюстрация измерений с помощью конфокального хроматического профилометра: *а* – фрагмент поверхности медного диска после мощного облучения; *б* – профилограмма центральной части его поверхности

В развитии работ по исследованию птихографических методов обработки изображений для систем контроля высокоотражающих металлических объектов разработаны метод и устройство измерения основных параметров синтезированных защитных голограмм с использованием возможностей микроскопии микронного разрешения и дифрактометрии с мульти-угловой системой освещения [6, 7]. Метрологические характеристики разработанной в ИАиЭ СО РАН системы позволяют получить пространственное разрешение в микрометровом диапазоне при определении формы и расположения структурных элементов цифровой защитной голограммы, относительную точность определения периода микрорешеток голопикселей не хуже 5 % измеряемой величины и точность вычисления угла ориентации микрорешеток не хуже 1.

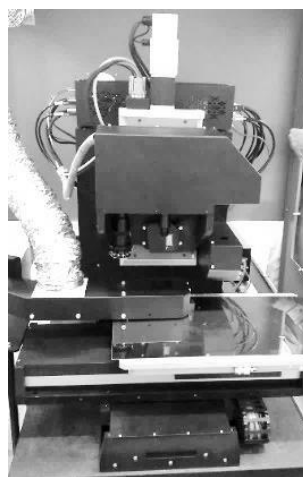
Разработана комбинированная лазерная система послойного формообразования, состоящая из модуля 3D-принтера с мощным волоконным лазером (500 Вт) и модуля прецизионной обработки фемтосекундным лазером мощностью 20 Вт (рис. 2.21) [8]. Такая система позволяет работать с высокотемпературными металлическими порошками и обеспечивает возможность как аддитивного, так и субтрактивного формообразования и постобработку на основе термохимических реакций, абляции, полировки.

Публикации:

1. Titkov A.I., Logutenko O.A., Vorobyev A.M., Borisenko T.A., Bulina N.V., Ulihin A.S., Baev S.G., Bessmeltsev V.P., Lyakhov N.Z. Laser sintering of Cu&Ag core-shell nanoparticles for printed electronics application // Materials today: proceedings. – 2020. – Vol. 25, part 3: 3rd All-Russian Conference (with International Participation) on Hot Topics of Solid State Chemistry – From New Ideas to New Materials (Novosibirsk, October 1–5, 2019). – P. 447–450. – DOI 10.1016/j.matpr.2019.12.163.



a



б

Рис. 2.21. Модули комбинированной лазерной системы: *a* – 3D-принтера с 500 Вт лазером; *б* – фемтосекундной 3D-обработки

2. Титков А.И., Логутенко О.А., Воробьев А.М., Мальбахова И.А., Булина Н.В., Баев С.Г., Бессмельцев В.П., Юхин Ю.М., Ляхов Н.З. Лазерное спекание наночастиц Ag и Cu/Ag со структурой ядро-оболочка для создания электропроводящих элементов технологиями 2D- и 3D-печати // III Всероссийская конференция (с международным участием) «Горячие точки химии твердого тела: от новых идей к новым материалам». (г. Новосибирск, 1–5 октября 2019). С. 133.
3. Bulina N.V., Titkov A.I., Baev S.G., Makarova S.V., Khusnutdinov V.R., Bessmeltsev V.P., Lyakhov N.Z. Selective Laser Sintering of Hydroxyapatite for Fabrication of Bioceramic Scaffolds // Materials Today: Proceedings, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.199>
4. Способ формирования микроканалов на подложках и устройство для его реализации: пат. 2709888 Рос. Федерация на изобретение. Бессмельцев В.П., Голошевский Н.В., Катасонов Д. Н., Киприянов Я.А., Баев С.Г.; опубл. 23.12.2019. Бюл. № 36. 3 с.
5. Vykov T., Goloshevskii N.V., Gromilov S., Kasatov D., Kolesnikov I., Koshkarev A., Makarov A., Ruktuev A., Shchudlo I., Sokolova E., Taskaev S. In situ study of the blistering effect of copper with a thin lithium layer on the neutron yield in the ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ reaction // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2020. – Vol. 481. – P. 62–81. – DOI 10.1016/j.nimb.2020.08.010.
6. Бессмельцев В.П., Вилейко В.В., Максимов М.В. Метод измерения основных параметров цифровых защитных голограмм для экспертного анализа и оперативного контроля их качества // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 2. – С. 20–33. – DOI 10.15372/AUT20200202.
7. Способ определения подлинности и качества изготовления защитных голограмм, выполненных на основе дифракционных микроструктур, и устройство для его реализации: пат. 2722335 Рос. Федерация на изобретение. Бессмельцев В.П., Вилейко В.В., Максимов М.В.; опубл. 29.05.2020, Бюл. № 16. 4 с.
8. Корольков В.П., Микерин С.Л., Бессмельцев В.П., Терентьев В.С., Белоусов Д.А., Лобач И.А., Достовалов А.В. Новые возможности в области создания микро-наноструктурированных оптических и голографических компонентов и лазерных технологий микрообработки // HOLOEXPO 2020. XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям (Москва, 8–9 сентября, 2020): тезисы докладов. – 2020. – С. 66–73.

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

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

№ гос. рег. АААА–А17–117052410034–6. № темы 0319–2019–0008

Исполнители проекта:

Лаборатория информационной оптики

Лаборатория цифровых методов обработки

Лаборатория вероятностных методов исследования информационных процессов

Тематическая группа информатики и прикладной математики

Тематическая группа оптико-электронных специализированных процессоров

Тематическая группа имитационно-моделирующих стендов

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

Разработка и исследование эффективности спектрально-пространственных методов классификации мульти- и гиперспектральных изображений при вариации размера учитываемых окрестностей пикселей

Показана перспективность многомасштабного сглаживания исходных изображений [1]. Использование сразу 9 масштабов позволило увеличить точность классификации крупноформатного изображения на 3 % по сравнению с результатом, достигнутым при оптимальном размере ядра предварительной обработки. Это, с одной стороны, приводит к повышению трудоемкости вычислений за счет кратного числу масштабов увеличения количества признаков и не позволяет добиться эффективности большей, чем при совместном применении предварительной и апостериорной обработки. Однако, с другой стороны, бесспорным преимуществом многомасштабного сглаживания является то, что оно дает возможность исключить весьма трудоемкую процедуру подбора масштаба предварительной пространственной обработки.

Исследована возможность существенного уменьшения объема регистрируемых данных за счет выбора положения и ширины ограниченного количества наиболее информативных спектральных каналов при решении задачи классификации сельскохозяйственных культур [2]. На примере обработки 220-канального гиперспектрального изображения при решении задачи мониторинга сельскохозяйственных культур экспериментально показано, что регистрация и обработка данных в специально выбранных (по результатам классификации фрагмента) спектральных каналах позволяет получить точность не хуже, чем для систем признаков, сформированных с

применением метода главных компонент. На рис. 2.22 сформированные подсистемы из 10 и 20 признаков представлены для наглядности на фоне спектра одного из подклассов. Видно, что наборы каналов при применении методов ML и SVM для оценки информативности систем признаков подобны.

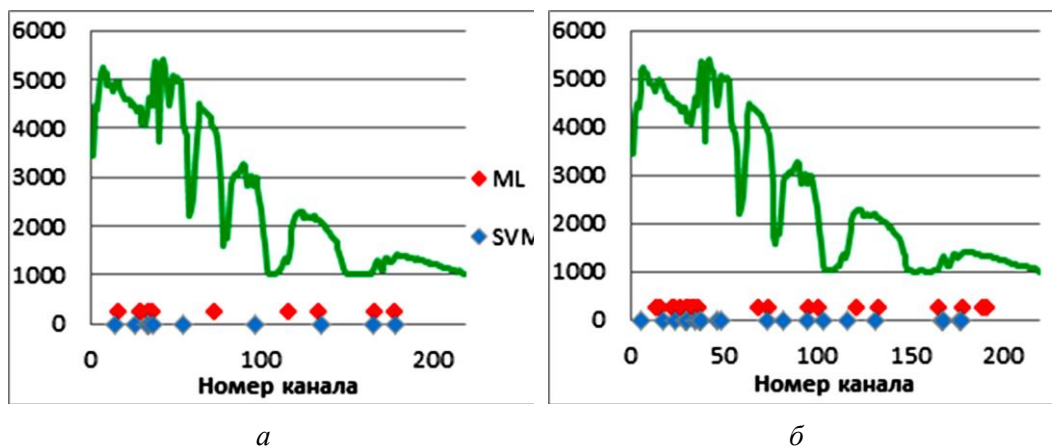


Рис. 2.22. Спектральные каналы, выбранные из 220 исходных:
 а – 10 каналов, б – 20 каналов

При этом трудоемкость требуемых вычислений существенно уменьшается. Выбор спектральных интервалов, их числа и расположения может осуществляться на этапе проектирования систем. Такой подход приводит к повышению эффективности решения целевых задач вследствие того, что представляется возможным достаточно полно учесть характерные особенности объектов исследования и условия наблюдения для каждой конкретной задачи [3, 4].

Модели формирования, совместная обработка и интерпретация последовательностей изображений в применении к выделению малоконтрастных динамических объектов и восстановлению трехмерной структуры сцен

Предложен метод коррекции структурной помехи в паре кадров, отличающихся сдвигом фона, не требующий выравнивания чувствительности приемника посредством его предварительной калибровки [5]. При межкадровой обработке последовательности изображений с малоразмерными объектами (характерный размер ~ 3 пк) коррекция позволяет в несколько раз подавить остаточный фон, практически не искажая формы и амплитуды объектов. На рис. 2.23, а и б приведены два кадра последовательности с пространственно-нестационарным фоном и слабоконтрастными подвижными объектами, сформированной сканирующим матричным ИК-приемником с неравномерной чувствительностью (СКО 10 % от среднего значения). Рис. 2.23, в и г демонстрируют результаты межкадровой обработки без (в) и с учетом (г) неравномерности чувствительности, оцененной предлагаемым способом. СКО фона в исходных кадрах – 53.3 еди-

ниц, СКО остаточного фона без учета неравномерности – 29.9, с учетом неравномерности – 5.0. Среднее значение амплитуды объектов ~ 27, уровень случайного шума фотоприемника ~ 2.5.

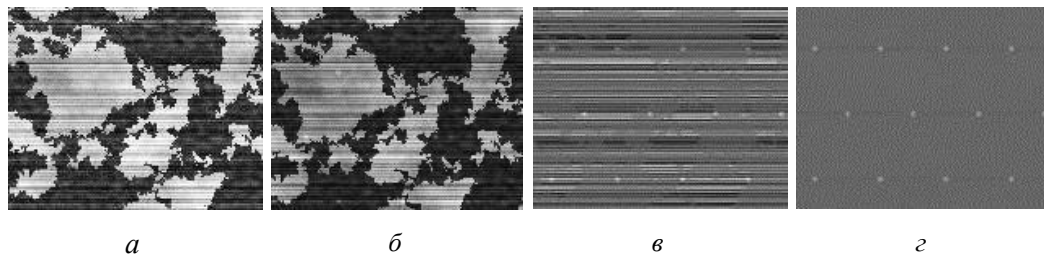


Рис. 2.23. Коррекция неравномерности чувствительности матричного фотоприемника без предварительной калибровки

Разработан алгоритм фильтрации, основанный на разложении коррелированной последовательности случайных величин в суперпозицию степеней некоррелированной последовательности. В численном эксперименте показано лучшее подавление шума по сравнению с фильтрацией Винера – Колмогорова [6–9].

Разработка и исследование нейросетевых (в том числе свёрточных с глубоким обучением) методов распознавания объектов с компьютерной генерацией обучающих выборок

Проанализированы принципы построения проекторов инфракрасных сцен на основе микрозеркальных технологий как одних из наиболее перспективных устройств для генерации ИК-изображений. Рассмотрены несколько типов проекторов, созданных на этих принципах, с точки зрения функциональности, минимизации шумов и спектрального диапазона. Обозначены проблемы, которые возникают при конструировании таких проекторов, базирующихся на DMD-технологиях и предназначенных для генерации длинноволновых ИК-изображений.

Разработаны принципы построения стенда для исследования систем обнаружения подвижных объектов [10, 11]. Изображения объектов генерируются программой анимации 3DS-моделей Aurora Animation 3D. Нестационарный пространственный фон создается генеративно-состязательной нейронной сетью. Изображения движущихся объектов налагаются на фон и подаются в проектор ИК-сцен в спектральном диапазоне 3–15 мкм. Считывание ИК-изображений производится тепловизором, сигналы с которого поступают в свёрточную нейронную сеть, обученную на аугментированной выборке.

Рассмотрено влияние параметров гибкой разделительной мембраны на порог чувствительности оптико-акустического приемника излучения ИК- и ТГц-диапазонов. Проведены обобщенные расчеты чувствительности мембран, выполненных на основе традиционных материалов: серебро, полиметилметакрилат, нитрид кремния. Показана перспективность применения однослойного графена для создания подобных мембран [12]. В резуль-

тате повышается чувствительность оптоакустических приемников излучения, что позволяет конструировать матричные системы с малыми диаметрами мембран при сохранении метрологических параметров однокамерных приборов [13].

Создание интеллектуальных программно-алгоритмических средств решения проблемных и прикладных задач обработки случайных дискретных изображений

Предложены алгоритмы оптимальной локализации случайных точечно-импульсных источников, имеющих многоступенчатую одномодальную плотность распределения вероятности на интервале поиска (рис. 2.24). Их отличительной особенностью является то, что в практических приложениях они могут быть физически реализованы с помощью перемещения односвязной сканирующей апертуры с динамически программируемым размером окна обзора [14–18].

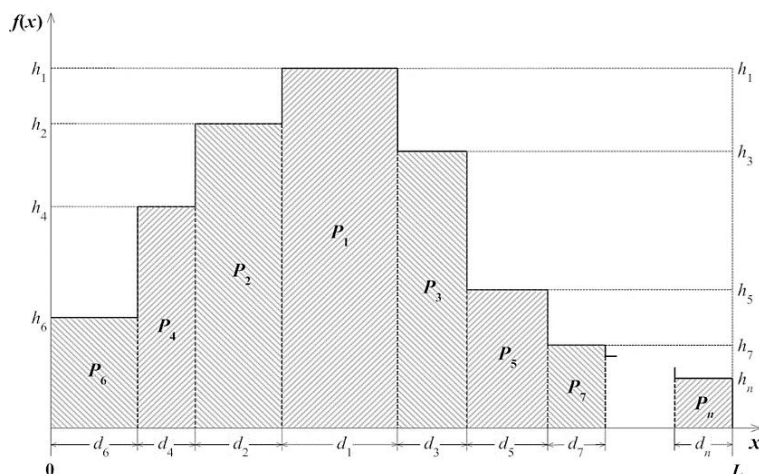


Рис. 2.24. Пример одномодальной ступенчатой плотности распределения случайного импульсно-точечного источника на поисковом интервале $(0, L)$

Рассчитаны параметры оптимальной многоэтапной процедуры, при которых минимизируется (в статистическом плане) среднее время поиска случайного сигнального источника в зависимости от его мощности и требуемой точности локализации. В перспективе планируется расширить применение построенных оптимальных алгоритмов на двумерный случай.

Публикации:

1. Борзов С.М., Потатуркин О.И. Повышение эффективности классификации гиперспектральных изображений за счет разномасштабной пространственной обработки // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 6. – С. 937–943. – DOI 10.18287/2412-6179-CO-779.
2. Борзов С.М., Потатуркин О.И. Выбор информативной системы признаков при классификации сельскохозяйственных культур по гиперспектральным данным // Автоматика. – 2020. – Т. 56, № 4. – С. 134–144. – DOI 10.15372/AUT20200414.
3. Альт В.В., Гурова Т.А., Елкин О.В., Клименко Д.Н., Максимов Л.В., Пестунов И.А., Дубровская О.А., Генаев М.А., Эрст Т.В., Генаев К.А., Комышев Е.Г., Хлесткин В.К.,

- Афонников Д.А. Использование гиперспектральной камеры SPECIUM IQ для анализа растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2020. – Т. 24, № 3. – С. 259–266. – DOI 10.18699/VJ19.587.
4. Klimenko D.N., Gurova T.A., Elkin O.V., Maksimov L.V. Hyperspectral reflectance system for plant diagnostics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 548, is. 3: 3rd International Conference on Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies (AGRITECH-III 2020) (Krasnoyarsk, June 18–20, 2020). – P. 032019. – DOI 10.1088/1755-1315/548/3/032019.
 5. Громилин Г.И., Косых В.П., Яковенко Н.С. Согласованная фильтрация малоразмерных объектов в изображениях, содержащих постоянную пространственную помеху // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 4. – С. 145–153. – DOI 10.15372/AUT20200415.
 6. Likhachev A.V., Zerkal S., Likhachev N.A. Application of wavelet analysis for processing tomograms of narrow cracks // IOP Conference series : Materials science and engineering. – 2020. – Vol. 953: XIII International Scientific Conference Architecture and Construction (Novosibirsk, September 22–24, 2020). – P. 012040. – DOI 10.1088/1757-899X/953/1/012040.
 7. Лихачев А.В. Выделение трех уровней яркости на зашумленном изображении // Вычислительные методы и программирование. – 2020. – Т. 21, № 2. – С. 180–186. – DOI 10.26089/NumMet.v21r216.
 8. Zhurbenko A.O., Likhachev A.V., Tabanykhova M.V. Piezo-optical properties of ice // IOP Conference series: Materials science and engineering. – 2020. – Vol. 962: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 20200) (Sochi, September 6–12, 2020). – P. 022022. – DOI 10.1088/1757-899X/962/2/022022.
 9. Abashin R., Likhachev A.V., Zerkal S., Likhachev N.A. Comparison of Methods for Processing of X-ray images of Defects in Reinforced Concrete Product // IOP Conference series: Materials science and engineering. – 2020. – Vol. 953: XIII International Scientific Conference Architecture and Construction (Novosibirsk, September 22–24, 2020). – P. 012041. – DOI 10.1088/1757-899X/953/1/012041.
 10. Гибин И.С., Козик В.И., Нежевенко Е.С. Генерация изображений в инфракрасном диапазоне на основе микрозеркальных технологий // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 3–12. – DOI 10.15372/AUT20200101.
 11. Система имитации обстановки инфракрасного диапазона: пат. 2713614 Рос. Федерация на изобретение. Гибин И.С., Котляр П.Е., Нежевенко Е.С., Козик В.И.; опубл. 05.02.2020, Бюл. № 4. 2 с.
 12. Гибин И.С., Котляр П.Е. Мембраны оптико-акустических приемников излучения // Прикладная физика. – 2020. – № 2. – С. 90–97.
 13. Гибин И.С., Котляр П.Е. Матричный оптико-акустический приемник ТГц излучения с нанооптоэлектромеханическими элементами на основе перфорированного SLG графена // Прикладная физика. – 2020. – № 3. – С. 76–82.
 14. Резник А.Л., Тузиков А.В., Соловьев А.А., Торгов А.В., Ковалев В.А. Оптимизация времени поиска случайных импульсных источников с заданной точностью // Вычислительные технологии. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 91–106. – DOI 10.25743/ICT.2020.25.1.007.
 15. Reznik A.L., Soloviev A.A., Torgov A.V. Analysis of one type of communication systems using software and probabilistic methods // CEUR Workshop Proceedings. – 2020. – Vol. 2638: Proceedings of the 2nd International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (Irkutsk, July 6–7, 2020). – P. 225–233.
 16. Резник А.Л., Соловьев А.А., Торгов А.В. Программы рекурсивных аналитических вычислений в задачах анализа случайных точечных изображений // Известия Алтайского государственного университета. – 2020. – № 4. – С. 112–116. – DOI 10.14258/izvasu(2020)4-18.
 17. Резник А.Л., Соловьев А.А., Торгов А.В. Локализация случайных импульсно-точечных источников с применением физически реализуемых поисковых алгоритмов // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 6. – С. 49–60. – DOI 10.15372/AUT20200606

18. Reznik A.L., Tuzikov A.V., Torgov A.V., Soloviev A.A., Kovalev V.A. Localization of point sources with random spatial position and random discipline of pulse generation // CEUR workshop proceedings. – 2020. – Vol. 2534. – P. 178–182.

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

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

№ гос. рег. АААА–А17–117060610006–6. № темы 0319–2019–0009

Исполнители проекта:

Лаборатория нечётких технологий

Лаборатория интегрированных информационных систем управления

Тематическая группа автоматизации измерительных технологий

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

Разработка технологии полунатурного моделирования движения групп автономных роботов

Создан программно-аппаратный комплекс, предназначенный для разработки и полунатурного моделирования систем управления летательными аппаратами. Для представления и идентификации аэродинамических характеристик модели предложен подход, основанный на применении модифицированного метода нечеткой кластеризации к многомерному набору данных. Разработан алгоритм управления группой мобильных роботов, избегающий столкновения, на основе эвристики, моделирующей поведение индивида в коллективе. Предложен метод управления движением группы роботов заданным строем по программной траектории при возмущениях и заранее неизвестных динамических характеристиках. Для управления группой подвижных автономных объектов разработан программно-аппаратный комплекс, включающий математические алгоритмы формирования управляющих команд (рис. 2.25). Особенностью комплекса является возможность его использования без модификации алгоритмического обеспечения как в задачах программного и программного-аппаратного моделирования систем управления группой беспилотных аппаратов, так и в задачах управления реальными роботизированными устройствами [1–4].

Выбор и обоснование физико-технических аспектов создания узлов Z-координаты и вспомогательной Y-координаты

Разработаны методы повышения метрологических параметров базовой платформы, используемой при создании перспективного технологического оборудования для синтеза элементов фотоники. Предложено при

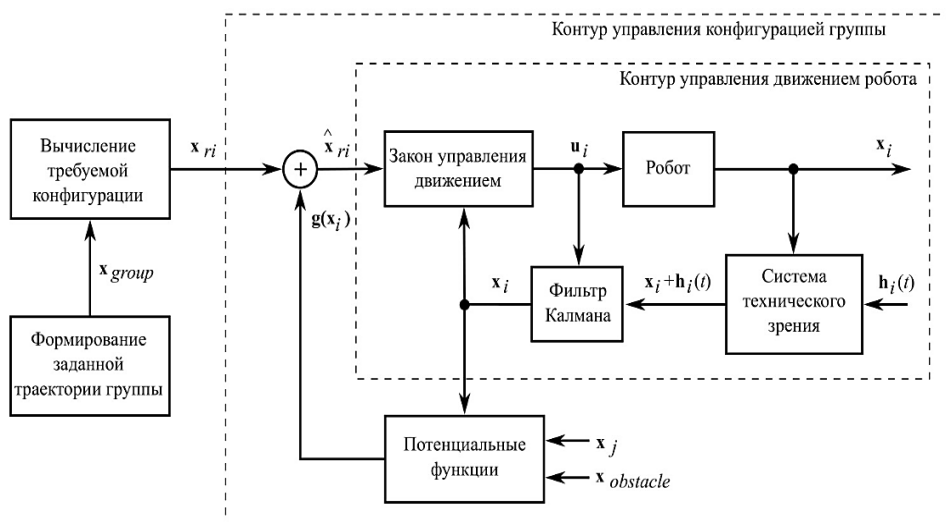


Рис. 2.25. Структурная схема системы управления

выборе перспективной архитектуры аппаратно-программного комплекса базовой платформы использовать конфигурацию, в основе которой заложено широкое использование интегрированных приводов и исключительно цифровых методов передачи информации между узлами устройства. На примере круговой измерительно-диагностической машины сделан выбор и обоснование технических решений создания узлов Z-координаты для базовой платформы. Предложено разрабатывать этот узел как систему с предварительно запрограммированным наведением микрообъектива считывающей головки на фокус, запоминанием текущих уставок для исполнительных систем системы фокусировки и отработкой их в процессе автоматизированного контроля топологии изделия. Система реализована на базе микрообъектива Nikon MUE 10500 (Япония) и линейного позиционирующего столика Nano-OP-65 фирмы Mad City Labs (США) (рис. 2.26).

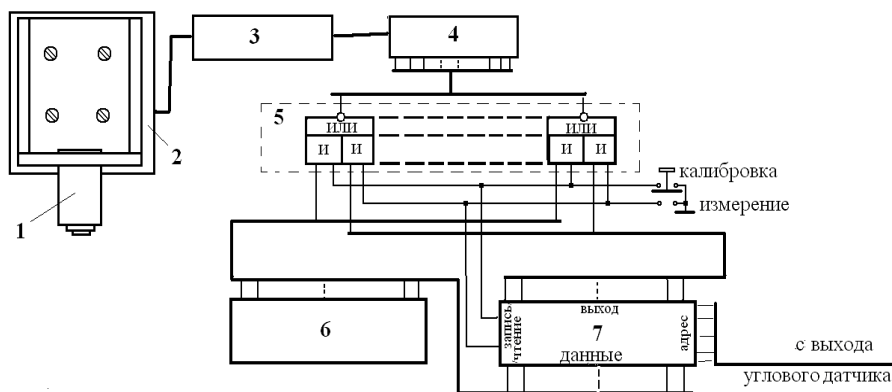


Рис. 2.26. Функциональная схема системы префокусировки

Исследование архитектуры автоматизированной системы управления перспективного солнечного телескопа

Проведен анализ процесса наведения основного телескопа на цель в режимах активного, пассивного и выключенного гидирования телескопа гидирования, определены границы областей гидирования и указания целей. Рассмотрен процесс получения данных научными приборами солнечного телескопа, включающими спектральные блоки, механические модуляторы, видеокамеры, механизмы перемещения [5–10].

Исследование коммутационно-компьютерной модели устройства фильтрации запросов к интернет-контенту на основе анализа протоколов в условиях испытаний в реальном сегменте сети

Получена модель, обеспечивающая фильтрацию HTTP-запросов в условиях реального сетевого трафика. Проведены стендовые испытания моделей устройства HTTP-фильтрации на компьютерной платформе Gridex-1, построенных как по стандартной схеме, так и с разделением функций между промышленным компьютером и программируемым коммутатором [11–13].

Исследование и оптимизация режимов горячего прессования

Представлена разработка экспериментальной автоматизированной установки для производства трубчатых заготовок анода твёрдооксидных топливных элементов из гомогенизированной пасты методом экструзии (рис. 2.27). Разработано встраиваемое программное обеспечение (ПО) для ПЛК-63 фирмы «Овен» и реализован метод управления с помощью клавиатуры и дисплея ПЛК. ПО обеспечивает ручное автоматизированное управление установкой, автоматическое изготовление партии изделий, настройку и диагностику аппаратуры. Установка позволяет упростить процесс изготовления экспериментальных партий вышеперечисленных изделий и обеспечить стабильность и повторяемость их параметров [14].

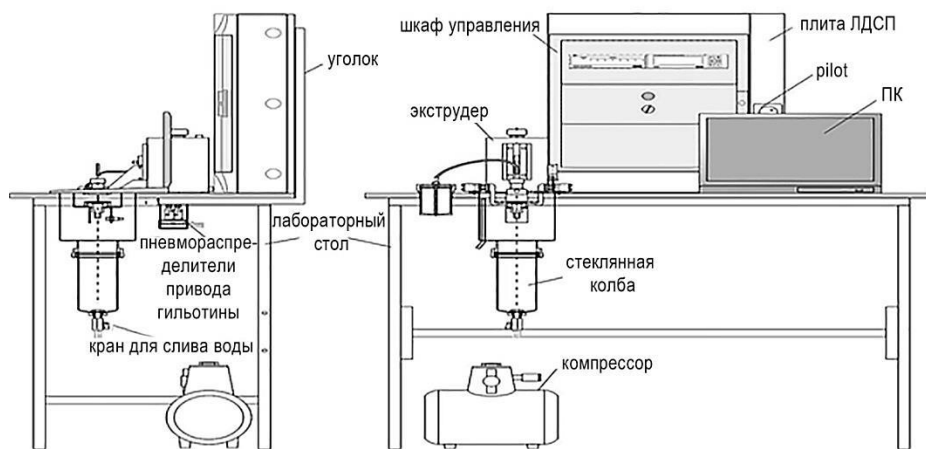


Рис. 2.27. Общий вид установки

Публикации:

1. Котов К.Ю., Мальцев А.С., Нестеров А.А., Ян А.П. Алгоритмы и архитектура системы управления траекторным движением мультироторного летательного аппарата // *Автометрия*. – 2020. – Т. 56, № 3. – С. 20–28. – DOI: 10.15372/AUT20200303.
2. Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Нестеров А.А., Семенюк Е.Д. Отслеживание объекта в видеопотоке с помощью свёрточной нейронной сети // *Там же*, № 6. – С. 100–106. – DOI 10.15372/AUT20200611.
3. Dimova A.S., Kotov K.Yu., Maltsev A.S. Trajectory control of a quadrotor carrying a cable-suspended load // 24th International Conference on System Theory, Control and Computing (ITSTCC) (Sinaia, Romania, October 8–10, 2020). – P. 9259794. – DOI 10.1109/ICSTCC50638.2020.9259794.
4. Котов К.Ю., Мальцев А.С., Пришляк Е.Е., Соболев М.А. Комплекс группового управления беспилотными аппаратами // *Вычислительные технологии*. 2020. Т. 25, № 6 (в печати).
5. Кирьянов А.В., Зотов А.А., Каракоцкий А.Г., Кирьянов В.П., Петухов А.Д., Чуканов В.В. Особенности оперативного контроля прецизионных углоизмерительных структур // *Измерительная техника*. – 2019. – № 5. – С. 31–36. – DOI 10.1007/s11018-019-01640-y.
6. Kiryanov A.V., Kiryanov V.P., Homutov V.N., Shimanskii R.V. Prospects for the creation of an optical-mechanical unit for a high resolution nanolithograph // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019. – Volume 1333, 022007 (doi:10.1088/1742-6596/1333/2/022007).
7. Kiryanov A.V. [et al.]. Prospects for creating a laser nanolithography system for tasks of diffractive optics and nanophotonics // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019. – Vol. 1368. – Art. 022017 (10 p.). – DOI: 10.1088/1742-6596/1368/2/022017.
8. Kiryanov A.V., Kiryanov V.P. Improving synthesis accuracy of topology elements in laser pattern generators with circular scanning mode // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. – 2020. – P. 497–506. – DOI: 10.1007/978-3-030-22041-9_53.
9. Kiryanov A.V., Kiryanov V.P. Information and Control System of Active Aerostatic Bearing // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) (Sochi, September 8–14, 2019), proceedings – paper 8867774. – DOI 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867774.
10. Котов В.Н., Лубков А.А., Попов Ю.А. Подсистема гидирования солнечного телескопа с полем зрения меньше углового размера солнечного диска // *Автометрия*. – 2020. – № 3 (56). – С. 91–100. – DOI 10.15372/AUT20200310.
11. Litvintsev V. Microflex platform and experience of its application for development of various control and measuring devices and systems // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (Sochi, May 18–22, 2020). – Paper 19674681. – DOI: 10.1109/ICIEAM48468.2020.9111901.
12. Budnikov K.I., Kurochkin A.V. Software modelling of network traffic filtering process in information system regulating the access to Internet content via HTTP // *Journal of physics: Conference series*. – Vol. 1353, N 1. – P. 012129. – DOI 10.1088/1742-6596/1353/1/012129.
13. Budnikov K.I., Serdyukov O.V., Kurochkin A.V., Nestulya R.V. HTTP filtering devices for use in automated control systems based on the technology of the industrial Internet of things // Proc. International Conference on Information Technology in Business and Industry (ITBI 2020) (Novosibirsk, 6–8 April 2020). *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1661, 2020. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1661/1/012095>.
14. Ukhina A.V., Dudina D.V., Esikov M.A., Samoshkin D.A., Stankus S.V., Skovorodin I.N., Galashov E.N., Bokhonov B.B. The influence of morphology and composition of metal-carbide coatings deposited on the diamond surface on the properties of copper–diamond composites // *Surface and Coatings Technology*, Vol. 401, 15 November 2020.

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

№ гос. рег. АААА–А17–117062110016–4. № темы 0319–2019–0010

Исполнители проекта:

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

Научный руководитель д.ф.-м.н. Лаврентьев М.М.

Исследование свойств алгоритма восстановления параметров источника цунами по части зарегистрированного волнового профиля методом ортогонального разложения

Одним из центральных параметров любой системы предупреждения об опасности цунами является время, необходимое для оценки высоты волны перед различными участками побережья. Начальными данными для расчетов является оценка параметров смещения морского дна в источнике цунами. Не останавливаясь на описании различных способов получения этих параметров, выделим обработку записи профиля волны цунами, полученную на отдельно взятой глубоководной гидрофизической станции. Отметим, что с использованием спутниковых каналов связи получение данных измерений возможно в режиме реального времени, в процессе прохождения волны над донным датчиком давления.

Как правило, оценки параметров очага цунами делаются на основе записей целого периода волны. Время прохождения полного периода может занимать от 100 с (для длины волны порядка 20 км) до 250 с (для длины волны 50 км). Это занимает значительную часть времени добега волны от источника до ближайшей точки побережья, которое составляет около 1200 с для событий так называемой ближней зоны, характерных для побережья Камчатки и Курильских островов.

Проведенные численные эксперименты [1, 2] показывают, что в рамках метода предварительных вычислений хорошее приближение параметров очага цунами можно получить примерно по одной четверти полного профиля волны (практически, по данным от начального вступления до первого максимума). Предложено восстанавливать параметры начального возмущения (сдвига морского дна) в очаге цунами по части профиля волны, записанного в одной точке. Современные средства наблюдения позволяют получать данные о высоте волны непосредственно во время ее прохождения над глубоководной гидрофизической станцией. Разработан критерий остановки предложенного алгоритма. Работа критерия была проверена в ходе серии вычислительных экспериментов, проведенных на реальной батиметрии.

Применение предложенного подхода в системах предупреждения об опасности цунами позволит сократить время, требуемое для обоснованной оценки опасности волны цунами путем вычислительного эксперимента. В зависимости от размеров очага цунами выигрыш во времени может составить от 8 до 20 % времени, которое требуется волне после сейсмического события для подхода к ближайшей точке побережья в случае землетрясения так называемой ближней зоны.

Оптимизация и доработка решений, использованных в макете системы контроля и управления. Уточнение требований к организации отказоустойчивых доверенных систем контроля и управления с виртуальными контроллерами

Исследованы возможности оптимизации решений, реализованных в макете отказоустойчивой доверенной системы контроля и управления с виртуальными контроллерами [3]. По результатам практических испытаний на реальном промышленном объекте выполнена доработка системы и уточнены требования к организации подобных систем.

Существующие подходы к обеспечению информационной безопасности не удается эффективно применять на больших и сложных детерминированных значимых объектах критической информационной инфраструктуры, поскольку до сих пор мало исследованы возможности организации доверенных, надежно защищенных систем контроля и управления для объектов этого класса. Практическая проверка реализованных на макете решений по обеспечению информационной безопасности таких систем позволила продвинуться в этом мало изученном научном направлении.

В условиях эксплуатации на реальном промышленном объекте были продолжены исследования возможностей для оптимизации решений по обеспечению информационной безопасности, реализованных в макете отказоустойчивой доверенной системы контроля и управления реального времени с виртуальными контроллерами. Определены ранее не исследованные перспективные решения, в том числе архитектурные, позволяющие существенно повысить общий уровень информационной безопасности таких систем.

Исследование и разработка алгоритмов отслеживания параметров съёмочной видеокамеры и объектов съёмки в задачах автоматической и полуавтоматической передачи данных с помощью управляемых PTZ-видеокамер с целью применения в обучающих и тренажёрных комплексах. Разработка методов реконструкции функционально заданных поверхностей по стереоизображениям реальных объектов

Видеокамеры с функциями панорамирования (*Panning*) наклона (*Tilt*) и масштабирования (*Zoom*), известные как PTZ-видеокамеры, предоставляют широкие возможности по эффективному управлению информационными видеопотоками для создания видеоконтента в обучающих и тренажёрных комплексах, включая технологии дистанционного обучения.

Для дистанционного компьютерного управления PTZ-видеокамерами разработаны алгоритмы для таких функций, как автоматическая съёмка по заранее заданным и управляемым внешними событиями траекториям (сценарии, тренажёры), автоматическое (полуавтоматическое) отслеживание реальных и виртуальных объектов съёмки с коррекцией положения PTZ-камеры в зависимости от действий обучаемого. Разработан программный модуль для функции отслеживания параметров съёмочной видеокамеры и объектов съёмки, обеспечивающий дистанционное управление и коммутацию в реальном времени видеопотоков PTZ-видеокамеры в задачах автоматической и полуавтоматической передачи данных. В отличие от неподвижных стационарных видеокамер программно-управляемые PTZ-видеокамеры с разноформатным пространственным видеозахватом, расширенными функциональными возможностями управления и анализа информационного видеопотока обеспечивают создание высокоинформативного тематического видеоконтента в обучающих и тренажёрных системах для эффективного решения стоящих перед ними задач. PTZ-видеокамера обеспечивает замену нескольких неподвижных стационарных камер наблюдения при адекватном диапазоне наблюдения за динамикой реальных объектов в ограниченном рабочем пространстве (например, авиационные и космические тренажёры).

Получение трехмерных геометрических данных из реальной и сложной среды является актуальной задачей для создания виртуальной информационной среды, характерной для различных приложений (тренажерные и обучающие системы, распознавание изображений, обработка данных дистанционного зондирования Земли, навигация со сложными рельефами местности и др.). Для решения задачи реконструкции 3D-поверхности реальных объектов используется принцип бинокулярного стереозрения на основе двух откалиброванных видеокамер [4–6]. Разработаны метод и алгоритмы для реконструкции 3D-модели реального объекта по стереопаре изображений с использованием функций возмущения. Задача реконструкции объемной модели включает следующие этапы: получение стереопары; ректификация изображения (*image rectification*) стереопары; поиск сопряженных точек и сопоставление изображений; получение карты глубины изображения.

Предложенный метод реконструкции 3D-поверхности реальных объектов по стереоизображениям с формированием иерархической воксельной структуры модели объекта в виде восьмеричного дерева и ее преобразованием в функциональное описание на основе функций возмущения обеспечивает компактное описание и гладкость поверхности. Иерархическая обработка исходных данных с использованием структуры восьмеричного дерева значительно сокращает время вычислений без потери данных, что является отличием от известных методов, использующих итерационные методы для формирования поверхностей трехмерных моделей. Основные достоинства метода: простота преобразования воксельных данных объектов в функциональное описание; быстрый поиск описывающих

функций; существенное уменьшение количества данных для задания поверхностей сложных объектов.

Данный метод позволит эффективно использовать средства компьютерной графики для оперативного представления сложной тематической среды в задачах конкретных приложений.

Публикации:

1. Lavrentiev M.M., Lysakov K.F., Marchuk An.G., Oblaukhov K.K., Shadrin M.Y. Hardware Acceleration of Tsunami Wave Propagation Modeling in the Southern Part of Japan // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10, is. 12. – P. 4159. – DOI 10.3390/app10124159.
2. Lavrentiev M.M., Marchuk An., Oblaukhov K., Romanenko A. Comparative testing of MOST and Mac-Cormack numerical schemes to calculate tsunami wave propagation // Journal of physics: conference series. – 2020. – Vol. 1666: Lavrentyev readings on mathematics, mechanics and physics (Novosibirsk, September 7–11, 2020). – P. 012028 (7 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/1666/1/012028.
3. Budnikov K.I., Serdyukov O.V., Kurochkin A.V., Nestulya R.V. Use of HTTP filtering devices in automated control systems based on the technology of the Industrial Internet of Things // Journal of physics: Conference series. – 2020. – Vol. 1661, № 1: 2020 International Conference on Information Technology in Business and Industry (ITBI 2020) (Novosibirsk, April 6–8, 2020) / Novosibirsk State Technical University. – P. 012095. – DOI 10.1088/1742-6596/1661/1/012095.
4. Vyatkin S.I., Nechyporuk M., Romanyuk A., Troyanovskaya T., Romanyuk O., Tsikhanovska O. Photorealistic Object Reconstruction Using Perturbation Functions and Features of Passive Stereo Projection // 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT) (Deggendorf, Germany, September 16–18, 2020). – P. 839–844. – DOI 10.1109/ACIT49673.2020.9208835. – P. 851–857. – DOI 10.1109/ACIT49673.2020.9208891.
5. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Метод реконструкции функционально заданных поверхностей по стереоизображениям реальных объектов // Автотметрия. – 2020. – Т. 56, № 6. – С. 19–26. – DOI 10.15372/AUT20200603.
6. In the book “Biometric Identification Technologies Based on Modern Data Mining Methods” / Edited by Stepan Bilan et al. Springer Nature, Switzerland AG. 2020. 227 P. Vyatkin S., Romanyuk O. Ch. VIII: Identification of persons using stereo image pairs and perturbation functions. – DOI 10.1007/978-3-030-48378-4 <https://www.springer.com/gp/book/9783030483777>

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

Исполнители проекта:

Лаборатория оптических сенсорных систем

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

Исследования возможности получения многоволновой генерации для задач опроса волоконных датчиков

Представлена методика подавления конкуренции продольных мод в волоконных лазерах, легированных редкоземельными элементами, и получения одновременной генерации на десятках (до нескольких сотен) линий с разнесением длин волн до 50 пм. Метод подавления конкуренции мод

основан на модуляции усиления при управлении мощностью накачки. Спектральная селекция основана на фильтре Лию, длина которого определяется необходимым периодом модуляции спектра. Измеренная ширина для каждой из сгенерированных линий составляет менее 100 пм и может уменьшаться до 20 пм [1].

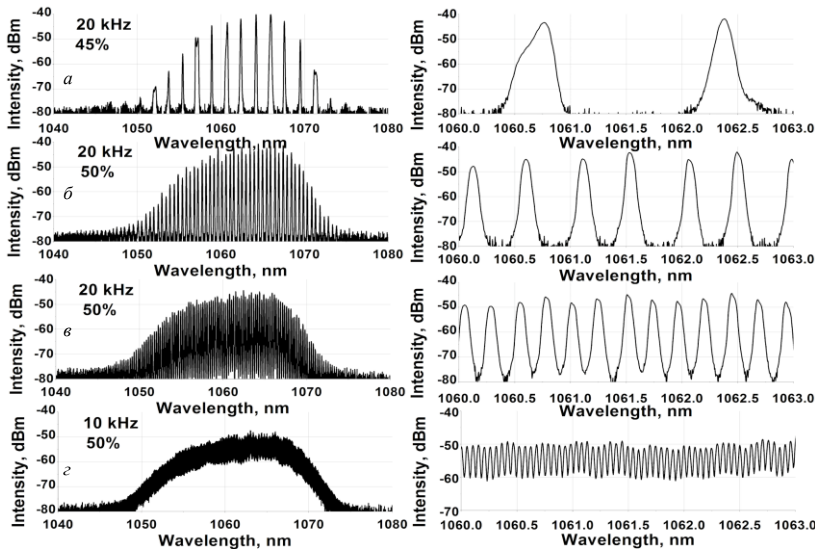


Рис. 2.28. Управление расстоянием между линиями в спектре многоволнового лазера при изменении длины фильтра L в широком (слева) и узком (справа) диапазонах: 0.75 м (*a*), 2.5 м (*b*), 5.0 м (*c*), 24.8 м (*d*)

Исследование возможности применения лазера с пассивным сканированием частоты для сенсорных применений

Продемонстрирована возможность работы оптического частотного рефлектометра, используемого для сенсорных применений и основанного на волоконном лазере с самосканированием частоты. В качестве сенсорной линии был использован массив волоконных брэгговских решёток (ВБР), отклики от которых могут быть разделены с помощью техники частотной рефлектометрии. Экспериментально продемонстрирована возможность измерения температуры [2–4].

Разработка и исследование одночастотного источника для задач спектроскопии газа

Реализован одночастотный цельноволоконный тулиевый лазер с распределенной обратной связью. ВБР с фазовым сдвигом, представляющая резонатор лазера, была записана в высоколегированном отрезке тулиевого волокна длиной 36 мм. Максимальная мощность одночастотной генерации на длине волны 1919 нм достигает 80 мВт при мощности накачивающего излучения 1.1 Вт. Ширина линии генерации составила 70 кГц. Относительные шумы оптического излучения не превышали уровень -70 дБ/Гц в максимуме на частоте 1.2 МГц [5].

Публикации:

1. Drobyshev R.V., Volikova A.M., Lobach I.A., Kablukov S.I. Multi-wavelength gain-switched Yb-doped fiber laser // Laser physics letters. – 2020. – Vol. 17, № 6. – P. 065102 (6 p.). – DOI 10.1088/1612-202X/ab86b3.
2. Ткаченко А.Ю., Смолянинов Н.Н., Скворцов М.И., Лобач И.А., Каблуков С.И. Когерентный оптический частотный рефлектометр на основе волоконного лазера с самосканированием частоты для сенсорных применений // Приборы и техника эксперимента. – 2020. – № 4. – С. 102–108. – DOI 10.31857/S0032816220040333.
3. Ткаченко А.Ю., Смолянинов Н.Н., Скворцов М.И., Лобач И.А., Каблуков С.И. Когерентный оптический частотный рефлектометр на основе волоконного лазера с самосканированием частоты для сенсорных применений // Оптическая рефлектометрия, метрология и сенсорика – 2020 (г. Пермь, 23–24 сентября, 2020): сборник тезисов докладов международной конференции. – С. 30–32.
4. Ткаченко А.Ю., Смолянинов Н.Н., Скворцов М.И., Лобач И.А., Каблуков С.И. Опрос ВБР датчиков с помощью когерентного оптического частотного рефлектометра на основе волоконного лазера с самосканированием длины волны // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 143–144. – DOI 10.31868/RFL2020.143-144.
5. Владимирская А.Д., Скворцов М.И., Вольф А.А., Лобач И.А., Каблуков С.И. Одночастотный волоконный тулиевый лазер с распределенной обратной связью // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 4. – С. 103–110. – DOI 10.15372/AUT20200412.

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

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

Исполнители проекта:

Лаборатория киберфизических систем

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

Исследование возможности верификации Reflex-программ методами проверки моделей (model-checking)

Исследована задача формальной верификации (метод проверки моделей) алгоритмов управления в киберфизических системах, созданных средствами процесс-ориентированного программирования. В том числе исследовались подходы к формальной верификации управляющего программного обеспечения критических систем методом проверки моделей, т. е. подходы к проверке соответствия проектируемой системы предъявленным требованиям посредством: построения модели системы; представления требований как формул темпоральной логики; проверки истинности полученных формул в построенной модели.

Проведен обзор важнейшего и повсеместно используемого на практике класса управляющего программного обеспечения – программ для программируемых логических контроллеров (ПЛК). Особенностью программ ПЛК является цикл управления: считывание входов – изменение со-

стояния ПЛК – записывание выходов. Следовательно, для формальной проверки программ ПЛК, например методом проверки моделей, нужна возможность описывать учитывающие эту специфику системы переходов, а также определять свойства систем, моделирующих программы ПЛК, как относительно переходов внутри цикла, так и относительно более крупных переходов между циклами в соответствии с семантикой цикла управления.

Предложена формальная модель программы ПЛК как система переходов гиперпроцессов [1, 2] и темпоральная логика *cycle-LTL* на основе логики *LTL* для формализации свойств ПЛК. Особенностью логики *cycle-LTL* является возможность рассматривать цикл управления двояким образом: как воздействие окружения (в частности, объекта управления) на систему управления и как воздействие системы управления на окружение.

Для каждого из этих случаев введены модификации стандартных темпоральных операторов логики *LTL*. В дополнение к этому определены модификации темпоральных операторов, действующие внутри цикла управления.

Описана трансляция формул логики *cycle-LTL* в формулы логики *LTL*, и доказана её корректность. Таким образом, показана возможность сведения задачи верификации методом проверки моделей для требований, заданных в логике *cycle-LTL*, к задаче верификации требований, определённых в логике *LTL*, что позволяет использовать известные системы проверки моделей, например *SPIN*, для верификации требований в новой логике [3].

Исследование возможности верификации Reflex-программ методами дедуктивной верификации

Предложен метод дедуктивной верификации аннотированных *Reflex*-программ [4] (рис. 1.7), который включает четыре шага: аннотирование исходной *Reflex*-программы через задание условий запуска, ограничений на окружение и инвариантов цикла управления; трансляцию аннотированной *Reflex*-программы в аннотированную *Си* программу; генерацию условий корректности для результирующей *Си* программы; доказательство порожденных условий корректности. В качестве формального обоснования метода соответственно разработаны: операционная семантика аннотированных *Reflex* программ, трансформационная семантика *Reflex*-программ в язык *Си*, аксиоматическая семантика полученных в результате трансляции аннотированных *Си* программ. Метод апробирован на тестовой управляющей программе с использованием *SMT*-решателя *Z3*. Предложенный метод является первым методом формальной верификации процесс-ориентированных программ и направлен на контроль качества программного обеспечения для программируемых логических контроллеров.

Методологическая новизна подхода заключается в сведении проверки временных свойств управляющей программы к дедуктивной верификации императивной программы в стиле Хоара, которая явно моделирует время и историю выполнения управляющей программы. Метод ориенти-

рован на верификацию процесс-ориентированных программ на языке Reflex (расширении языка Си, также известном как Си с процессами).

Исследование применимости модели end-stopped нейрона для задач точного определения границ при сегментации изображения

Исследована гипотеза, что модель нейрона конца линий в нейронных сетях позволяет не только повысить точность выделения границ, в том числе кривых, но и дает дополнительную информацию для выделения движения и распознавания иллюзорного контура. В некотором смысле, нейроны конца линий выполняют ту же функцию, что и детекторы ключевых точек.

В результате исследования была предложена *СЕ* модель (рис. 2.29), моделирующая поведение биологического нейрона конца линий. Реакция нейрона конца линий в неокогнитроне отличается во втором знаке после запятой, что может нивелироваться колебаниями яркости пикселей на естественном изображении. Модель Хейтгера и предложенная модель *СЕ* близки и показывают высокую селективную способность, но модель Хейтгера более сложна в вычислительном плане. Вычисление квадратурной пары фильтров Габора, необходимое для энергии Габора, оправдано для цифровой обработки сигналов, но избыточно в задаче детекции ключевых точек [5]. Достоинством предлагаемой модели также является легкая интеграция со сверточными нейронными сетями, где функция рецепторов базируется на использовании фильтра Габора. Предложенная *СЕ* модель нейрона конца линий строится на использовании фильтров Габора, находящихся в противофазе [6].

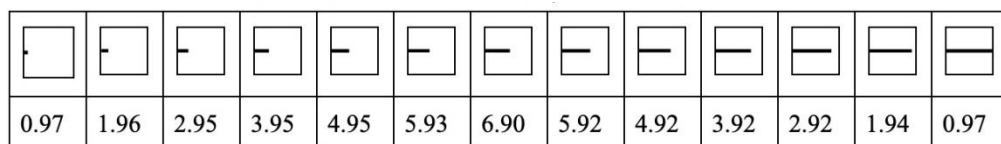


Рис. 2.29. Результат работы *СЕ* модели

Публикации:

1. Гаранина Н.О., Ануреев И.С., Зюбин В.Е., Розов А.С., Лях Т.В., Горлач С.П. Рассуждения о программируемых логических контроллерах = Reasoning about programmable logic controllers // Системная информатика. – 2020. – № 17. – С. 33–42. – DOI 10.31144/si.2307-6410.2020.n17.p33-42.
2. Garanina N., Anureev I., Sidorova E., Koznov D., Zyubin V.E., Gorlatch S. An ontology-based approach to support formal verification of concurrent systems // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2020. – Vol. 12232: 3rd World Congress on Formal Methods, FM 2019 (Porto, Portugal October 7–11, 2019). – P. 114–130. – DOI 10.1007/978-3-030-54994-7_9.
3. Liakh T.V., Garanina N.O., Anureev I.S., Zyubin V.E. Verifying Reflex-software with SPIN: Hand Dryer Case Study // 21st International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2020) (Chemal, 29 June – 3 July, 2020). – P. 9153545. – P. 210–214. – DOI 10.1109/EDM49804.2020.9153545. <https://doi.org/10.1109/EDM49804.2020.9153545>

4. Ануреев И.С., Гаранина Н.О., Лях Т.В., Розов А.С., Зюбин В.Е., Горлач С.П. Дедуктивная верификация Reflex-программ // Программирование. – 2020. – № 4. – С. 14–26. – DOI 10.31857/S0132347420040020.
5. Kugaevskikh A.V., Sogreshilin A.A. Analyzing the Efficiency of Segment Boundary Detection Using Neural Networks // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2019 – Vol. 55, № 4. – P. 414–422. – DOI: 10.3103/S8756699019040137.
6. Kugaevskikh A. Bio-Inspired End-Stopped Neuron Model for the Curves Segmentation // Proceedings of the International Russian Automation Conferenc (RusAutoCon 2020) (Sochi, September 6–12, 2020). – P. 9208069. – P. 719–724. – DOI 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208069.

3. РФФИ, РНФ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ

В 2020 году сотрудники Института выполняли работы в рамках 19 проектов по грантам РФФИ и 8 проектов по грантам РНФ (табл. 3.1):

Таблица 3.1.

№ п/п	№ проекта	Руководитель/ Ответственный исполнитель
1.	РФФИ 18-02-00379	Заболотский Александр Алексеевич
2.	РФФИ 18-02-00399	Пугачев Алексей Маркович
3.	РФФИ 18-32-00409	Харенко Денис Сергеевич
4.	РФФИ 18-32-00459	Кузнецов Алексей Геннадьевич
5.	РФФИ 19-01-00128	Резник Александр Львович
6.	РФФИ 19-31-60028	Гелаш Андрей Александрович
7.	РФФИ 19-32-80018	Томилин Владимир Александрович
8.	РФФИ 19-33-60059	Купцов Алексей Владимирович
9.	РФФИ 19-42-40003	Микерин Сергей Львович
10.	РФФИ 19-42-40005	Твердохлеб Петр Емельянович
11.	РФФИ 19-42-543015	Достовалов Александр Владимирович
12.	РФФИ 19-42-43016	Зайцева Ирина Валерьевна
13.	РФФИ 19-52-53002	Комаров Андрей Константинович
14.	РФФИ 20-02-00211	Шапиро Давид Абрамович
15.	РФФИ 20-02-00314	Новиков Владимир Николаевич
16.	РФФИ 20-02-00511	Подивилов Евгений Вадимович
17.	РФФИ 20-32-70058	Лобач Иван Александрович
18.	РФФИ 20-32-70093	Харенко Денис Сергеевич
19.	РНФ 20-32-70132	Достовалов Александр Владимирович
20.	РНФ 18-72-00139	Достовалов Александр Владимирович
21.	РНФ 18-12-00243	Каблуков Сергей Иванович
22.	РНФ 17-12-01418	Чаповский Павел Львович
23.	РНФ 17-19-01721	Корольков Виктор Павлович
24.	РНФ 19-12-00127	Суровцев Николай Владимирович
25.	РНФ 19-72-00106	Мамрашев Александр Анатольевич
26.	РНФ 19-74-00050	Окотруб Константин Александрович
27.	РНФ 20-71-00022	Гелаш Андрей Александрович

В 2020 году проект сотрудника лаборатории фотоники Гелаша А.А. «Устойчивый алгоритм решения прямой и обратной задачи рассеяния для сложных нелинейных волновых полей» стал победителем конкурса инициативных исследований, организованного РНФ в рамках Президентской программы исследовательских проектов.

Также в 2020 году были продлены 2 проекта Института, поддержанных в 2017 году грантами Российского научного фонда по приоритетному направлению деятельности Российского научного фонда «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами»:

«Квантовая релаксация ядерных спиновых изомеров молекул» (17-12-01418) – руководитель Чаповский П.Л.;

«Развитие сверхразрешающей термохимической лазерной технологии формирования компьютерно-синтезированных дифракционных наноструктур» (17-19-01721) – руководитель Корольков В.П.

В 2020 году в совместном конкурсе Российского научного фонда (РНФ) и Государственного фонда естественных наук Китая (NSFC) «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований международными научными коллективами» победил проект «Модовая динамика и нелинейные эффекты при ВКР-преобразовании многомодового пучка в градиентных волокнах» (21-42-00019), поданный научными коллективами ИАиЭ СО РАН (руководитель Бабин С.А.) и National University of Defense Technology (NUDT) (руководитель Zhou P.).

4. ПРИКЛАДНЫЕ РАЗРАБОТКИ И ПРОЕКТЫ

4.1. 3D ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Уровень практической реализации: опытные образцы.

Защита интеллектуальной собственности:

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:

1. № 2017613516 Программа для управления лазерными системами послойного синтеза M3d. Авторы: Голошевский Н.В., Смирнов К.К. // зарег. 22.03.2017.

2. № 2017613341 Программа для поиска таблицы корректирующих значений для сканирующей лазерной системы по файлу изображений тестовой сетки Scan Correction. Авторы: Голошевский Н.В., Смирнов К.К. // зарег. 15.03.2017.

3. № 2017613341 Программа для контроллера систем лазерной прецизионной обработки оптических элементов ФЛП-ARM. Авторы: Голошевский Н.В., Кастеров В.В. // зарег. 15.03.2017.

Коммерческие предложения: совместное производство, продажа изделий. Гарантийное обслуживание от 1 года, послегарантийное обслуживание может быть проведено по соглашению с заказчиком.

4.1.1. Лазерный 3D-принтер для послойного синтеза изделий из порошков металлов



Рис. 4.1. 3D-принтер. Внешний вид

3D-принтер *предназначен* для синтеза сложных по форме и структуре объемных изделий из металлических порошков по трехмерным САД-моделям методом послойного локального лазерного расплавления порошкового материала посредством мощного лазерного излучения.

Сплавляемые порошки:

- стали углеродистые и нержавеющей;
- хром-кобальт-молибденовые сплавы;
- титановые сплавы;
- бронзовые сплавы;
- алюминиевые сплавы.

Возможности принтера:

- формирование трехмерных металлических конструкций сложной формы и структуры, включая многоэлементные и неразборные;
- формирование деталей пресс-форм и штампов, прототипов;
- изготовление имплантатов и протезов;
- изготовление ювелирных изделий.

Отличительные особенности:

- модульность разработки и исполнения как аппаратных, так и программных частей, что позволяет изготавливать 3D-принтер для различных классов задач;
- гибкость в управлении системой: полная доступность управления всеми параметрами лазерного излучения и сканирующей системой позволит пользователю формировать режимы обработки, в том числе параметры локального штрихового заполнения;
- возможность работать как в режиме послойного аддитивного процесса, так и субтрактивной микрообработки;
- существенное ускорение процесса изготовления рабочих образцов конкретных изделий с заданными прочностными характеристиками за счет встроенных средств калибровки технологического процесса, работающих в режиме реального времени. Специальное математическое обеспечение создает базу данных топографии и одновременно распределение температуры слоя для последующей коррекции локальных режимов обработки.

Лазерный 3D-принтер включает в себя: мощный технологический волоконный лазер, блок подготовки и формирования слоя, систему сканирования сфокусированного лазерного излучения на основе прецизионных сканеров и объектива плоского поля, блок контроля качества, блок подачи инертного газа и удаления продуктов возгонки. Блок подготовки рабочего слоя принтера выполнен по схеме Bed Deposition. Блок подготовки рабочего слоя и сканирования помещены в герметичный бокс, что позволяет производить обработку в неактивной атмосфере инертного газа. Блок встроенного контроля содержит высокоразрешающую систему технического зрения и может комплектоваться модулями: измерения топографии слоя, спектроанализатором, получения температурного распределения (тепловизионным).

Пакет программного обеспечения позволяет проверять и корректировать подготовленные STL-файлы, управлять работой устройства в режимах послойного синтеза, в том числе задавать и редактировать параметры работы, такие как толщина слоя, мощность лазера, расстояние лазера, процент O₂, скорость нанесения слоя, скорость и метод сканирования и другие.

Программное обеспечение защищено в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Технические характеристики:

Максимальные размеры изготавливаемого изделия:

диаметр, мм	не менее 125
высота, мм	не менее 100
Скорость построения, см ³ /час	5–40
Скорость движения луча при обработке, мм/с	200–1000
Скорость перемещения луча максимальная, мм/с	2000

Толщина слоя, мкм	20–100
Минимальная толщина стенки синтезируемого изделия, мкм	200
Диаметр лазерного луча в плоскости записи, мкм	50–100
Фракционный состав загружаемых металлических порошков, мкм	10–63
Максимальный объем загрузки порошка в систему подачи порошка, см ³	1200
Мощность волоконного лазера, Вт	500

Области применения: Формирование трехмерных металлических конструкций сложной формы и структуры, включая многоэлементные и неразборные. Формирование деталей пресс-форм и штампов, прототипов, изготовление имплантатов и протезов, изготовление ювелирных изделий.

Ориентировочная стоимость (на 2020 г.): от 18 до 40 млн. рублей в зависимости от объема изготавливаемых изделий, точности, скорости построения, встроенных средств контроля и требуемых модулей постобработки.

4.1.2. Гибридный 3D-принтер для формирования трехмерных изделий, содержащих проводящие структурные элементы

Предназначен для послойного формирования программно-заданной 3D-топологии жидких и пастообразных композиций с требуемой проводимостью с помощью диспенсерных головок с последующей локальной обработкой сканирующим лазерным пучком.

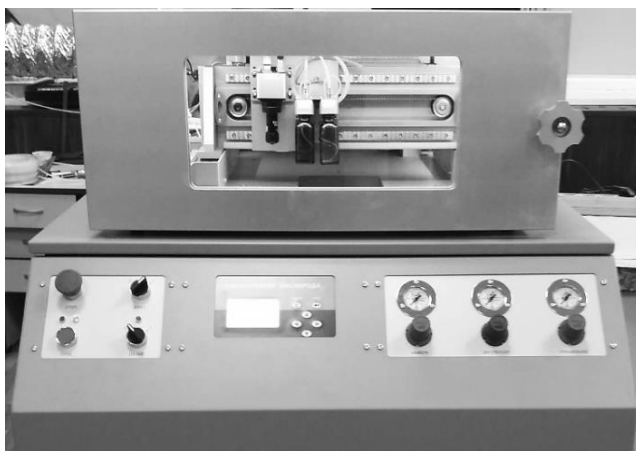


Рис. 4.2. Гибридная диспенсерно-лазерная система

Возможности гибридного 3D-принтера:

- формирование двух и трехмерной топологии проводящих соединений;
- лазерная подгонка характеристик функциональных элементов, нанесение лазерной маркировки;
- изготовление функциональных элементов микроэлектроники на различных, в том числе гибких, подложках;

- существенное уменьшение габаритов электронных и радиотехнических изделий;
- ускорение создания прототипов радиотехнических изделий при уменьшении стоимости изделия.

Гибридный аддитивный синтез трехмерных изделий, это:

- возможность формировать электронные приборы на различных, в том числе нестандартных, подложках (бумага, ткань, резина);
- гибкие дисплеи и световые панели из органических светодиодов, интегрированные в изделия датчики температуры, давления, распознавания газов, трехмерная функциональная микроэлектроника, «умная одежда» и пр.

Применение гибридных технологий – это экономия и вклад в экологию.

Система гибридного синтеза содержит: лазер волоконный; блок двухкоординатного сканирования лазерного излучения на основе угловых электромеханических сканеров; оптические элементы для согласования размера лазерного пучка и передачи излучения от лазерного источника в блок сканирования (коллиматор, зеркала), фокусировки лазерного излучения; узел автоматической подачи формирующих слой композиций; диспенсерную двухканальную головку, установленную на порталном механизме; порталный механизм двухкоординатного перемещения диспенсерной головки; герметичную камеру построения изделия с вводами для подачи инертных газов и удаления побочных продуктов лазерного синтеза; блок управления системой с электронными блоками сопряжения с ПЭВМ; управляющую ПЭВМ; устройства контроля процесса формирования (камера системы технического зрения, оптический датчик температуры, подключенные к ПЭВМ, а также пакет программного обеспечения для управления работой устройства в режиме автоматического послойного синтеза.

Технические характеристики системы:

Максимальный размер изготавливаемого изделия, мм ³	110×110×120
Скорость движения луча при записи, мм/с	200–1000
Скорость перемещения луча максимальная, м/с	2000
Скорость перемещения головки диспенсеров, м/с	до 0.2
Толщина слоя, мкм	10–100
Размер сопла диспенсера (цилиндр), мкм	30–100
Материалы:	
канал 1, вязкость, мПа*с	1–500
канал 2, вязкость, мПа*с	10 ⁵ –10 ⁶
Диаметр лазерного луча в плоскости записи, мкм	50
Дискретность лазерного луча в плоскости записи, мкм	5
Скорость движения лазерного луча максимальная, м/с	1
Лазер	
длина волны, нм	1060
мощность, Вт	20

Области применения: гибкие дисплеи, гибкие световые панели из органических светодиодов, интегрированные в изделия датчики температуры, давления и датчики наличия и концентрации некоторых газов, трехмерная функциональная микроэлектроника, «умная одежда», изготовление индивидуальных макетов, оснастки, различных приспособлений, а также мастер-моделей под последующее литье по выплавляемым или выжигаемым моделям, функциональных прототипов; серийное изготовление изделий с применением аддитивных технологий.

Ориентировочная стоимость (на 2020 г.): от 2 до 15 млн. рублей в зависимости от объема изготавливаемых изделий, точности, скорости построения, встроенных средств контроля.

5. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

5.1. СТРУКТУРА НАУЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

- (01): **Физики лазеров** – С.Л. Микерин, к.ф.-м.н.
Physics of Lasers – S.L. Mikerin, Ph. D.
- (01-1): **Мощных ионных лазеров** – Д.В. Яковин.
High-Power Ion Lasers – D.V. Yakovin
- (02): **Нелинейной спектроскопии газов** – А.М. Шалагин, академик, проф.
Nonlinear spectroscopy of gases – A.M. Shalagin, Academician, Prof.
- (03): **Нелинейной физики** – К.П. Комаров, д.ф.-м.н.
Nonlinear Physics – K.P. Komarov, Dr. Sci.
- (04): **Спектроскопии конденсированных сред** – Н.В. Суровцев, чл.-корр. РАН, 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** – д.т.н. В.А. Лабусов.
Multi-channel Analyzers of Optical and X-ray Radiation – V.A. Labusov, Dr. Sci.
- (05-2): **Трёхмерных лазерных технологий** – д.т.н. П.Е. Твердохлеб, проф.
3D laser technologies – P.E. Tverdokhlebl, Dr. Sci., Prof.
- (06): **Дифракционной оптики** – Насыров Р.К., к.т.н.
Diffractive Optics – R.K. Nasyrov, Ph. D.
- (07): **Лазерной графики** – В.П. Бессмельцев, к.т.н.
Laser Graphics – V.P. Bessmeltsev, Ph. D.
- (07-1): **Лазерной гравиметрии** – Ю.Ф. Стусь, к.т.н.
Laser gravimetry – Y.F. Stus, Ph. D.
- (08): **Тонкопленочных сегнетоэлектрических структур** – Э.Г. Косцов, д.ф.-м.н.
Thin-Film Ferroelectric Structures – E.G. Kostsov, Dr. Sci.
- (09): **Нечетких технологий** – К.Ю. Котов, к.т.н.
Fuzzy Technologies – K.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.

- (11): **Фотоники** – Д.А. Шапиро, д.ф.-м.н., проф.
Photonics – D.A. Shapiro, Dr. Sci., Prof.
- (11-3): **Нелинейной оптики** – Е.В. Подивилов, д.ф.-м.н.
Nonlinear Optics – E.V. Podivilov, Dr. Sci.
- (12): **Вероятностных методов исследования информационных процессов** – А.Л. Резник, д.т.н.
Probability Research Methods for Information Processing – A.L. Reznik, Dr. Sci.
- (13): **Программных систем машинной графики** – М.М. Лаврентьев, д.ф.-м.н., проф.
Software Systems for Computer Graphics – M.M. Lavrentyev, Dr. Sci., Prof.
- (13-1): **Магистрально-модульных систем** – О.В. Сердюков, к.т.н.
Bus modular system – O.V. Serdyukov, Ph. D.
- (14): **Синтезирующих систем визуализации** – Б.С. Долговесов, к.т.н.
Computer Visualization Systems – B.S. Dolgovesov, Ph. D.
- (15): **Информационной оптики** – С.М. Борзов, к.т.н.
Information Optics – S.M. Borzov, Ph. D.
- (15-1): **Оптико-электронных специализированных процессоров**
– Е.С. Нежевенко, д.т.н.
Optoelectronic Specialized Processors – E.S. Nezhevenko, Dr. Sci.
- (15-2): **Имитационно-моделирующих стендов** – И.С. Гибин, д.т.н.
Simulation Stands – I.S. Gibin, Dr. Sci.
- (15-3): **Автоматизации измерительных технологий** – И.Н. Сквородин.
Measuring Technology Automation – I.N. Skovorodin.
- (15-4): **Терагерцовой фотоники** – Н.А. Николаев, к.т.н.
Terahertz Photonics – N.A. Nikolaev, Ph. D.
- (16): **Интегрированных информационных систем управления** – А.В. Кирьянов, к.т.н.
Integrated Informational Control Systems – A.V. Kiryanov, Ph. D.
- (17): **Волоконной оптики** – С.А. Бабин, чл.-корр. РАН
Fiber Optics – S.A. Babin, Corr. Mem. of RAS
- (18): **Оптических сенсорных систем** – С.И. Каблук, 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.

5.2. ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИАиЭ СО РАН В 2020 ГОДУ (на 28.12.2020)

<u>Численный состав (чел.)</u>	
Общая численность	432
В том числе:	
Научных работников (без совместителей)	130
Докторов наук	28
Кандидатов наук	69
<u>Публикации (шт.)</u>	
Монографии, главы в монографиях	6
Статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных статей (отечественных)	68
Статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных статей (зарубежных)	92
Материалы конференций	173
Учебные пособия	2
Охранные документы	6
Количество проектов и договоров	93

5.3. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

В 2020 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 2020 году в аспирантуру Института принято 2 человека для обучения по направлению «03.06.01 Физика и астрономия. Специальность 01.04.05 Оптика» и 1 человек по направлению «02.06.01 Компьютерные и информационные науки. Специальность 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Всего на 31.12.2020 обучение проходили 14 аспирантов. В 2020 году 1 выпускник закончил обучение с представлением диссертации, 2 человека отчислено по собственному желанию.

Диссертационный совет Д 003.005.01 прекратил свою деятельность с 31 марта 2020 (Приказ Минобрнауки РФ № 255/нк от 28.02.2020). Диссертационный совет Д 003.005.02 начал работу с 1 апреля 2020 (Приказ Ми-

нобрнауки РФ № 255/нк от 28.02.2020) (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).

В 2020 г. проведено 2 заседания Совета, защищено 4 кандидатских диссертаций.

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

Баронский Марк Германович (ИК СО РАН) «Фотолюминесцентные исследования собственных и примесных дефектов полиморфных модификаций оксида алюминия и алюмохромовых катализаторов $\text{CrO}_x/\text{Al}_2\text{O}_3$ » (научный руководитель к.ф.-м.н., в.н.с. ИК СО РАН *Снытников В.Н.*).

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

Лях Татьяна Викторовна «Динамическая верификация процессориентированных программ управления киберфизическими системами» (научный руководитель д.т.н. *Зюбин В.Е.*).

На соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы»:

Пелипасов Олег Владимирович «Исследование и разработка источника возбуждения спектров на основе азотной микроволновой плазмы для атомно-эмиссионного спектрального анализа растворов» (научный руководитель д.т.н. *Лабусов В.А.*).

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

Вольф Алексей Анатольевич «Поточечная фемтосекундная запись брэгговских решеток в специализированных волоконных световодах» (научный руководитель д.ф.-м.н. *Бабин С.А.*).

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

На базе Института организованы постоянно действующие семинары: межинститутские УНЦ «Квантовая оптика» (руководитель акад. *Шалагин А.М.*) и «Инжиниринг современных информационных систем» (руководитель д.т.н. *Зюбин В.Е.*) и межлабораторный «Информационные технологии и системы» (руководитель д.т.н., проф. *Потатуркин О.И.*), в 2020 году проведено 6, 5 и 2 семинара соответственно.

Достижения молодых ученых Института отмечены различными грантами и стипендиями. Так, проекты троих молодых учёных из Института автоматизации и электрометрии СО РАН стали финалистами конкурса «УМНИК – Фотоника», реализуемый Фондом содействия инновациям совместно с ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» в рамках национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»:

Анастасия Владимировская (студентка, лаборатория 18) «Разработка волоконного перестраиваемого лазерного источника для задач спектроскопии изотопов углерода»;

Артём Бударных (аспирант, лаборатория 18) «Высокоразрешающий спектрометр для задач газоанализа в области 2 мкм на основе самосканирующего волоконного лазера»;

Олеся Шевченко (студентка, тем. группа 15-4) «Разработка импульсного терагерцового спектрометра с генерацией излучения на поверхности структур металл-диэлектрик-полупроводник».

Молодые ученые Института активно участвуют в популяризации науки и подготовке подрастающего поколения будущих ученых: в рамках Дней науки в феврале в Институте была проведена традиционная экскурсия школьников. В декабре Институт принял участие во Всероссийском фестивале НАУКА 0+ – молодые сотрудники лабораторий 17 и 18 записали лекцию по волоконной оптике.

5.4. МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ

20–24 сентября 2020 года Институт провел 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (RFL20), который проходил в виртуальном формате. На семинар зарегистрировались более 140 участников, программой были предусмотрены научные секции, представление стендовых докладов, совместная сессия с конференцией «Оптическая рефлектометрия 2020», семинар-презентация компании «Ленинградские лазерные системы», а также молодёжная конкурс-конференция. В этом году семинар стал в полном смысле международным, так как помимо традиционных русскоязычных участников из России и из-за границы доклады о последних достижениях в области волоконных лазеров представляли на английском языке учёные из США, Великобритании, Германии, Франции, Италии, Бельгии, Нидерландов, Чехии, Китая.

В 2020 году продолжили действовать следующие договоры и соглашения о сотрудничестве:

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

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

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

4. Меморандум о взаимопонимании между Евразийским национальным университетом имени Л.Н. Гумилева (г. Нур-Султан, республика Казахстан) и ИАиЭ СО РАН.

5. Меморандум о взаимопонимании между Центром HiLASE, Институт физики Чешской академии наук (IoP – HiLASE), Чешская Республика, и ИАиЭ СО РАН по совместной программе исследований в области структурирования поверхности материалов лазерным излучением.

Совместно с коллегами из Анжуйского (Франция), Фрайбургского (Германия) и Цзянсунского (Китай) университетов сотрудниками Лаборатории 03 продолжались исследования формирования световых структур в нелинейных средах и системах, включая волоконные генераторы ультракоротких импульсов света и микрорезонаторы.

В рамках совместных фундаментальных исследований СО РАН и НАН Беларуси в сотрудничестве с Объединённым институтом проблем информатики (г. Минск) успешно завершён проект «Разработка средств интеллектуальной программной поддержки для ускоренного решения трудоёмких задач цифровой обработки информации».

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

В рамках выполнения меморандума с ЕНУ им. Л.Н. Гумилева ожидается установление сотрудничества в образовательных и научных областях по проведению образовательных и научных мероприятий; академический обмен обучающимися, публикациями, организация стажировок, совместные заявки на получение грантов в рамках образовательных программ.

В рамках выполнения меморандума с Центром HiLASE ожидается сотрудничество в исследованиях в области структурирования поверхности материалов лазерным излучением для широкого спектра промышленных и научных применений, совместные научные эксперименты и публикации.

Институт поддерживает членство в Коллегии национальных экспертов стран СНГ по лазерам и лазерным технологиям, общий состав предста-

вителей от ИАиЭ СО РАН составил 6 человек. Продлено членство Института в международной Лазерной ассоциации (ЛАС).

Поддерживается сотрудничество с Международной Ассоциацией научного и технологического развития IASTED. Заведующий лабораторией 12 д.т.н. А.Л. Резник является членом Технического Комитета IASTED по обработке изображений, входит в Программные комитеты и принимает активное участие в формировании научных программ и отборе работ для Международных научных конференций Signal and Image Processing (SIP), Visualization, Imaging and Image Processing (VIIP), Automation, Control, and Information Technology (ACIT).

Сотрудники Института принимают участие в исследованиях лаборатории нелинейной оптики волноводных систем по направлению «Пространственно-временная нелинейная оптика многомодовых и многоядерных волоконных систем» под руководством профессора С. Вабница (Университет Брешиа, Италия) в рамках гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования, научных учреждениях государственных академий наук и государственных научных центрах РФ.

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

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

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

- Продолжается сотрудничество лаборатории программных систем машинной графики по вопросам моделирования долговременной эволюции берегового профиля с профессором Университета «Рома Тре» (*г. Рим, Италия*) Ренато Спиглером. Сделан совместный доклад на международной конференции.

- В 2020 году выполнялся договор на НИР с компанией DIOPTIC ГмбХ (*г. Вайнхайм, Германия*).

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

В отчетном году в заграничные служебные командировки (США, Германия, Сингапур) для участия в конференциях и проведения обсужде-

ния сотрудничества по известным причинам выезжали только 3 сотрудника ИАиЭ СО РАН в январе-феврале 2020.

Результаты исследований ученых ИАиЭ СО РАН были представлены около 90 докладами на международных конференциях, преимущественно в онлайн-формате.

5.5. ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2020 г. Институтом получено 6 патентов на изобретения:

1. Система имитации обстановки инфракрасного диапазона: пат. 2713614 Рос. Федерация на изобретение. Гибин И.С., Котляр П.Е., Нежевенко Е.С., Козик В.И. Заявка 2019123206/08, дата приоритета 18.07.2019;
2. Перестраиваемый волоконный отражательный интерферометр: пат. 2720264 Рос. Федерация на изобретение. Бабин С.А., Косцов Э.Г., Княшкин В.В., Терентьев В.С., Симонов В.А. Заявка 2019124254, дата приоритета 26.07.2019;
3. Способ определения подлинности и качества изготовления защитных голограмм, выполненных на основе дифракционных микроструктур, и устройство для его реализации: пат. 2722335 Рос. Федерация на изобретение. Бессмельцев В.П., Вилейко В.В., Максимов М.В. Заявка 2019124378, дата приоритета 29.07.2019;
4. Способ выставления вертикали рабочего лазерного луча в баллистическом гравиметре: пат. 2724122 Рос. Федерация на изобретение. Калиш Е.Н., Носов Д.А., Сизиков И.С., Стусь Ю.Ф. Заявка 2019136289, дата приоритета 11.11.2019;
5. Способ создания структур показателя преломления внутри образца из прозрачного материала и устройство для его реализации: пат. 2726738 Рос. Федерация на изобретение. Бабин С.А., Вольф А.А., Достовалов А.В., Терентьев В.С. Патентообладатели ИАиЭ СО РАН и НГУ. Заявка 2019143020, дата приоритета 18.12.2019;
6. Устройство для перестройки длины волны генерации волоконного лазера: пат. 2730879 Рос. Федерация на изобретение. Бабин С.А., Вольф А.А., Достовалов А.В., Скворцов М.И., Распопин К.С. Патентообладатели ИАиЭ СО РАН и НГУ. Заявка 2019145598, дата приоритета 30.12.2019.

• В РОСПАТЕНТе находятся заявки:

- на изобретение «Опτικο-акустический приемник инфракрасного и ТГц излучения» (авторы: Гибин И.С., Котляр П.Е.), заявка № 2020121927, приоритет: 26.06.2020;
- на изобретение «Матричный преобразователь» (авторы: Гибин И.С., Котляр П.Е.), заявка № 2020132807, приоритет: 05.10.2020;
- на изобретение «Устройство для измерения малых разностей температур» (авторы Лубков А.А., Попов Ю.А.), заявка № 2020143006, приоритет: 24.12.2020;

- на полезную модель «Нанолитограф» (авторы: Кирьянов А.В., Кирьянов В.П.), № 2020107258, приоритет: 17.02.2020;
- на регистрацию программы для ЭВМ «Модуль отслеживания параметров съемочной видеокамеры и объектов съемки в задачах автоматической и полуавтоматической передачи данных с помощью управляемых PTZ-видеокамер» (авторы: Долговесов Б.С., Мазурок Б.С.), заявка № 2020668117, приоритет: 07.12.2020;
- на регистрацию программы для ЭВМ «Программа оценивания отклонения скорости сканирования в устройстве с многорядным фотоприемником по произвольному изображению» (авторы: Громилин Г.И., Косых В.П.), заявка № 2020667129, приоритет: 23.12.2020.

Поддерживаются в действии:

- 89 патентов на изобретения и полезные модели,
- 68 программ для ЭВМ,
- 1 база данных,
- товарных знака,
- 9 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 ЕДИСУ НИОКТР зарегистрированы:

• **Новые проекты госзадания:**

1. Новые нелинейные эффекты при распространении высокоэнергетических импульсов в оптическом волокне и микроструктурах (№ гос. рег. АААА-А21-121012190005-2), *руководитель Д.А. Шапиро.*

2. Когерентные эффекты и эффекты столкновений для атомов и их конденсатов, находящихся в поле излучения (№ гос. рег. 121021800168-4), *руководитель А.М. Шалагин.*

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

4. Развитие высокоинформативных оптических методов исследования состава и микроструктуры материалов и веществ (№ гос. рег. 121022000126-9), *руководитель В.А. Лабусов.*

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

6. Нелинейная фотоника структурированных сред (нелинейные преобразования частот, формирование поляризованных и когерентных состояний атомов) (№ гос. рег. 121031700030-4), *руководитель С.Л. Микерин*.

7. Развитие методов оптической спектроскопии для задач материаловедения и биологической физики (№ гос. рег. 121032400052-6), *руководитель Н.В. Суровцев*.

8. Развитие методов синтеза рельефно-фазовых поверхностных структур и оптических элементов на их основе (№ гос. рег. 121041500060-2), *руководитель Р.К. Насыров*.

9. Параметрическое автоматизированное управление потоками данных в режиме реального времени с применением специализированных процессорных архитектур (№ гос. рег. 121041800012-8), *руководитель М.М. Лаврентьев*.

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

11. Развитие методов и технологий прецизионного гибридного послойного лазерного формообразования (№ гос. рег. 121051700156-9), *руководитель В.П. Бессмельцев*.

12. Разработка наноэлектромеханических структур на основе сегнетоэлектрических пленок (№ гос. рег. интернет номер: 121051200035-2), *руководитель А.А. Соколов*.

• **Отчеты госзаданий:**

1. Разработка и исследование технологий прецизионного лазерного формообразования с использованием методов физического и статистического моделирования, а также оптических средств контроля качества (№ отчета 221051300044-2), *руководитель В.П. Бессмельцев* (№ проекта АААА-А17-117060810013-2).

2. Методы и программно-алгоритмические средства обработки многомерных данных наблюдений в задачах дистанционной диагностики динамических объектов и процессов (№ отчета 221041600046-4), *руководитель О.И. Потатуркин* (№ проекта АААА-А17-117052410034-6).

3. Оптическая спектроскопия для задач материаловедения, химической и биологической физики (№ отчета 221041300160-0), *руководитель Н.В. Суровцев* (№ проекта АААА-А17-117052410033-9).

4. Нелинейные и когерентные оптические явления в атомах и их конденсатах при внешнем воздействии (статические поля, межатомные столкновения, взаимодействие с поверхностью) (№ отчета 221031600280-3), *руководитель А.М. Шалагин* (№ проекта АААА-А17-117052210003-4).

5. Перспективные оптические методы и инструментальные средства для исследования объемной микроструктуры и элементного состава синтезированных и природных материалов (№ отчета 221053100071-4), *руководитель П.Е. Твердохлеб* (№ проекта АААА-А17-117053110007-0).

6. Нелинейные явления при распространении лазерного излучения в волоконных, микрорезонаторных и гибридных системах (№ отчета 221062300171-1), *руководитель Бабин С.А.* (№ проекта АААА-А17-117062110026-3).

7. Разработка теоретической базы и инструментальных средств проектирования для задач создания программного обеспечения киберфизических систем. Развитие методов повышения качества интеллектуальных систем и поведенческих алгоритмов (№ отчета 221061700068-3), *руководитель В.Е. Зюбин* (№ проекта АААА-А19-119120290056-0).

8. Дифракционная и интерференционная оптика: перспективные технологии, характеристика элементов, применения в фотонике и измерительной технике (№ отчета 221061700153-6), *руководитель В.П. Корольков* (№ проекта АААА-А17-117052210002-7).

9. Фотоника микро- и наноструктурированных сред (№ отчета 221062800145-7), *руководитель Д.А. Шапиро (Плеханов А.И.)* (№ проекта АААА-А17-117060810014-9).

10. Исследование и развитие методов и технологий построения интегрированных программно-аппаратных комплексов для задач моделирования и управления динамическими системами обработки и отображения данных (№ отчета 221063000044-8, *руководитель М.М. Лаврентьев* (№ проекта АААА-А17-117062110016-4).

11. Модели, методы и технологии управления и моделирования для сложных динамических процессов. Автоматизированные системы управления научно-исследовательскими и технологическими комплексами (№ отчета 221062800117-4), *руководитель Ю.Н. Золотухин* (№ проекта АААА-А17-117060610006-6).

12. Разработка физических основ работы сенсорных систем на основе элементов волоконной и интегральной оптики (№ отчета 221062800152-5), *руководитель С.И. Каблуков* (№ проекта АААА-А19-119112990054-4).

5.6. НАГРАДЫ

В 2020 году сотрудниками Института получены следующие награды:

Именная премия Правительства Новосибирской области за выдающиеся научные достижения в 2020 году с присвоением звания лауреата именной премии в номинации «Лучший молодой исследователь» по направлению научного исследования: «Лазерные, плазменные и электронно-лучевые технологии» – с.н.с., к.т.н. *Николаев Н.А.*

Благодарственное письмо Управления международного сотрудничества РАН за участие в российско-индийском вебинаре «Киберфизические системы, общество 5.0, искусственный интеллект» – зав. лаб., д.т.н. *В.Е. Зюбин.*

Стипендии ОПК – за выдающиеся достижения в создании прорывных технологий и разработку современных образцов ВВСТ – зав. лаб., к.т.н. *Косых В.П.*; за значительный вклад в создание прорывных технологий и

разработку современных образцов ВВСТ (для кандидатов до 35 лет) – к.т.н. *Мальцев А.С.*

В 2020 году Институтом также получены:

Благодарственное письмо Департамента инноваций и перспективных исследований Министерства науки и высшего образования РФ за активное участие в работе экспозиции и деловой программы, организованных на стенде Минобрнауки России на Международном военно-техническом форуме «Армия–2020»;

Диплом от мэрии г. Новосибирска за **I место** в городском конкурсе на соискание звания «Предприятие высокой социальной ответственности»;

Диплом от мэрии г. Новосибирска за **III место** в городском конкурсе на лучшее состояние условий и охраны труда.

6. ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИАиЭ СО РАН в 2020 г.

6.1. ПАТЕНТЫ

1. Перестраиваемый волоконный отражательный интерферометр: пат. 2720264 Рос. Федерация на изобретение. Бабин С.А., Косцов Э.Г., Коряшкин В.В., Терентьев В.С., Симонов В.А.; опубл. 28.04.2020, Бюл. № 13. 3 с.
2. Система имитации обстановки инфракрасного диапазона: пат. 2713614 Рос. Федерация на изобретение. Гибин И.С., Котляр П.Е., Нежевенко Е.С., Козик В.И.; опубл. 05.02.2020, Бюл. № 4. 2 с.
3. Способ выставления вертикали рабочего лазерного луча в баллистическом гравиметре: пат. 2724122 Рос. Федерация на изобретение. Калиш Е.Н., Носов Д.А., Сизиков И.С., Стусь Ю.Ф.; опубл. 22.06.2020, Бюл. № 18. 2 с.
4. Способ определения подлинности и качества изготовления защитных голограмм, выполненных на основе дифракционных микроструктур, и устройство для его реализации: пат. 2722335 Рос. Федерация на изобретение. Бессмельцев В.П., Вилейко В.В., Максимов М.В.; опубл. 29.05.2020, Бюл. № 16. 4 с.
5. Способ создания структур показателя преломления внутри образца из прозрачного материала и устройство для его реализации: пат. 2726738 Рос. Федерация на изобретение. Бабин С.А., Вольф А.А., Достовалов А.В., Терентьев В.С.; опубл. 16.07.2020; Бюл. № 20. 3 с. (совместно с НГУ).
6. Устройство для перестройки длины волны генерации волоконного лазера: пат. 2730879 Рос. Федерация на изобретение. Бабин С.А., Вольф А.А., Достовалов А.В., Скворцов М.И., Распопин К.С.; опубл. 26.08.2020; Бюл. № 24, 2 с. (совместно с НГУ).

6.2. СТАТЬИ

Научные журналы

1. Альт В.В., Гурова Т.А., Елкин О.В., Клименко Д.Н., Максимов Л.В., Пестунов И.А., Дубровская О.А., Генаев М.А., Эрст Т.В., Генаев К.А., Комышев Е.Г., Хлесткин В.К., Афонников Д.А. Использование гиперспектральной камеры SPECIUM IQ для анализа растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2020. – Т. 24, № 3. – С. 259–266. – DOI 10.18699/VJ19.587.
2. Ануреев И.С., Гаранина Н.О., Лях Т.В., Розов А.С., Зюбин В.Е., Горлач С.П. Дедуктивная верификация Reflex-программ // Программирование. – 2020. – № 4. – С. 14–26. – DOI 10.31857/S0132347420040020.
3. Бессмельцев В.П., Вилейко В.В., Максимов М.В. Метод измерения основных параметров цифровых защитных голограмм для экспертного анализа и оперативного контроля их качества // Автметрия. – 2020. – Т. 56, № 2. – С. 20–33. – DOI 10.15372/AUT20200202.

4. Бессмельцев В.П., Катасонов Д.Н., Слуев В.А. Повышение достоверности работы мобильных систем мониторинга сердечной деятельности пациента // Медицинская техника. – 2020. – № 1. – С. 14–16. – DOI 10.1007/s10527-020-09966-6.
5. Борзов С.М., Потатуркин О.И. Выбор информативной системы признаков при классификации сельскохозяйственных культур по гиперспектральным данным // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 4. – С. 134–144. – DOI 10.15372/AUT20200414.
6. Борзов С.М., Потатуркин О.И. Повышение эффективности классификации гиперспектральных изображений за счет разномасштабной пространственной обработки // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 6. – С. 937–943. – DOI 10.18287/2412-6179-CO-779.
7. Брусенцев Е.Ю., Чуйко Э.А., Окотруб К.А., Игонина Т.Н., Рожкова И.Н., Рагаева Д.С., Раннева С.В., Напримеров В.А., Амстиславский С.Я. Влияние диеты с повышенным содержанием жира на липидный профиль ооцитов мышей // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2020. – Т. 24, № 5. – С. 533–538. – DOI 10.18699/VJ20.645.
8. Булина Н.В., Баев С.Г., Макарова С.В., Титков А.И., Бессмельцев В.П., Ляхов Н.З. Лазерная обработка компактированных образцов гидроксипатита // Химия в интересах устойчивого развития. – 2020. – Т. 28, № 1. – С. 3–9. – DOI 10.15372/ChUR2020195.
9. Владимирская А.Д., Лобач И.А., Каблуков С.И., Вольф А.А., Скворцов М.И., Камынин В.А. Влияние концентрации ионов гольмия на эффект самосканирования длины волны в гольмиевом волоконном лазере // Прикладная фотоника. – 2020. – Т. 7, № 3. – С. 76–85. – DOI 10.15593/2411-4367/2020.4.05.
10. Владимирская А.Д., Скворцов М.И., Вольф А.А., Лобач И.А., Каблуков С.И. Одночастотный волоконный тулиевый лазер с распределенной обратной связью // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 4. – С. 103–110. – DOI 10.15372/AUT20200412.
11. Власов Е.В., Бартош В.С., Кузиковский С.А. Визуальное восприятие пространства в мультифокальных трехмерных дисплеях, стимулирующих аккомодацию // Там же, № 1. – С. 39–45. – DOI 10.15372/AUT20200105.
12. Воликова А.М., Смолянинов Н.Н., Лобач И.А., Каблуков С.И. Дальномер на основе иттербиевого волоконного лазера с самосканированием длины волны // Прикладная фотоника. – 2020. – Т. 7, № 3. – С. 90–101. – DOI 10.15593/2411-4367/2020.3.06.
13. Вьюхин В.Н. Высоковольтный усилитель // Приборы и техника эксперимента. – 2020. – № 1. – С. 52–54. – DOI 10.31857/S0032816219060259.
14. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Метод реконструкции функционально заданных поверхностей по стереоизображениям реальных объектов // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 6. – С. 19–26. – DOI 10.15372/AUT20200603.

15. Вяткин С.И., Романюк О.Н., Рейда О.М., Романюк О.В. Метод рендеринга сложных полигональных сцен с применением функционально заданных объектов = Method of rendering complex polygonal scenes with applications of functionally specified objects // Прикладні питання математичного моделювання = Applied questions of mathematical modeling. – 2020. – Т. 3, № 2.2. – С. 54–65. – DOI 10.32782/KNTU2618-0340/2020.3.2-2.5.
16. Гаранина Н.О., Ануреев И.С., Зюбин В.Е., Розов А.С., Лях Т.В., Горлач С.П. Рассуждения о программируемых логических контроллерах = Reasoning about programmable logic controllers // Системная информатика. – 2020. – № 17. – С. 33–42. – DOI 10.31144/si.2307-6410.2020.n17.p33-42.
17. Гибин И.С., Козик В.И., Нежевенко Е.С. Генерация изображений в инфракрасном диапазоне на основе микрозеркальных технологий // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 3–12. – DOI 10.15372/AUT20200101.
18. Гибин И.С., Котляр П.Е. Матричный оптико-акустический приемник ТГц излучения с нанооптоэлектромеханическими элементами на основе перфорированного SLG графена // Прикладная физика. – 2020. – № 3. – С. 76–82.
19. Гибин И.С., Котляр П.Е. Мембраны оптико-акустических приемников излучения // Прикладная физика. – 2020. – № 2. – С. 90–97.
20. Горбенко Н.И., Ильин В.П., Крылов А., Фрумин Л.Л. О численном решении прямой задачи рассеяния Захаров-Шабата // Сибирский журнал вычислительной математики. – 2020. – Т. 23, № 2. – С. 117–125. – DOI 10.15372/SJNM20200201.
21. Грибанов А.В., Яковин Д.В., Яковин М.Д. Гранат-неодимовый лазер с синхронизацией мод акустооптическим модулятором бегущей волны и сферическим зеркалом // Оптический журнал. – 2020. – Т. 87, № 6. – С. 3–8. – DOI 10.17586/1023-5086-2020-87-06-03-08.
22. Грибанов А.В., Яковин Д.В., Яковин М.Д. Режимы импульсной генерации в Nd:YAG-лазере с различными оптическими схемами резонаторов // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 3. – С. 118–125. – DOI 10.15372/AUT20200313.
23. Григорьева А.А., Булавская А.А., Белоусов Д.А., Милойчикова И.А., Черепенников Ю.М., Стучебров С.Г. Применение полимерных компенсаторов, изготовленных при помощи трехмерной печати, для модуляции параметров медицинского электронного пучка // Медицинская техника. – 2020. – № 5. – С. 28–31.
24. Громилин Г.И., Косых В.П., Яковенко Н.С. Согласованная фильтрация малоразмерных объектов в изображениях, содержащих постоянную пространственную помеху // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 4. – С. 145–153. – DOI 10.15372/AUT20200415.
25. Достовалов А.В., Скворцов М.И., Вольф А.А., Лабунцов В.И., Егорова О.Н., Семенов С.Л., Бабин С.А. Волоконный ВКР-лазер на основе 7-

- сердцевинного световода с перекрестной связью между сердцевинами // Квантовая электроника. – 2020. – Т. 50, № 12. – С. 1088–1090. – DOI 10.1070/QEL17459.
26. Ефремов В.Д., Антропов А.А., Харенко Д.С. Подавление пьедестала сверхкоротких импульсов при помощи нелинейного усиливающего петлевого зеркала // Прикладная фотоника. – 2020. – Т. 7, № 3. – С. 80–89. – DOI 10.15593/2411-4367/2020.3.05.
 27. Заболотский А.А. Совместное влияние диполь-дипольного взаимодействия и постоянного дипольного момента на форму импульса поля без огибающей // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2020. – Т. 158, вып. 4. – С. 594–604. – DOI 10.31857/S0044451020100028.
 28. Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Нестеров А.А., Семенюк Е.Д. Отслеживание объекта в видеопотоке с помощью свёрточной нейронной сети // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 6. – С. 100–106. – DOI 10.15372/AUT20200611.
 29. Калиш Е.Н., Стусь Ю.Ф., Носов Д.А., Сизиков И.С. Юстировка измерительного луча интерферометра по вертикали в баллистическом гравиметре // Там же, № 3. – С. 29–34 – DOI 10.15372/AUT20200304.
 30. Комаров А.К., Комаров К.П., Чжао Л.М. Ультракороткие импульсы с широким спектром излучения в волоконных лазерах с пассивной синхронизацией мод // Оптика и спектроскопия. – 2020. – Т. 128, вып. 4. – С. 505–512. – DOI 10.21883/OS.2020.04.49201.272-19.
 31. Корольков В.П., Насыров Р.К., Седухин А.Г., Белоусов Д.А., Куц Р.И. Новые методы изготовления высокоапертурных компьютерно-синтезированных голограмм для формирования эталонных волновых фронтов в интерферометрии // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 2. – С. 42–54. – DOI 10.15372/AUT20200204.
 32. Котов В.Н., Лубков А.А., Попов Ю.А. Подсистема гидирования солнечного телескопа с полем зрения меньше углового размера солнечного диска // Там же, № 3. – С. 91–100. – DOI 10.15372/AUT20200310.
 33. Котов К.Ю., Мальцев А.С., Нестеров А.А., Ян А.П. Алгоритмы и архитектура системы управления траекторным движением мультироторного летательного аппарата // Там же. – С. 20–28. – DOI: 10.15372/AUT20200303.
 34. Кузнецов А.Г., Каблуков С.И., Подивилов Е.В., Бабин С.А. Истощение накачки при ВКР-генерации в многомодовом градиентном световоде // Квантовая электроника. – 2020. – Т. 50, № 12. – С. 1091–1095. – DOI 10.1070/QEL17458.
 35. Кузнецов А.Г., Харенко Д.С., Достовалов А.В. Исследование процессов формирования лазерно-индуцированных периодических поверхностных структур с помощью полностью волоконного источника chirпованных диссипативных солитонов // Прикладная фотоника. – 2020. – Т. 7, № 1. – С. 39–48. – DOI 10.15593/2411-4367/2020.1.03.

36. Кузнецов С.А. Отечественные САПР для мебельщиков – результат перехода универсальных САПР к специализированным САПР // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2020. – № 5. – С. 53–60. – DOI: 10.25791/asu.5.2020.1185.
37. Кучьянов А.С., Микерин С.Л., Адищев С.В., Алькаиси А.Х.Ш., Зайцева Ю.В. Возможности создания комплексов «спазеры в липосомах» для применения в тераностике // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 3. – С. 110–117. – DOI 10.15372/AUT20200312.
38. Лабусов В.А., Зарубин И.А., Пелипасов О.В., Саушкин М.С., Сипатов А.М., Саженок А.Н., Цатиашвили В.В. Идентификация молекулярных полос в спектрах излучения плазмы внутри малоэмиссионной камеры сгорания // Там же, № 4. – С. 12–20. – DOI 10.15372/AUT20200402.
39. Липовый Д. А., Мальцев А.С. Разработка архитектуры полетного контроллера для квадрокоптера на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi // Вестник НГУ. Серия «Информационные технологии». – 2020. – Т. 18, № 3. – С. 19–33. – DOI 10.25205/1818-7900-2020-18-3-19-33.
40. Лихачев А.В. Выделение трех уровней яркости на зашумленном изображении // Вычислительные методы и программирование. – 2020. – Т. 21, № 2. – С. 180–186. – DOI 10.26089/NumMet.v21r216.
41. Лысаков К.Ф., Облаухов К.К., Шадрин М.Ю. Реализация на базе FPGA алгоритмов выявления искажений в результате компрессии // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 33–38. – DOI 10.15372/AUT20200104.
42. Микерин С.Л., Угожаев В.Д. Перестраиваемый двухлучевой интерферометр на основе кварцевого светоделительного блока, оснащенный неподвижным фотоприемником // Прикладная фотоника. – 2020. – Т. 7, № 3. – С. 47–67. – DOI 10.15593/2411-4367/2020.3.03.
43. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Формирование тонкопленочных аксиконов с максимальными фокусными отрезками // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 4. – С. 89–94. – DOI 10.15372/AUT20200410.
44. Немова Е.Ф., Черкасова О.П., Николаев Н.А., Дульцева Г.Г. Исследование молекулярных механизмов взаимодействия терагерцового излучения с биополимерами на примере бычьего сывороточного альбумина // Биофизика. – 2020. – Т. 65, № 3. – С. 486–492. – DOI 10.31857/S0006302920030072.
45. Николаев Н.А., Ланский Г.В., Андреев Ю.М., Ежов Д.М., Креков М.Г., Лисенко А.А. Кристаллы β -ВВО, LBO и КТР как источники миллиметрового излучения // Известия вузов. Физика. – 2020. – Т. 63, № 6. – С. 113–116. – DOI 10.17223/00213411/63/6/113.
46. Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н. Атомно-эмиссионный спектрометр с азотной микроволновой плазмой «Гранд-СВЧ» // Аналитика. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 140–147. – DOI 10.22184/2227-572X.2020.10.2.140.146.

47. Пен Е.Ф. Динамика дифракционной эффективности наложенных объемных отражательных голограмм при их одновременной записи в фотополимерном материале // *Автометрия*. – 2020. – Т. 56, № 4. – С. 30–40. – DOI 10.15372/AUT20200404.
48. Пен Е.Ф. Особенности спектральных свойств объемных отражательных голограмм диффузных объектов // *Там же*, № 1. – С. 13–22. – DOI 10.15372/AUT20200102.
49. Резник А.Л., Соловьев А.А., Торгов А.В. Локализация случайных импульсно-точечных источников с применением физически реализуемых поисковых алгоритмов // *Там же*, № 6. – С. 49–60. – DOI 10.15372/AUT20200606.
50. Резник А.Л., Соловьев А.А., Торгов А.В. Программы рекурсивных аналитических вычислений в задачах анализа случайных точечных изображений // *Известия Алтайского государственного университета*. – 2020. – № 4. – С. 112–116. – DOI 10.14258/izvasu(2020)4-18.
51. Резник А.Л., Тузиков А.В., Соловьев А.А., Торгов А.В., Ковалев В.А. Оптимизация времени поиска случайных импульсных источников с заданной точностью // *Вычислительные технологии*. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 91–106. – DOI 10.25743/ICT.2020.25.1.007.
52. Ростом А. Интерференция между актами пред- и постселекции // *Квантовая электроника*. – 2020. – Т. 50, № 6. – С. 595–599. – DOI 10.1070/QEL17335.
53. Рыбак А.А., Николаев Н.А., Кузнецов С.А., Yang S.-H. Применение ёмкостных микроструктур в качестве антиалиасных фильтров для задач широкополосной импульсной терагерцовой спектроскопии // *Автометрия*. – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 124–132. – DOI 10.15372/AUT20200113.
54. Сидельников О.С., Подвиллов Е.В., Бабин С.А., Вабниц С., Федорук М.П. Численное моделирование процесса самоочистки пучка в многомодовом волокне с градиентным профилем показателя преломления при распространении волны накачки и стоксовой компоненты // *Квантовая электроника*. – 2020. – Т. 50, № 12. – С. 1101–1104. – DOI 10.1070/QEL17456.
55. Скворцов М.И., Фомиряков Э.А., Трещиков В.Н., Никитин С.П., Вольф А.А., Власов А.А., Достовалов А.В. Сравнительный анализ методов измерения спектральных ширин волоконных лазеров с распределенной обратной связью // *Прикладная фотоника*. – 2020. – Т. 7, № 3. – С. 102–112. – DOI 10.15593/2411-4367/2020.3.07.
56. Стурман Б.И. Баллистический и сдвиговый токи в теории фотогальванического эффекта // *Успехи физических наук*. – 2020. – Т. 190, № 4. – С. 441–445. – DOI 10.3367/UFN.2019.06.038578.
57. Твердохлеб П.Е., Щепеткин Ю.А. Метод лазерной гетеродинной томографии отражательных решеток // *Автометрия*. – 2020. – Т. 56, № 4. – С. 61–68. – DOI 10.15372/AUT20200407.

58. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Бойко Е.В., Валитов М.Г., Стусь Ю.Ф., Сизиков И.С., Носов Д.А., Калиш Е.Н. О сравнении результатов определения координат и скоростей смещения пунктов с помощью двухчастотных приемников космической геодезии // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 63–77. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-63-77.
59. Ткаченко А.Ю., Смолянинов Н.Н., Скворцов М.И., Лобач И.А., Каблуков С.И. Когерентный оптический частотный рефлектометр на основе волоконного лазера с самосканированием частоты для сенсорных применений // Приборы и техника эксперимента. – 2020. – № 4. – С. 102–108. – DOI 10.31857/S0032816220040333.
60. Томилин В.А., Ильичев Л.В. Управление атомным конденсатом Бозе-Эйнштейна при интерферометрическом зондировании с обратной связью // Квантовая электроника. – 2020. – Т. 50, № 6. – С. 537–542. – DOI 10.1070/QEL17334.
61. Угожаев В.Д. Вращательная перестройка периода голографической решётки в беззеркальном интерферометре с неподвижным фотоприёмником // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 109–123. – DOI 10.15372/AUT20200112.
62. Федотов М. Ю., Будадин О.Н., Козельская С.О., Терентьев В.С. Методы одновременного контроля деформации и температуры композитных конструкций волоконно-оптическими датчиками // Конструкции из композиционных материалов. – 2020. – № 2. – С. 44–51.
63. Чаповский П.Л., Мамрашев А.А. Аномальное орто/пара отношение ядерных спиновых изомеров H_2O при низких температурах // Письма в ЖЭТФ. – 2020. – Т. 111, № 1/2. – С. 75–79. – DOI 10.31857/S0370274X20020046.
64. Шалагин А.М. Лазерная наука в Сибири // Лазер-информ. – 2020. – № 23/24. – С. 2–5.
65. Шапиро Е.Г., Шапиро Д.А. Подавление нелинейного шума в высокоскоростном оптическом канале с фазовой модуляцией и компенсацией дисперсии // Квантовая электроника. – 2020. – Т. 50, № 2. – С. 184–186. – DOI 10.1070/QEL17038.
66. Шиманский Р.В., Хомутов В.Н., Насыров Р.К., Корольков В.П., Седухин А.Г. Структура, принцип работы и перспективы развития литографических систем для синтеза планарных оптических элементов // Прикладная фотоника. – 2020. – Т. 7, № 3. – С. 68–79. – DOI 10.15593/2411-4367/2020.3.04.
67. Яценко А.С. К юбилею периодической таблицы Менделеева // Сибирский физический журнал. – 2020. – Т. 15, № 2. – С. 105–115. – DOI 10.25205/2541-9447-2020-15-2-105-115.
68. Abalmasov V.A. Comment on "Ultrafast polarization switching in ferroelectrics" // Physical review research. – 2020. – Vol. 2, is. 2. – P. 028001 (2 p.). – DOI 10.1103/PhysRevResearch.2.028001.

69. Abalmassov V.A. Ultrafast reversal of the ferroelectric polarization by a midinfrared pulse // *Physical Review B*. – 2020. – Vol. 101, is. 1. – P. 014102. – DOI 10.1103/PhysRevB.101.014102.
70. Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A. Optical properties of Nd:KGW crystal in the range of 0.2-2.1 THz // *Results in physics*. – 2020. – Vol. 16. – P. 102842. – DOI 10.1016/j.rinp.2019.102842.
71. Anureev I. Operational Semantics of Annotated Reflex Programs // *Automatic control and computer sciences*. – 2020. – Vol. 54, is. 7. – P. 718–726. – DOI 10.3103/S0146411620070032.
72. Apolonski A.A., Roy S., Lampe R., Maiti K.S. Molecular identification of bio-fluids in gas phase using infrared spectroscopy // *Applied optics*. – 2020. – Vol. 59, is. 17. – P. E36-E41. – DOI 10.1364/AO.388362.
73. Bakulina O.D., Ivanov M.Yu., Prikhod'ko S.A., Pylaeva S., Zaytseva I.V., Surovtsev N.V., Adonin N.Yu., Fedin M.V. Nanocage formation and structural anomalies in imidazolium ionic liquid glasses governed by alkyl chains of cations // *Nanoscale*. – 2020. – Vol. 12, is. 38. – P. 19982–19991. – DOI 10.1039/d0nr06065h.
74. Bednyakova A.E., Kharenko D.S., Yarovikov A.P. Numerical analysis of the transmission function of the NPE-based saturable absorber in a mode-locked fiber laser // *JOSA B*. – 2020. – Vol. 37, is. 9. – P. 2763–2767. – DOI: 10.1364/JOSAB.396274.
75. Bednyakova A., Kharenko D.S., Zhdanov I.S., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Babin S.A. Raman dissipative solitons generator near 1.3 μm : limiting factors and further perspectives // *Optics express*. – 2020. – Vol. 28, is. 15. – P. 22179–22185. – DOI 10.1364/OE.393603.
76. Belosludov V., Gets K., Zhdanov R., Malinovsky V., Bozhko Yu., Belosludov R., Surovtsev N., Subbotin O., Kawazoe Y. The nano-structural inhomogeneity of dynamic hydrogen bond network of TIP4P/2005 water // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10, is. 1. – P. 7323. – DOI: 10.1038/s41598-020-64210-1.
77. Belousov D.A., Terent'ev V.S., Spesivtsev E.V., Korolkov V.P. Spectral data of refractive index and extinction coefficient for thin films of titanium group metals used for fabrication of optical microstructures // *Data in Brief*. – 2020. – Vol. 28. – P. 104903. – DOI 10.1016/j.dib.2019.104903.
78. Belyanchikov M.A., Savinov M., Bedran Z.V., Bednyakov P., Proschek P., Prokleska J., Abalmassov V.A., Petzelt J., Zhukova E.S., Thomas V.G., Dudka A., Zhugayevych A., Prokhorov A.S., Anzin V.B., Kremer R.K., Fischer J.K.H., Lunkenheimer P., Loidl A., Uykur E., Dressel M., Gorshunov B. Dielectric ordering of water molecules arranged in a dipolar lattice // *Nature communications*. – 2020. – Vol. 11, is. 1. – P. 3927 (9 p.). – DOI 10.1038/s41467-020-17832-y.
79. Bronnikov K.A., Dostovalov A.V., Cherepakhin A., Mitsai E., Nepomnaschiy A., Kulinich S.A., Zhizhchenko A., Kuchmizhak A. Large-scale and localized laser crystallization of optically thick amorphous silicon films by

- near-IR femtosecond pulses // *Materials*. – 2020. – Vol. 13, is. 22. – P. 5296 (P. 1–10). – DOI 10.3390/ma13225296.
80. Bronnikov K.A., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Babin S.A. Choosing the optimal parameters of reconstruction for the shape sensor based on multicore spun optical fiber // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – Vol. 1571: The 2nd European Conference on Photonic, Optoelectronic and Electronic Materials (St. Petersburg, April 27–30, 2020). – P. 012011. – DOI 10.1088/1742-6596/1571/1/012011.
 81. Budarnykh A.E., Lobach I.A., Kablukov S.I., Chapovsky P.L. Detection of nuclear spin isomers of water molecules using self-scanning Tm-doped fiber laser // *Laser physics letters*. – 2020. – Vol. 17, № 6. – P. 065702 (6 p.). – DOI 10.1088/1612-202X/ab88d5.
 82. Budnikov K.I., Serdyukov O.V., Kurochkin A.V., Nestulya R.V. Use of HTTP filtering devices in automated control systems based on the technology of the Industrial Internet of Things // *Journal of physics: Conference series*. – 2020. – Vol. 1661, № 1: 2020 International Conference on Information Technology in Business and Industry (ITBI 2020) (Novosibirsk, April 6–8, 2020) / Novosibirsk State Technical University. – P. 012095. – DOI 10.1088/1742-6596/1661/1/012095.
 83. Bykov T., Goloshevskii N.V., Gromilov S., Kasatov D., Kolesnikov I., Koshkarev A., Makarov A., Ruktuev A., Shchudlo I., Sokolova E., Taskaev S. In situ study of the blistering effect of copper with a thin lithium layer on the neutron yield in the ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ reaction // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. – 2020. – Vol. 481. – P. 62–81. – DOI 10.1016/j.nimb.2020.08.010.
 84. Chernenko A.A., Saprykin E.G. Coherent Nonlinear Resonances of Saturated Absorption at Transitions from the Ground ${}^1\text{S}_0$ Atomic State in the Spectroscopy of Unidirectional Waves // *American Journal of Optics and Photonics*. – 2020. – Vol. 8, is. 3. – P. 51–60. – DOI 10.11648/j.ajop.20200803.11.
 85. De Landro M., Ianniello J., Yon M., Wolf A.A., Quesson B., Schena E., Saccomandi P. Fiber bragg grating sensors for performance evaluation of fast magnetic resonance thermometry on synthetic phantom // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20, № 22. – P. 6468 (17 p.). – DOI 10.3390/s20226468.
 86. Derevyanko D.I., Shelkovnikov V.V., Kovalskii V.Y., Zilberberg I.L., Aliev S.I., Orlova N.A., Ugozhaev V.D. The Charge Transfer Complex Formed between the Components of Photopolymer Material as an Internal Sensitizer of Spectral Sensitivity // *ChemistrySelect*. – 2020. – Vol. 5, is. 38. – P. 11939–11947. – DOI 10.1002/slct.202002163.
 87. Dostovalov A.V., Bronnikov K.A., Korolkov V.P., Babin S.A., Mitsai E., Mironenko A., Tutov M., Zhang D., Sugioka K., Maksimovic J., Katkus T., Juodkazis S., Zhizhchenko A., Kuchmizhak A. Hierarchical anti-reflective laser-induced periodic surface structures (LIPSS) on amorphous Si films for

- sensing applications // *Nanoscale*. – 2020. – Vol. 12, is. 25. – P. 13431–13441. – DOI 10.1039/D0NR02182B.
88. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Bronnikov K.A., Skvortsov M.I., Churin A.E., Babin S.A. Femtosecond pulse structuring of multicore fibers for development of advanced fiber lasers and sensors // *Solid state phenomena*. – 2020. – Vol. 312. – P. 221–226. – DOI 10.4028/www.scientific.net/SSP.312.221.
 89. Drobyshev R.V., Volikova A.M., Lobach I.A., Kablukov S.I. Multi-wavelength gain-switched Yb-doped fiber laser // *Laser physics letters*. – 2020. – Vol. 17, № 6. – P. 065102 (6 p.). – DOI 10.1088/1612-202X/ab86b3.
 90. Erofeev V.I. The effect of forced oscillations on the kinetics of wave drift in an inhomogeneous plasma // *Plasma Science and Technology*. – 2020. – Vol. 22, is. 12. – P. 125002 (12 p.). – DOI 10.1088/2058-6272/abb189.
 91. Frumin L.L. Efficient algorithms for solving the spectral scattering problems for the Manakov system of nonlinear Schroedinger equations // *arXiv.org*. – 2020. – P. arXiv:2006.03770.
 92. Frumin L.L. Linear least squares method in nonlinear parametric inverse problems // *Journal of inverse and ill-posed problems*. – 2020. – vol. 28, is. 2. – P. 307–312. – DOI 10.1515/jiip-2019-0009.
 93. Frumin L.L., Shapiro D.A. Sensitivity enhancement of plasmonic grating in the local field // *Optics Express*. – 2020. – Vol. 28, is. 18. – P. 26143. – 26150 DOI 10.1364/OE.400382.
 94. Garanina N., Anureev I., Zyubin V.E., Borovikova O.I. Constructing verification-oriented domain-specific process ontologies // *Automatic control and computer sciences*. – 2020. – Vol. 54, is. 7. – P. 739–749. – DOI 10.3103/S014641162007007X.
 95. Gelash A.A., Mullyadzhyanov R. Anomalous errors of direct scattering transform // *Physical review E*. – 2020. – Vol. 101, № 5. – P. 052206. – DOI 10.1103/PhysRevE.101.052206.
 96. Gorbunov O.A., Sugavanam S., Vatnik I.D., Churkin D.V. Poisson distribution of extreme events in radiation of random distributed feedback fiber laser // *Optics letters*. – 2020. – vol. 45, is. 8. – P. 2375–2378. – DOI 10.1364/OL.390492.
 97. Grif M.G., Kugaevskikh A.V. Recognition of deaf gestures based on a bio-inspired neural network // *Journal of physics: Conference series*. – 2020. – Vol. 1661, № 1: 2020 International Conference on Information Technology in Business and Industry (ITBI 2020) (Novosibirsk, April 6–8, 2020) / Novosibirsk State Technical University. P. 012038. – DOI 10.1088/1742-6596/1661/1/012038.
 98. Grossman V., Adichtchev S.V., Atuchin V.V., Bazarov B.G., Bazarova J.G., Kuratieva N., Oreshonkov A.S., Pervukhina N.V., Surovtsev N.V. Exploration of the Structural and Vibrational Properties of the Ternary Molybdate $Tl_5BiHf(MoO_4)_6$ with Isolated MoO_4 Units and Tl^+ Conductivity // *Inorganic Chemistry*. – 2020. – Vol. 59, is. 17. – P. 12681–12689. – DOI: 10.1021/acs.inorgchem.0c01762.

99. Gudko A., Gelash A.A., Mullyadzhanov R. High-order numerical method for scattering data of the Korteweg-De Vries equation // *Journal of physics: conference series*. – 2020. – Vol. 1677: XXXVI Siberian thermophysical seminar (STS 36) (Novosibirsk, October 5–7, 2020). – P. 012011 (7 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/1677/1/012011.
100. Hua L., Wang S., Yang X., Yao X., Li L., Komarov A.K., Klimczak M., Shen D., Tang D., Su L., Zhao L. Period doubling of multiple dissipative-soliton-resonance pulses in a fibre laser // *OSA Continuum*. – 2020. – Vol. 3, is. 4. – P. 911–920. – DOI 10.1364/OSAC.385465.
101. Huang J., Li Y., Gao Y., Huang Z., Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Lanskiĭ G., Andreev Y. Terahertz birefringence and dichroism of kta crystal // *Crystals*. – 2020. – Vol. 10, is. 9. – P. 730 (P. 1–7). – DOI 10.3390/cryst10090730.
102. Ignatieva L.N., Marchenko Yu.V., Mashchenko V.A., Maslennikova I.G., Goncharuk V.K., Adichtchev S.V., Sarin S.A. Formation of glass ceramic composite in (ZrF₄-BaF₂)-NaPO₃ system // *Journal of non-crystalline solids*. – 2020. – Vol. 548. – P. 120329 (6 p.). – DOI 10.1016/j.jnoncrysol.2020.120329.
103. Il'ichov L.V. Category forms of Local-Causality and Non-Signalling and their duals // *Journal of physics: conference series*. – 2020. – Vol. 1557, is. 1: 21st International Meeting on Physical Interpretations of Relativity Theory 2019 (PIRT 2019) (Moscow, July 1–5, 2019) / Bauman Moscow State Technical University. – P. 012025. – DOI 10.1088/1742-6596/1557/1/012025.
104. Ivanov S.D., Kostsov E.G. Uncooled thermally uninsulated array element based on thin strontium barium niobate pyroelectric films // *IEEE Sensors Journal*. – 2020. – Is. 16. – P. 9011–9017. – DOI 10.1109/JSEN.2020.2987633.
105. Kashirina E.K., Lobach I.A., Kablukov S.I. Dual-longitudinal-mode CW self-sweeping operation in Er-doped fiber laser // *Optics letters*. – 2020. – Vol. 45, is. 24. – P. 6659–6662. – DOI 10.1364/OL.412781.
106. Kojima S., Novikov V.N., Kofu M., Yamamuro O. Nanometric Fluctuations of Sound Velocity in Alkali Borate Glasses and Fragility of Respective Melts // *Physica Status Solidi (B) Basic Research*. – 2020. – Vol. 257. – P. 2000073 (6 p.). – DOI 10.1002/pssb.202000073.
107. Korganbayev S., Orrico A., Bianchi L., De Landro M., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Saccomandi P. Closed-loop temperature control based on fiber bragg grating sensors for laser ablation of hepatic tissue // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20, is. 22. – P. 6496 (16 pp.). – DOI 10.3390/s20226496.
108. Kuptsov A.V., Volzhenin A.V., Labusov V.A., Saprykin A.I. Steel analysis by atomic emission spectrometry using a two-jet arc plasmatron with spark ablation // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. – 2020. – Vol. 35, № 11. – P. 2600–2605. – DOI 10.1039/d0ja00313a.
109. Kuznetsov A.G., Nemov I.N., Wolf A.A., Kablukov S.I., Babin S.A., Chen Y., Yao T., Leng J., Zhou P. Beam cleaning effects in multimode

- GRIN-fiber Raman lasers and amplifiers // *Journal of physics: conference series*. – 2020. – vol. 1508, is. 1: 28th Annual International Laser Physics Workshop (LPHYS 2019) (Gyeongju, South Korea, July 8–12, 2019). – P. 012009. – DOI 10.1088/1742-6596/1508/1/012009.
110. Lavrentiev M.M., Lysakov K.F., Marchuk An.G., Oblaukhov K.K., Shadrin M.Y. Hardware Acceleration of Tsunami Wave Propagation Modeling in the Southern Part of Japan // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10, is. 12. – P. 4159. – DOI 10.3390/app10124159.
 111. Lavrentiev M.M., Marchuk An., Oblaukhov K., Romanenko A. Comparative testing of MOST and Mac-Cormack numerical schemes to calculate tsunami wave propagation // *Journal of physics: conference series*. – 2020. – Vol. 1666: Lavrentyev readings on mathematics, mechanics and physics (Novosibirsk, September 7–11, 2020). – P. 012028 (7 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/1666/1/012028.
 112. Leonov D.V., Dzuba S.A., Surovtsev N.V. Membrane–Sugar Interactions Probed by Low-Frequency Raman Spectroscopy: The Monolayer Adsorption Model // *Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids*. – 2020. – Vol. 36, is. 39. – P. 11655–11660. – DOI 10.1021/acs.langmuir.0c02458.
 113. Li Y., Huang J., Huang Z., Nikolaev N.A., Lanski G., Mamrashev A.A., Andreev Yu. Optical properties of BiB₃O₆ in the terahertz range // *Results in physics*. – 2020. – Vol. 16. – P. 102815. – DOI 10.1016/j.rinp.2019.102815.
 114. Ma L.S., Sun Z.D., Chapovsky P.L. Nuclear spin conversion in gaseous methanol // *Physical Review A*. – 2020. – Vol. 102, № 3. – P. 032810 (11 p.). – DOI 10.1103/PhysRevA.102.032810.
 115. Maiti K.S., Roy S., Lampe R., Apolonski A.A. Breath indeed carries significant information about a disease. Potential biomarkers of cerebral palsy // *Journal of biophotonics*. – 2020. – Vol. 13. – P. e202000125. – DOI 10.1002/jbio.202000125.
 116. Mitsai E., Dostovalov A.V., Bronnikov K.A., Nepomniaschiy A.V., Zhizhchenko A.Yu., Kuchmizhak A. Crystallization of optically thick amorphous silicon films by near-Ir femtosecond laser processing // *Solid state phenomena*. – 2020. – Vol. 312. – P. 134–139 – DOI 10.4028/www.scientific.net/SSP.312.134.
 117. Mokrousova V.I., Okotrub K.A., Amstislavsky S.Y., Surovtsev N.V. Raman spectroscopy evidence of lipid separation in domestic cat oocytes during freezing // *Cryobiology*. – 2020. – Vol. 95. – P. 177–182. – DOI 10.1016/j.cryobiol.2020.03.005.
 118. Mokrousova V.I., Okotrub K.A., Brusentsev E.Yu., Kizilova E., Surovtsev N.V., Amstislavsky S. Y. Effects of slow freezing and vitrification on embryo development in domestic cat // *Reproduction in domestic animals*. – 2020. – Vol. 55, is. 10. – P. 1328–1336. – DOI 10.1111/rda.13776.
 119. Morra F., De Landro M., Korganbayev S., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Cigada A., Saccomandi P. Spatially resolved thermometry during laser ablation in tissues: distributed and quasi-distributed fiber optic-based sensing //

- Optical fiber technology. – 2020. – Vol. 58. – P. 102295 (13 p.). – DOI 10.1016/j.yofte.2020.102295.
120. Niang A., Modotto D., Tonello A., Mangini F., Minoni U., Zitelli M., Fabert M., Jima M.A., Egorova O.N., Levchenko A.E., Semjonov S.L., Lipatov D.S., Babin S.A., Couderc V., Wabnitz S. Spatial Beam Self-Cleaning in Tapered Yb-Doped GRIN Multimode Fiber with Decelerating Nonlinearity // *IEEE Photonics Journal*. – 2020. – Vol. 12, is. 2. – P. 9031306. – DOI 10.1109/JPHOT.2020.2979938.
 121. Nikolaev N.A., Rybak A.A., Kuznetsov S.A. Application of metasurface-based low-pass filters for improving THz-TDS characteristics // *Journal of physics: Conference series*. – 2020. – Vol. 1461: METANANO 2019 (St. Petersburg, July 15–19, 2019). № 1. – P. 12118. – DOI 10.1088/1742-6596/1461/1/012118.
 122. Okotrub K.A., Zykova V.A., Adichtchev S.V., Surovtsev N.V. Deciphering the orientation of lipid molecules by principal component analysis of Raman mapping data // *Analyst*. – 2020. – Vol. 145, № 4. – P. 1466–1472. – DOI 10.1039/c9an01499c.
 123. Oreshonkov A.S., Roginskii E.M., Shestakov N.P., Gudim I.A., Temerov V.L., Nemtsev I.V., Molokeyev M.S., Adichtchev S.V., Pugachev A.M., Denisenko Y.G. Structural, electronic and vibrational properties of $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$ // *Materials*. – 2020. – Vol. 13, is. 3. – P. 545 (16 p.) – DOI 10.3390/ma13030545.
 124. Oreshonkov A.S., Shestakov N.P., Molokeyev M.S., Aleksandrovsky A.S., Gudim I.A., Temerov V.L., Adichtchev S.V., Pugachev A.M., Nemtsev I.V., Pogoreltsev E.I., Denisenko Y.G. Monoclinic $\text{SmAl}_3(\text{BO}_3)_4$: synthesis, structural and spectroscopic properties // *Acta Crystallographica B*. – 2020. – Vol. 76, part 4. – P. 654–660. – DOI 10.1107/S2052520620008781.
 125. Pelipasov O.V., Polyakova E.V. Matrix effects in atmospheric pressure nitrogen microwave induced plasma optical emission spectrometry // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. – 2020. – Vol. 35. – P. 1389–1394. – DOI 10.1039/D0JA00065E.
 126. Perevalov T.V., Gismatulin A.A., Seregin D.S., Wang Y.J., Xu H.Y., Kruchinin V.N., Spesivcev E.V., Gritsenko V.A., Nasyrov K.A., Prosvirnin I.P., Zhang J., Vorotilov K.A., Baklanov M.R. Critical properties and charge transport in ethylene bridged organosilica low-kappa dielectrics // *Journal of Applied Physics*. – 2020. – Vol. 127, № 19. – P. 195105. – DOI 10.1063/1.5145239.
 127. Podivilov E.V., Smirnov S.V., Breunig I., Sturman B. I. Nonlinear solutions for $x^{(2)}$ frequency combs in optical microresonators // *Physical review A*. – 2020. – Vol. 101, is. 2. – P. 023815 (10 p.). – DOI 10.1103/PhysRevA.101.023815.
 128. Podivilov E.V., Sturman B.I., Breunig I. Frequency comb solutions for driven $x^{(2)}$ optical microresonators // *Journal of the Optical Society of Amer-*

- ica B. – 2020. – Vol. 37, is. 11. – P. 3316–3324. – DOI 10.1364/JOSAB.402007.
129. Polyakova E.V., Pelipasov O.V. Plasma molecular species and matrix effects in the Hummer cavity microwave induced plasma optical emission spectrometry // *Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy*. – 2020. – Vol. 173. – P. 105988. – DOI 10.1016/j.sab.2020.105988.
130. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V., Gorev M.V., Ivleva L.I., Lykov P.A. Temperature dependence of the spontaneous polarization, acoustic and strain anomalies in strontium barium niobate crystals of different chemical compositions probed by the second harmonic generation technique // *Ferroelectrics*. – 2020. – Vol. 560, is. 1. – P. 54–60. – DOI 10.1080/00150193.2020.1722883.
131. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Surovtsev N.V., Krylov A.S. Anharmonicity and local noncentrosymmetric regions in BaTiO₃ pressed powder studied by the Raman line temperature dependence // *Ceramics International*. – 2020. – Vol. 46, is. 14. – P. 22619–22623. – DOI 10.1016/j.ceramint.2020.06.024.
132. Ranneva S.V., Okotrub K.A., Amstislavsky S.Y., Surovtsev N.V. Deuterated stearic acid uptake and accumulation in lipid droplets of cat oocytes // *Archives of Biochemistry and Biophysics*. – 2020. – Vol. 692. – P. 108532. – DOI 10.1016/j.abb.2020.108532.
133. Romanenko A.A., Snytnikov A.V., Boronina M.A. Cross-platform implementation of Particle-In-Cell method for simulation of high-temperature and fusion plasma by means of hybrid supercomputers equipped with GPU or Intel Xeon Phi accelerators // *Journal of Physics: Conference series*. – 2020. – Vol. 1640, is. 1: 3rd Virtual Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics (MHD-PP 2020) (Novosibirsk, October 12–16, 2020). – P. 012016. – DOI 10.1088/1742-6596/1640/1/012016.
134. Romanyuk O.N., Vyatkin S.I., Mykhaylov P.I., Chekhmestruk R.Y. Interactive shape modeling using functionally defined objects // *Herald of advanced information technology*. – 2020. – Vol. 3, № 3. – P. 149–162. – DOI 10.15276/hait.03.2020.4.
135. Romanyuk O.N., Vyatkin S.I., Pavlov S.V., Mykhaylov P.I., Chekhmestruk R.Yu., Perun I.V. Face recognition techniques // *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Srodowiska – IAPGOS*. – 2020. – Vol. 10, № 1. – P. 52–57. – DOI 10.35784/iapgos.922.
136. Sinev D.A., Yuzhakova D.S., Moskvina M.K., Veiko V.P. Formation of the Submicron Oxidative LIPSS on Thin Titanium Films During Nanosecond Laser Recording // *Nanomaterials*. – 2020. – Vol. 10, is. 11. – P. 2161. – DOI 10.3390/nano10112161.
137. Skvortsov M.I., Wolf A.A., Vlasov A.A., Proskurina K.V., Dostovalov A.V., Egorova O.N., Galagan B.I., Sverchkov S.E., Denker B.I., Semjonov S.L., Babin S.A. Advanced distributed feedback lasers based on composite fiber heavily doped with erbium ions // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10, is. 1. – P. 14487. – DOI 10.1038/s41598-020-71432-w.

138. Smirnov S., Sturman B.I., Podivilov E.V., Breunig, I. Walk-off controlled self-starting frequency combs in $X^{(2)}$ optical microresonators // *Optics express*. – 2020. – Vol. 28, is. 12. – P. 18006–18017. – DOI 10.1364/OE.395360.
139. Snytnikov A.V., Glinskiy B.M., Zagorulko G.B., Zagorulko Y.A. Ontological approach to formalization of knowledge in computational plasma physics // *Journal of Physics: Conference series*. – 2020. – Vol. 1640, is. 1: 3rd Virtual Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics (MHD-PP 2020) (Novosibirsk, October 12–16, 2020). P. 012013. – DOI 10.1088/1742-6596/1640/1/012013.
140. Steinberg I.Sh., Atuchin V.V. Two-photon holographic recording in $\text{LiTaO}_3\text{:Fe}$ crystals with high intensity nanosecond pulses at 532 nm // *Materials chemistry and physics*. – 2020. – Vol. 253. – P. 122956 (6 p.). – DOI 10.1016/j.matchemphys.2020.122956.
141. Surovtsev N.V., Adichtchev S.V. Low-wavenumber Raman scattering of phospholipid bilayers in fluid, ripple, and gel phases // *Journal of Raman spectroscopy*. – 2020. – Vol. 51, is. 6. – P. 952–958. – DOI 10.1002/jrs.5861.
142. Szabados J., Sturman B.I., Breunig I. Frequency comb generation threshold via second-harmonic excitation in $x^{(2)}$ optical microresonators // *APL Photonics*. – 2020. – Vol. 5, is. 11. – P. 116102 (7 p.). – DOI 10.1063/5.0021424.
143. Titkov A.I., Logutenko O.A., Vorobyev A.M., Borisenko T.A., Bulina N.V., Ulihin A.S., Baev S.G., Bessmeltsev V.P., Lyakhov N.Z. Laser sintering of Cu&Ag core-shell nanoparticles for printed electronics application // *Materials today: proceedings*. – 2020. – Vol. 25, part 3: 3rd All-Russian Conference (with International Participation) on Hot Topics of Solid State Chemistry – From New Ideas to New Materials (Novosibirsk, October 1–5, 2019). – P. 447–450. – DOI 10.1016/j.matpr.2019.12.163.
144. Tomilin V. A., Il'ichov L.V. Solvable model of quantum-optical feedback // *Physics Letters A*. – 2020. – Vol. 384, is. 27. – P. 126718. – DOI 10.1016/j.physleta.2020.126718.
145. Ukhina A.V., Dudina D.V., Esikov M.A., Samoshkin D.A., Stankus S.V., Skovorodin I.N., Galachov E.N., Bokhonov B.B. The influence of morphology and composition of metal-carbide coatings deposited on the diamond surface on the properties of copper-diamond composites // *Surface and Coatings Technology*. – 2020. – Vol. 401, is. 15. – P. 126272 (10 p.). – DOI 10.1016/j.surfcoat.2020.126272.
146. Vasilyev E.V., Shelkovnikov V.V., Orlova N.A., Steinberg I.Sh., Loskutov V.A. Single- and two-photon recording of holograms at combined cationic and free-radical polymerization photoinitiated by thioxanthenone derivatives // *Polymer journal*. – 2020. – Vol. 52. – P. 1279–1287. – DOI 10.1038/s41428-020-0381-2.
147. Wang Y., Su L., Wang S., Hua L., Li L., Shen D., Tang D., Komarov A.K., Klimczak M., Fu S., Tang M., Tang X., Zhao L. Breach and re-

- currence of dissipative soliton resonance during period-doubling evolution in a fiber laser // *Physical review A*. – 2020. – Vol. 102, is. 1. – P. 013501 (7 p.). – DOI 10.1103/PhysRevA.102.013501.
148. Xu G., Gelash A.A., Chabchoub A., Zakharov V., Kibler B. Ghost interaction of breathers // *Frontiers in Physics*. – 2020. – Vol. 8. – P. 608894 (7 p.). – DOI 10.3389/fphy.2020.608894.
 149. Yakovleva T.S., Rostom A.M., Tomilin V.A., Il'ichov L.V. Geometric phase for “dark” subspaces in coherent population trapping // *Modern Physics Letters B*. – 2020. – Vol. 34, № Supp01. – Vol. 2150021 (8 p.). – DOI 10.1142/S0217984921500214.
 150. Yao X., Li L., Komarov A.K., Klimczak M., Tang D., Shen D., Su L., Zhao L. Period doubling eigenstates in a fiber laser mode-locked by nonlinear polarization rotation // *Optics Express*. – 2020. – Vol. 28, is. 7. – P. 9802–9810. – DOI 10.1364/OE.383661.
 151. Zabolotskii A.A. Few-cycle solitons in a dispersive medium with a permanent dipole moment // *Physical review E*. – 2020. – Vol. 102, is. 1. – P. 012214 (8 p.). – DOI 10.1103/PhysRevE.102.012214.
 152. Zabolotskii A.A. Nonlinear electromagnetic pulse isolator // *Physical review A*. – 2020. – Vol. 101, is. 5. – P. 053837 (8 p.). – DOI 10.1103/PhysRevA.101.053837.
 153. Zaytseva Y.V., Adichtchev S.V., Surovtsev N.V. Raman study of temperature-induced hydrocarbon chain disorder in saturated phosphatidylcholines // *Chemistry and Physics of Lipids*. – 2020. – Vol. 230. – P. 104926. – DOI 10.1016/j.chemphyslip.2020.104926.
 154. Zaytseva I.V., Pugachev A.M., Surovtsev N.V., Ivleva L.I., Lykov P.A. Optical investigations of fluctuation of order parameter in THz range in $Sr_xBa_{1-x}Nb_2O_6$ crystals with different chemical compositions // *Ferroelectrics*. – 2020. – Vol. 560, is. 1. – P. 102–109. – DOI 10.1080/00150193.2020.1722890.
 155. Zhao J., Zhou J., Jiang Y., Li L., Shen D., Komarov A.K., Su L., Tang D., Klimczak M., Luming Z. Nonlinear Absorbing-Loop Mirror in a Holmium-Doped Fiber Laser // *Journal of Lightwave Technology*. – 2020. – Vol. 38, is. 21. – P. 6069–6075. – DOI 10.1109/JLT.2020.3005611.
 156. Zitelli M., Mangini F., Ferraro M., Niang A., Kharenko D.S., Wabnitz S. High-energy soliton fission dynamics in multimode GRIN fiber // *Optics express*. – 2020. – Vol. 28, is. 14. – P. 20473–20488. – DOI 10.1364/OE.394896.
 157. Zykova V.A., Adichtchev S.V., Novikov V.N., Surovtsev N.V. Second-order-derivative analysis of structural relaxation time in the elastic model of glass-forming liquids in liquid water // *Physical review E*. – 2020. – Vol. 101, is. 5. – P. 052610 (7 p.). – DOI 10.1103/PhysRevE.101.052610.
 158. Zykova V.A., Adichtchev S.V., Surovtsev N.V. Effect of the Hydrocarbon Chain Disorder in Phosphatidylcholine Bilayers on Gigahertz Sound Velocity // *The journal of physical chemistry B*. – 2020. – Vol. 124, is. 41. – P. 9079–9085. – DOI 10.1021/acs.jpcc.0c06043.

6.3. МОНОГРАФИИ

1. В книге «Инновационные технологии в жизни современного человека», 2020.
Романюк А.Н., Вяткин С.И., Павлов С.В., Денисюк А.В., Романюк О.В. Метод построения формы и внешнего вида функциональных моделей для интерпретации новых изображений. Ч. 3. Гл. 13. С. 180–186. – DOI 10.30888/2663-9882.2020-01-019.
2. В книге «Информационные технологии и автоматизация» / ред. Котлик С.В. 2020.
Романюк А.Н., Романюк О.В., Вяткин С.И., Михайлов П.И., Чехмestрук Р.Ю., Перун И.М. Динамическая деформация трехмерных объектов в реальном времени с использованием пространственно-временной адаптивной выборки. Раздел 3. «Математическое моделирование и информационные технологии». С. 198–210.
3. In the book “Compendium on Electromagnetic Analysis From Electrostatics to Photonics: Fundamentals and Applications for Physicists and Engineers”: in 5 volumes. – 2020.
Babin S.A., Podivilov E., Shapiro D.A. Fiber lasers with distributed feedback. Vol. V: Optics and photonics II. P. 19–67.
DOI 10.1142/9789813270343_0002.
4. In the book “Emerging Trends in Engineering Research and Technology” / ed. by Dr. Gnana Sheela K. – 2020.
Baginsky I.L., Kostsov E.G., Kamishlov V.F. Two-capacitor electric micro-generators. Vol. 8, Chapter 1. DOI 10.9734/bpi/etert/v8.
5. In the book “Handbook of Laser Technology and Applications”, second Edition (in 3 Volumes) / Edited by Chunlei Guo and Subhash Chandra Singh, CRC Press & Taylor & Francis Ltd, London, 320 pages, 2021.
Bufetov I., Babin S. Raman fiber lasers. Chapter in book, Vol. 2: “Laser Design and Laser Systems”, ISBN10: 113803262X ISBN13: 9781138032620
<https://www.bookdepository.com/Handbook-Laser-Technology-Applications-Second-Edition-Chunlei-Guo/9781138032620?ref=grid-view&qid=1575446949185&sr=1-1>
6. In the book “Scientific foundations of modern engineering”. 2020.
Vyatkin S.I., Romanyuk O., Mykhaylov P., Chekhmestruk R., Romanyuk O., Perun I.V. Intelligent implants in orthopedic surgery. Section 8 "Informatics, computer engineering and automation". P. 169–180. – ISBN 978-1-64871-700-0. – DOI 10.46299/isg.2020.MONO.TECH.I.

6.4. МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ, СЕМИНАРОВ

1. Антропов А.А., Ефремов В.Д., Евменова Е.А., Харенко Д.С. Моделирование волоконного оптического параметрического генератора для КАРС // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – 2020. – С. 193–194. – DOI 10.31868/RFL2020.193-194.
2. Аржанов А.И., Каримуллин К.Р., Суровцев Н.В., Наумов А.В. Электрон-фононное взаимодействие в тонкой пленке полупроводниковых квантовых точках CDSE/CDS/ZNS и нанокompозите на основе полиизобутилена // XXVI Всероссийская конференция «Структура и динамика молекулярных систем», 17-я Школа молодых ученых «Синтез, структура и динамика молекулярных систем» (Нац. парк «Марий Чодра», 17–21 августа, 2020): сборник тезисов докладов. – С. 3–5.
3. Бастрыкина А.А. Рефакторинг транслятора языка Reflex на основе автоматической парсер-генерации // Материалы 58-й международной научной студенческой конференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Информационные технологии». – С. 138.
4. Башев В.И. Разработка процесс-ориентированного расширения языка Structured Text из состава IEC 61131–3 // Там же. – С. 139.
5. Беленькая С.Е. Разработка программного модуля визуализации диаграмм-процессов по спецификации на языке Reflex // Там же. – С. 114.
6. Беленькая С.Е., Розов А.С., Зюбин В.Е. Разработка программного модуля визуализации диаграмм процессов по спецификации на языке Reflex // Фундаментальные проблемы управления производственными процессами в условиях перехода к индустрии 4.0: тезисы докладов научного семинара в рамках международной научно-технической конференции «Автоматизация» (г. Сочи, 6–12 сентября, 2020). – С. 302–304.
7. Белоусов Д.А., Достовалов А.В., Корольков В.П., Бронников К.А., Микерин С.Л., Бабин С.А. Анализ упорядоченности и дефектности структур ТЛИППС сформированных на тонких пленках Hf астигматическим гауссовым пучком // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ–2020): сборник трудов по материалам VI международной конференции и молодежной школы (г. Самара, 26–29 мая, 2020), – т. 1: Компьютерная оптика и нанофотоника. – С. 372–377.
8. Белоусов Д.А., Достовалов А.В., Корольков В.П., Микерин С.Л., Бронников К.А., Бабин С.А. Высокопроизводительная запись ТЛИППС на тонких пленках Hf астигматическим гауссовым пучком фемтосекундного лазера // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 150–151. – DOI 10.31868/RFL2020.150-151.
9. Белоусов Д.А., Корольков В.П., Насыров Р.К., Седухин А.Г., Хомутов В.Н., Шиманский Р.В., Куц Р.И., Малышев А.И. «Сухой» метод изготовления компьютерно-синтезированных голограмм на основе пря-

мой лазерной записи на пленках титана // HOLOEXPO 2020. XVII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям (Москва, 8–9 сентября, 2020): тезисы докладов. – 2020. – С. 198–204.

10. Береза А.С., Шапиро Д.А. Уточненное борновское приближение для рассеяния электромагнитной волны наночастицами // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 29. – DOI 10.31868/RFL2020.29.
11. Бударных А.Е., Лобач И.А., Каблуков С.И. Режимы самосканирования в тулиевом волоконном самосканирующем лазере // Там же. – С. 191–192. – DOI 10.31868/RFL2020.191-192.
12. Бударных А.Е., Лобач И.А., Каблуков, С.И., Чаповский П.Л. Детектирование ядерных спиновых изомеров молекул воды при помощи самосканирующего тулиевого волоконного лазера // Там же. – С. 145–146. – DOI 10.31868/RFL2020.145-146.
13. Булина Н.В., Баев С.Г., Воробьев А.М., Макарова С.В., Бессмельцев В.П., Титков А.И., Ляхов Н.З. Плавление гидроксипатита при обработке излучением CO₂-лазера // Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике: IX Международная конференция, посвященная 120-летию академика М.А. Лаврентьева (г. Новосибирск, 7–11 сентября, 2020): тезисы докладов. – С. 232.
14. Веревкин А.Е. Расчет плазмонного резонанса в квазистатическом приближении // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 218. – DOI 10.31868/RFL2020.218.
15. Владимирская А.Д., Лобач И.А., Каблуков С.И. Линейно-поляризованный гольмиевый волоконный лазер с самосканированием длины волны вблизи 2,09 мкм // Там же. – С. 61–62. – DOI 10.31868/RFL2020.61-62.
16. Владимирская А.Д. Самосканирующий волоконный гольмиевый лазер с генерацией в области 2 мкм для спектроскопии CO₂ // Материалы 58-й международной научной студенческой конференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Фотоника и квантовые оптические технологии». – С. 9.
17. Воликова А.М., Смолянинов Н.Н., Лобач И.А., Каблуков С.И. Дальномер на основе иттербиевого волоконного лазера с самосканированием длины волны // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 189–190. – DOI 10.31868/RFL2020.189-190.
18. Вольф А.А., Симонов В.А., Достовалов А.В., Терентьев В.С., Егорова О.Н., Журавлев С.Г., Семенов С.Л., Бабин С.А. Пространственное уплотнение волоконно-оптических акустических датчиков // Там же. – С. 141–142. – DOI 10.31868/RFL2020.141-142.
19. Вяткин С.И., Романюк О.Н., Денисюк А.В., Кокушкин В.М. Метод активной модели внешнего вида // Тези доповідей XI Міжнародної нау-

- ково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2020» (ІКТ–2020) (Житомир, Україна, Квітня 9–11, 2020): секція 4 «Цифрова обробка зображень в автоматизованих та інформаційно-вимірвальних системах». – С. 111–113.
20. Вяткин С.И., Романюк А.Н., Круподерова Л.М. Метод трехмерного сжатия объемных данных // Actual problems of science and practice: abstracts of XIV International scientific and practical conference (Stockholm, Sweden, April 27–28, 2020). – P. 295–298.
 21. Вяткин С.И., Романюк А.Н., Романюк О.В., Денисюк А.В. Метод синтеза текстур на основе изображений // Science, society, education: topical issues and development prospects: abstracts of the 4th International scientific and practical conference (SPC “Sci-conf.com.ua”) (Kharkiv, Ukraine, March 16–17, 2020). – P. 140–143.
 22. Гаськов М.П. Исследование и оптимизация висмутового волоконного лазера // Материалы 58-й международной научной студенческой конференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Фотоника и квантовые оптические технологии». – С. 10.
 23. Гелаш А.А. Точные решения нелинейного уравнения Шрёдингера и солитонный газ высокой плотности // Нелинейные волны–2020: тезисы докладов XIX научной школы (г. Нижний Новгород, 29 февраля – 6 марта, 2020). – С. 16.
 24. Гервазиев М.Д., Харенко Д.С., Жданов И.С., Гонта В.А., Подивиллов Е.В., Бабин С.А., Вабниц С. Модовая декомпозиция лазерного излучения, распространяющегося в многомодовом волокне в режиме керровской самоочистки // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 106–108. – DOI 10.31868/RFL2020.106-108.
 25. Горнев И.А. Создание среды разработки для языка Reflex // Материалы 58-й международной научной студенческой конференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Информационные технологии». – С. 142.
 26. Гривцова А.Л. Разработка библиотеки тестовых задач автоматизации для комплекса динамической автоматической верификации на языке Reflex // Там же. – С. 89.
 27. Гурин Н.А., Корольков В.П., Батомункуев Ю.Ц., Спасивцев Е.В. Методика записи масок по многослойным покрытиям (часть 2) // Интерэкс-по ГЕО-Сибирь: XVI Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 18 июня – 8 июля, 2020): сборник материалов в 8-ми томах: т. 8/1. Национальная конференция с международным участием «СИБОПТИКА–2020». – С. 134–138. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-8-1-134-138.
 28. Двинянин А.А. Разработка модулей программного комплекса динамической верификации процесс-ориентированных языков программирования // Материалы 58-й международной научной студенческой кон-

- ференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Информационные технологии». – С. 143.
29. Добрынина Е.А. Изучение влияния солей, представителей ряда Гофмейстера, на сетку водородных связей воды // Там же. Секция «Фотоника и квантовые оптические технологии». – С. 14.
 30. Долговесов Б.С., Мазурок Б.С., Шадрин М.Ю. Совершенствование системы обработки и отображения визуальной информации комплекса тренажеров Российского сегмента международной космической станции // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика» (Москва, 23–27 ноября, 2020): тезисы. – С. 662–663.
 31. Достовалов А.В., Вольф А.А., Симонов В.А., Коробейников М.В., Брызгин А.А., Кашайкин П.Ф., Михайленко М.А., Бабин С.А. Исследование радиационной стойкости волоконных брэгговских решеток // Радиационная физика твердого тела: труды XXX Международной конференции (г. Севастополь, 24–29 августа, 2020). – С. 52–60.
 32. Достовалов А.В., Скворцов М.И., Вольф А.А., Лабунцов В.И., Егорова О.Н., Семенов С.Л., Бабин С.А. Волоконный ВКР-лазер на основе 7-сердцевинного световода с перекрестной связью между сердцевинами // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 112–113. – DOI 10.31868/RFL2020.112-113.
 33. Дроботун В.А. Микроконтроллерная система измерения толщины напыляемой нанопленки для установки вакуумного напыления // Материалы 58-й международной научной студенческой конференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Инструментальные методы и техника экспериментальной физики». – С. 22.
 34. Дробышев Р.В., Лобач И.А., Каблуков С.И. Характеризация динамических решеток инверсии населенности в иттербиевом волокне // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 57–58. – DOI 10.31868/RFL2020.57-58.
 35. Ефремов В.Д., Антропов А.А., Харенко Д.С. Подавление пьедестала сверхкоротких импульсов при помощи нелинейного усиливающего петлевого зеркала // Там же. – С. 201–202. – DOI 10.31868/RFL2020.201-202.
 36. Зайцева Ю.В. Исследование везикул фосфолипидов DPPC и DPPC-d62 методом комбинационного рассеяния света // Материалы 58-й международной научной студенческой конференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Физические методы в естественных науках и материаловедении». – С. 82.
 37. Каширина Е.К., Лобач И.А., Каблуков С.И. Узкополосный линейно-поляризованный эрбиевый волоконный лазер с самосканированием длины волны вблизи 1.6 мкм // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 59–60. – DOI 10.31868/RFL2020.59-60.

38. Колосов Н.А., Болдова С.С. Оценка возможности определения элементного состава сточных вод с использованием малогабаритного атомно-абсорбционного спектрометра с источником непрерывного спектра // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVI Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 18 июня – 8 июля, 2020): сборник материалов в 8-ми томах: т. 8/1. Национальная конференция с международным участием «СИБОПТИКА–2020». – С. 55–64. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-8-1-55-64.
39. Комин О.В., Пелипасов О.В. Снижение пределов обнаружения спектрометра с азотной микроволновой плазмой «Гранд-СВЧ» // Там же. – С. 108–117. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-8-1-108-117.
40. Корольков В.П., Белоусов Д.А. Нанотехнологии для задач дифракционной оптики // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2020): сборник трудов по материалам VI международной конференции и молодежной школы (г. Самара, 26–29 мая, 2020). – Т. 1: Компьютерная оптика и нанофотоника. – С. 807–822.
41. Корольков В.П., Куц Р.И., Малышев А.И., Маточкин А.Е., Белоусов Д.А. Формирование дифракционных структур на пленках циркония с помощью лазерной записи и реактивного ионного травления // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 170–171. – DOI 10.31868/RFL2020.170-171.
42. Корольков В.П., Микерин С.Л., Бессмельцев В.П., Терентьев В.С., Белоусов Д.А., Лобач И.А., Достовалов А.В. Новые возможности в области создания микро-наноструктурированных оптических и голографических компонентов и лазерных технологий микрообработки // HOLOEXPO 2020. XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям (Москва, 8–9 сентября, 2020): тезисы докладов. – 2020. – С. 66–73.
43. Корольков В.П., Седухин А.Г., Насыров Р.К., Шиманский Р.В., Хомутов В.Н., Качкин А.Е., Маточкин А.Е. Возможности современной лазерной литографии для синтеза микро- и наноструктурированных планарных оптических элементов // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 168–169. – DOI 10.31868/RFL2020.168-169.
44. Коршунов В.А. Алгоритм построения туристического маршрута для системы-агрегатора билетов // Материалы 58-й международной научной студенческой конференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Информационные технологии». – С. 52.
45. Кузнецов А.Г., Каблуков С.И., Подивилов Е.В., Бабин С.А. Истощение накачки и чистка пучка при ВКР-генерации в многомодовом градиентном световоде // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 109 DOI 10.31868/RFL2020.109.

46. Кузнецов С.А., Лазорский П.А., Гельфанд А.В., Федорин В.Н., Николаев Н.А. Функциональные оптические элементы ТГц-фотоники с использованием метаповерхностей // Радиоп физика, фотоника и исследование свойств вещества (РФИВ–2020) (г. Омск, 6–8 октября, 2020): тезисы докладов I Российской научной конференции. – 2020. – С. 197–198.
47. Кузнецова В.В. Верификация методом проверки моделей процессориентированных алгоритмов управления на примере тепловентилятора // Материалы 58-й международной научной студенческой конференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Информационные технологии». – С. 102.
48. Куц Р.И. Исследование оптических характеристик и микрорельефа дифракционных структур, формируемых на пленках металлов титановой группы методом прямой лазерной записи // Там же. Секция «Фотоника и квантовые оптические технологии». – С. 14.
49. Куц Р.И., Белоусов Д.А. Исследование взаимосвязи оптических и структурных свойств пленок оксида циркония, сформированных методом прямой лазерной записи непрерывным и импульсным излучением // III Всероссийская конференция «Методы исследования состава и структуры функциональных материалов» (МИССФМ-3) (г. Новосибирск, 1–4 сентября, 2020): сборник тезисов докладов. – С. 271–272.
50. Куц Р.И., Корольков В.П., Шиманский Р.В., Хомутов В.Н., Малышев А.И. Влияние материала подложки на термохимическую лазерную запись дифракционных структур на пленках циркония // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVI Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 18 июня – 8 июля, 2020): сборник материалов в 8-ми томах: т. 8/1: Национальная конференция с международным участием «СИБОПТИКА–2020». – С 153–159. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-8-1-153-159.
51. Лаврентьев М.М., Лысаков К.Ф., Марчук Ан.Г, Облаухов К.К., Шадрин М.Ю. Быстрый прогноз опасности цунами // Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике: IX Международная конференция, посвященная 120-летию академика М.А. Лаврентьева (г. Новосибирск, 7–11 сентября, 2020): тезисы докладов. – 2020. – С. 73.
52. Лаврентьев М.М., Марчук Ан.Г, Лысаков К.Ф., Шадрин М.Ю., Облаухов К.К. Реализация метода вложенных сеток на базе FPGA // Марчукские научные чтения – 2020: тезисы Международной конференции, посвященной 95-летию со дня рождения акад. Г.И. Марчука (г. Новосибирск, 19–23 октября, 2020). – С. 87. – DOI 10.24411/9999-017A-2020-10148.
53. Лобач И.А., Каблуков С.И., Подивилов Е.В. Аналитическая модель генерации волоконного лазера в режиме одночастотного самосканирования // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам

- (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 187–188. – DOI 10.31868/RFL2020.187-188.
54. Лях Т.В., Гривцова А.Л. Динамическая верификация процесс-ориентированного программного обеспечения на примере управления перекрестком // Фундаментальные проблемы управления производственными процессами в условиях перехода к индустрии 4.0: тезисы докладов научного семинара в рамках международной научно-технической конференции «Автоматизация» (г. Сочи, 6–12 сентября, 2020). – С. 304–306.
 55. Малиновский В.К. Связь свойств сегнетоэлектриков с их структурой на наномасштабах = Relationship between the properties of ferroelectrics and their structure at nanoscale // Международная онлайн-конференция «Исследование сегнетоэлектрических материалов российскими учеными. Столетие открытия сегнетоэлектричества» (СЭ-100) (г. Екатеринбург, 17–19 августа, 2020): сборник тезисов. – С. 18.
 56. Мальцев А.С., Пришляк Е.Е. Управление роботизированными платформами сбора и сортировки мусора // Труды 12 общероссийской молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Техника. Космос» (г. Санкт-Петербург, 23–25 апреля, 2020): в 4-х т. – Т. 3. – С. 275–282.
 57. Мамрашев А.А., Минаков Ф.А., Николаев Н.А., Кузнецов С.А., Таныгина Д.С. Высокоэффективные широкополосные терагерцовые поляризаторы на основе одномерных решёток // IX Международная конференция по фотонике и информационной оптике (Москва, 29–31 января, 2020): сборник научных трудов. – С. 135–136.
 58. Марченко К.В. Использование Eclipse Theia для создания интегрированной среды разработки для языка Reflex // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Томск, 21–24 апреля, 2020). – т. 7: IT-технологии и электроника. – С. 71–73.
 59. Марченко К.В. Использование Eclipse Theia для создания интегрированной среды разработки программ на процесс-ориентированном языке Reflex // Материалы 58-й международной научной студенческой конференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Информационные технологии». – С. 146.
 60. Мигранов Д.И. Визуализация геодезических на поверхностях в трехмерном евклидовом пространстве // Там же. – С. 7–8.
 61. Микерин С.Л., Угожаев В.Д. Двухлучевой интерферометр на основе кварцевого светоделительного блока с неподвижным фотоприемником и имитацией вращательной перестройки // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 207–208. – DOI 10.31868/RFL2020.207-208.
 62. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Запись дифракционных решеток в схеме с активной стабилизацией интерференционного поля // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVI Международный научный конгресс

- (г. Новосибирск, 18 июня – 8 июля, 2020): сборник материалов в 8-ми томах: т. 8/1. Национальная конференция с международным участием «СИБОПТИКА–2020». – С. 146–152. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-8-1-146-152.
63. Николаев Г.Н., Микерин С.Л. Принципиальные основы и анализ волноводного нелинейно-оптического демодулятора для широкополосных систем радиофотоники // Енисейская фотоника–2020: Первая всероссийская научная конференция с международным участием (г. Красноярск, 14–19 сентября, 2020): тезисы докладов. – С. 31–32.
 64. Николаев Н.А., Мамрашев А.А., Андреев Ю.М., Ланский Г.В. Оптические свойства кристалла трибората висмута и перспективы применения в терагерцовом спектральном диапазоне // IX Международная конференция по фотонике и информационной оптике (Москва, 29–31 января, 2020): сборник научных трудов. – С. 53–54.
 65. Николаев Н.А., Мамрашев А.А., Анцыгин В.Д., Ланский Г.В., Андреев Ю.М. Перспективы генерации терагерцового излучения в нелинейных кристаллах семейства боратов // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 120. – DOI 10.31868/RFL2020.120.
 66. Николаев Н.А., Мамрашев А.А., Ланский Г.В., Анцыгин В.Д., Андреев Ю.М. Потенциал применения нелинейных кристаллов-сегнетоэлектриков KTiOPO_4 , KTiOAsO_4 и KNbO_3 в миллиметровом диапазоне // Там же. – С. 118–119. – DOI 10.31868/RFL2020.118-119.
 67. Орешонков А.С., Шестаков Н.П., Гудим И.А., Темеров В.Л., Молокеев М.С., Адищев С.В., Пугачев А.М. Колебательная спектроскопия тригональных и моноклинных представителей семейства $\text{ReAl}_3(\text{BO}_3)_4$ // Енисейская фотоника–2020: Первая всероссийская научная конференция с международным участием (г. Красноярск, 14–19 сентября, 2020): тезисы докладов. – С. 130–131.
 68. Пен Е.Ф. Динамика одновременной записи голографических наложенных отражательных решёток в фотополимерном материале // IX Международная конференция по фотонике и информационной оптике (Москва, 29–31 января, 2020): сборник научных трудов. – С. 653–654.
 69. Поддубровский Н.Р. Разработка миниатюрного устройства опроса волоконного датчика температуры с использованием волоконного интерферометра Фабри – Перо // Материалы 58-й международной научной студенческой конференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Фотоника и квантовые оптические технологии». – С. 27.
 70. Решетников И.В. Исследование продольной акустической моды в спектрах комбинационного рассеяния везикул фосфолипидов / рук. работы Н. В. Суровцев // Там же. Секция «Физические методы в естественных науках и материаловедении». – С. 92.
 71. Романюк А.Н., Вяткин С.И., Романюк О.В. Метод параметрической модели для реконструкции монокулярного 3D лица // Priority directions

- of science development: abstracts of the 4th International scientific and practical conference (SPC “Sci-conf.com.ua”) (Lviv, Ukraine February 3–4, 2020). – С. 233–236.
72. Романюк А.Н., Вяткин С.И., Станиславенко Е.Г. 3D-моделирование на основе одного ракурса изображения // Молодь у світі сучасних технологій за тематикою «Використання інформаційних та комунікаційних технологій в сучасному цифровому суспільстві»: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, Україна 4–5 червня, 2020). – С. 173–175.
 73. Рыбак А.А. Исследование терагерцовых свойств нелинейных кристаллов калий титанил фосфата в широком диапазоне температур // Материалы 58-й международной научной студенческой конференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Фотоника и квантовые оптические технологии». – С. 28.
 74. Сажина Е.А. Исследование влияния протоколов криоконсервации на зарядовое состояние цитохромов в эмбрионах мыши // Там же. Секция «Физические методы в естественных науках и материаловедении». – С. 96.
 75. Сидельников О.С., Подвиллов Е.В., Бабин С.А., Федорук М.П. Численное моделирование процесса самоочистки в многомодовом волокне с градиентным профилем показателя преломления при распространении волны накачки и стоксовой компоненты // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 110–111. – DOI 10.31868/RFL2020.110-111.
 76. Симонов В.А., Терентьев В.С. Модовый интерферометр Маха-Цандера на основе утоньшенного волокна для измерения показателя преломления жидкости // Там же. – С. 173–174. – DOI 10.31868/RFL2020.173-174.
 77. Скворцов М.И., Вольф А.А., Власов А.А., Проскурина К.В., Достовалов А.В., Егорова О.Н., Галаган Б.И., Сверчков С.Е., Денкер Б.И., Семенов С.Л., Бабин С.А. 5-мм лазер с распределенной обратной связью на основе композитного Er³⁺ волоконного световода // Там же. – С. 68–69. – DOI 10.31868/RFL2020.68-69.
 78. Терентьев В.С., Достовалов А.В., Серьезнов А.Н., Кузнецов А.Б., Симонов В.А., Вольф А.А., Скворцов М.И., Бабин С.А. Регистрация сигналов акустической эмиссии в композитных материалах волоконно-оптическими датчиками на основе ФС-лазерной записи // Там же. – С. 205–206. – DOI 10.31868/RFL2020.205-206.
 79. Ткаченко А.Ю., Смолянинов Н.Н., Скворцов М.И., Лобач И.А., Каблуков С.И. Когерентный оптический частотный рефлектометр на основе волоконного лазера с самосканированием частоты для сенсорных применений // Оптическая рефлектометрия, метрология и сенсорика – 2020 (г. Пермь, 23–24 сентября, 2020): сборник тезисов докладов международной конференции. – С. 30–32.

80. Ткаченко А.Ю., Смолянинов Н.Н., Скворцов М.И., Лобач И.А., Каблучков С.И. Опрос ВБР датчиков с помощью когерентного оптического частотного рефлектометра на основе волоконного лазера с самосканированием длины волны // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 143–144. – DOI 10.31868/RFL2020.143-144.
81. Туснин А.К., Фруммин Л.Л., Шапиро Д.А. Изучение влияния граничных эффектов на плазмонную силу между металлическими пластинами // Там же. – С. 230–231. – DOI 10.31868/RFL2020.230-231.
82. Ухина А.В., Дудина Д.В., Бохонов Б.Б., Есиков М.А., Самошкин Д.А., Станкус С.В., Сквородин И.Н. Композиты «медь-алмаз»: получение, микроструктура, свойства // Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике: IX Международная конференция, посвященная 120-летию академика М.А. Лаврентьева (г. Новосибирск, 7–11 сентября, 2020): тезисы докладов. – С. 217.
83. Фархутдинов Д.Д. Модуль агрегации данных системы планирования туристического маршрута // Материалы 58-й международной научной студенческой конференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Информационные технологии». – С. 62.
84. Фефелова К.Д. Разработка библиотеки операций над атрибутными структурами и ее использование для дедуктивной верификации Reflex-программ // Там же. – С. 149.
85. Харенко Д.С., Жданов И.С., Мишевский М.С., Беднякова А.Е. Усиление рамановских диссипативных солитонов в фосфоросиликатных оптических волокнах // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 99–100. – DOI 10.31868/RFL2020.99-100.
86. Шамаева Д.В., Окотруб К.А., Суровцев Н.В. Исследование методом комбинационного рассеяния света влияния гидратации и состава смеси DOPC/DPPC/Chol на формирование микроскопических доменов // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 234. – DOI 10.31868/RFL2020.234.
87. Шапиро Е.Г., Шапиро Д.А. Высокоскоростная многоканальная линия связи с переменной компенсацией дисперсии: подавление нелинейных искажений // Там же. – С. 128–129. – DOI 10.31868/RFL2020.128-129.
88. Яшин А. В. Написание программы для определения качества видеопотока // Материалы 58-й международной научной студенческой конференции (МНСК–2020) (г. Новосибирск, 10–13 апреля, 2020). Секция «Информационные технологии». – С. 137
89. Abashin R., Likhachev A.V., Zerkal S., Likhachev N.A. Comparison of Methods for Processing of X-ray images of Defects in Reinforced Concrete Product // IOP Conference series: Materials science and engineering. – 2020. – Vol. 953: XIII International Scientific Conference Architecture and

- Construction (Novosibirsk, September 22–24, 2020). – P. 012041. – DOI 10.1088/1757-899X/953/1/012041.
90. Adichtchev S.V., Zykova V.A., Surovtsev N.V. Brillouin spectroscopy of phospholipid bilayers // Virtual meeting "BioBrillouin2020" (Exeter UK, September 9–11, 2020): abstract book. – 2020. – P. 22.
 91. Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A. Terahertz optical properties of 1% Nd-doped KGW // SPIE Proceedings. – 2020. – Vol. 11348: Terahertz Photonics (April 6–10, 2020). – P. 1134815. – DOI 10.1117/12.2555374.
 92. Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A., Pavlenko A.V. Terahertz properties of thin film strontium barium niobate single crystals // Terahertz and microwave radiation: generation, detection and applications: abstracts of the 4-th International Conference (Tomsk, August 24–26, 2020). – P. C-20. – P. 29.
 93. Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A., Potaturkin O.I. Optical properties of 1% Nd-doped KGW crystal in the terahertz range // Там же. – P. C-16. – P. 27.
 94. Babin S.A. Fiber optics of new generation for practical applications // The 14th China Optics Valley International Laser Summit + China-Russia Laser Summit (Wuhan, China, 12 November 2020): program. – 2020. – P. 08.
 95. Baramiya D., Lavrentiev M.M., Spigler R. Verification of Diffusion Model for Coastal Profile Evolution // Proceedings of the Global Oceans 2020 (Singapore, October 5–14, 2020). – P. 9389256. – DOI 10.1109/IEEECONF38699.2020.9389256.
 96. Bashev V., Anureev I., Zyubin V. The Post Language: Process-Oriented Extension for IEC 61131-3 Structured Text // Proceedings of the International Russian Automation Conference (RusAutoCon 2020) (Sochi, September 6–12, 2020). – P. 9208049. – P. 994–999. – DOI 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208049.
 97. Belenkaia S.E., Zyubin V.E., Rozov A.S. Generating Process Diagrams for Control Software in the Reflex Language // Там же. – P. 9208091. – P. 1010–1014. – DOI 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208091.
 98. Belousov D.A., Korolkov V.P., Shimansky R.V., Khomutov V.N., Kuts R.I. Determination of linewidth for metal/oxide gratings by measured diffraction efficiency in several orders // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11551: Holography, diffractive optics, and applications X. – P. 115511N (7 p.). – DOI 10.1117/12.2574002.
 99. Budarnykh A.E., Lobach I.A., Kablukov S.I. Sweeping regimes in a Tm-doped self-sweeping fiber laser // 19th International conference Laser optics (ICLO 2020) (St. Petersburg, November 2–6, 2020): proceedings. – 2020. – P. R1-28. – P. 20. – DOI 10.1109/ICLO48556.2020.9285829.
 100. Churkin D.V., Smirnov S. Simultaneous transition from continuous to pulsed and from PT-symmetric to PT-broken generation in coupled fiber lasers // SPIE Proceedings. – 2020. – Vol. 11358: Nonlinear Optics and its

- Applications (France, April 6–10, 2020): virtual, online. – P. 1135807. – DOI 10.1117/12.2555765.
101. Dimova A.S., Kotov K.Yu., Maltsev A.S. Trajectory control of a quadrotor carrying a cable-suspended load // 24th International Conference on System Theory, Control and Computing (ITSTCC) (Sinaia, Romania, October 8–10, 2020). – P. 9259794. – DOI 10.1109/ICSTCC50638.2020.9259794.
 102. Dostovalov A.V., Kuchmizhak A.A., Bronnikov K.A., Mitsai E., Korolkov V.P., Babin S.A. Formation of periodic structure on amorphous silicon films by femtosecond laser pulses // 19th International conference Laser optics (ICLO 2020) (St. Petersburg, November 2–6, 2020): proceedings. – 2020. – P. R5-30. – P. 211. – DOI 10.1109/ICLO48556.2020.9285402.
 103. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Bronnikov K.A., Skvortsov M.I., Babin S.A. Femtosecond pulse structuring of multicore fibers for development of advanced fiber lasers and sensors // Fifth Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials ASCO-NANOMAT 2020 (Vladivostok, July 30 – August 3, 2020): proceedings. – 2020. – P. 133.
 104. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Simonov V.A., Korobeynikov M.V., Bryazgin A., Kashaykin P.F., Yakushin S.S., Mikhailenko M., Babin S.A. Study of radiation-induced spectral changes of femtosecond laser written FBG in metal and polyimide coated fiber // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11354: Optical sensing and detection VI. – P. 113542J. – DOI 10.1117/12.2555818.
 105. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Skvortsov M.I., Proskurina K.V., Babin S.A. Wavelength-tunable DBR fiber laser based on multicore fiber // 19th International conference Laser optics (ICLO 2020) (St. Petersburg, November 2–6, 2020): proceedings. – P. R1-26. – P. 18. – DOI 10.1109/ICLO48556.2020.9285810.
 106. Drobotun V., Rozov A.S. Bias-Corrected Optical Measurement of Film Thickness for Vacuum Evaporation Coating // Proceedings of the International Russian Automation Conference (RusAutoCon 2020) (Sochi, September 6–12, 2020). – 2020. – P. 9208188. – P. 965–970. – DOI 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208188.
 107. Ezhov D.M., Kochnev Z.S., Fakhrudinova E.D., Cherepanov V.N., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A., Svetlichnyi V.A. Fe and 5BDSR based composite fluoropolymer films for THz photonics applications // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11582: Fourth International Conference on Terahertz and Microwave Radiation: Generation, Detection, and Applications (Tomsk, 2020). – P. 115820X. – DOI 10.1117/12.2580496.
 108. Ezhov D.M., Kochnev Z.S., Fakhrudinova E.D., Svetlichnyi V.A., Nikolaev N.A. Fe and 5BDSR based composite fluoropolymer films for THz photonics applications // Terahertz and microwave radiation: generation, detection and applications: abstracts of the 4-th International Conference, (Tomsk, August 24–26, 2020). – P. C-7. – P. 25.

109. Ezhov D.M., Svetlichnyi V.A., Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Lanskii G.V., Andreev Yu.M. Down-conversion of near-IR lasers into the THz range in β -BiB₃O₆ // Там же. – P. C-26. – P. 30.
110. Frumin L.L., Shapiro D.A. Sensitivity enhancement of plasmonic grating in near field // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 26–27. – DOI 10.31868/RFL2020.26-27.
111. Garanina N., Anureev I., Sidorova E., Koznov D., Zyubin V.E., Gorlatch S. An ontology-based approach to support formal verification of concurrent systems // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2020. – Vol. 12232: 3rd World Congress on Formal Methods, FM 2019 (Porto, Portugal October 7–11, 2019). – P. 114–130. – DOI 10.1007/978-3-030-54994-7_9.
112. Gateva S., Tsvetkov S., Gozzini S., Nasyrov K.A., Andreeva C., Todorov G., Cartaleva S. Enhanced absorption and transparency coherent magneto-optical resonances in hot potassium vapor // XXI International conference and school on quantum electronics "Laser physics and applications" (ICSQE`2020) (September 21–24, 2020), Virtual forum: book of abstracts. – P. P.B2. – P. 75–76.
113. Gelash A.A., Mullyadzhyanov R., Frumin L.L. Direct and inverse scattering transform algorithm for complex wave fields // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 28. – DOI 10.31868/RFL2020.28.
114. Karimullin K.R., Arzhanov A.I., Eskova A.E., Magaryan K.A., Surovtsev N.V., Naumov A.V. Spectroscopic study of low-temperature dynamics in nanocomposites based on semiconductor colloidal quantum dots // Fifth Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials (ASCO-NANOMAT 2020) (Vladivostok, July 30 – August 3, 2020): proceedings. – P. 145.
115. Kharenko D.S., Babin S.A., Zitelli M., Mangini F., Ferraro M., Leggio L., Kalashnikov V.L., Crescenzi R., Frezza F., Niang A., Modotto D., Hansson T., Mansuryan T., Tonello A., Couderc V., Wabnitz S. Nonlinear multimode fiber optics: recent advances // 2nd International optics N.I.C.E. conference (Nice, France, October 12–14, 2020). – P. OA-KN-05.
116. Kiryanov A.V., Kiryanov V.P. Improving synthesis accuracy of topology elements in laser pattern generators with circular scanning mode // Proceedings of the 5th International conference on industrial engineering (ICIE 2019) (Sochi, March, 2019): vol. 1 (Lecture notes in mechanical engineering). – 2020. – P. 497–506. – DOI 10.1007/978-3-030-22041-9_53.
117. Klimenko D.N., Gurova T.A., Elkin O.V., Maksimov L.V. Hyperspectral reflectance system for plant diagnostics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 548, is. 3: 3rd International Conference on Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies

- (AGRITECH-III 2020) (Krasnoyarsk, June 18–20, 2020). – P. 032019. – DOI 10.1088/1755-1315/548/3/032019.
118. Korganbayev, S., Asadi S., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Zalteri M., Schena E., Azhari H., Weitz I.S., Saccomandi P. Highly dense FBG arrays for millimeter-scale thermal monitoring during nanocomposite-enhanced laser ablation // *Proceedings of SPIE*. – 2020. – Vol. 11354: Optical sensing and detection VI. – P. 11354OG. – DOI 10.1117/12.2555436.
 119. Korganbayev S., Pini R., Orrico A., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Saccomandi P. Towards temperature-controlled laser ablation based on fiber Bragg grating array temperature measurements // *IEEE International workshop on Metrology for industry 4.0 and IoT (Roma, Italy, June 3–5, 2020)*. – P. 268–272. – DOI 10.1109/MetroInd4.0IoT48571.2020.9138171.
 120. Korolkov V.P., Belousov D.A. Application of nanotechnologies to the problems of diffractive optics // *International conference on Information technology and nanotechnology (ITNT) (Samara, May 26–29, 2020)*. – 8 P. – DOI 10.1109/ITNT49337.2020.9253171.
 121. Korolkov V. P., Kutz R.I., Malyshev A.I., Matochkin A.E., Shiman-sky R.V. Dry method for the formation of reflective phase DOEs using direct laser writing on thin Zr films // *Proceedings of SPIE*. – 2020. – Vol. 11551: Holography, diffractive optics, and applications X. – P. 115511O (1 p.). – DOI 10.1117/12.2574196.
 122. Korolkov V.P., Nasyrov R.K., Sedukhin A.G., Belousov D.A., Kutz R.I. Polarization effects in interferometric testing with f/1 diffractive transmission sphere // *Proceedings of SPIE*. – 2020. – Vol. 11551: Holography, diffractive optics, and applications X. – P. 115511I (1 p.). – DOI 10.1117/12.2573608.
 123. Kosykh V.P., Gromilin G.I., Yakovenko N.S. Small Objects Detection in Two-Color Images with Spatially Non-Stationary Background // *CEUR Workshop Proceedings: vol. 2534: All-Russian Conference "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM 2019) (Berdsk, August 26–29, 2019)*. – 2020. – P. 284–287.
 124. Kugaevskikh A. Bio-Inspired End-Stopped Neuron Model for the Curves Segmentation // *Proceedings of the International Russian Automation Conferenc (RusAutoCon 2020) (Sochi, September 6–12, 2020)*. – P. 9208069. – P. 719–724. – DOI 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208069.
 125. Kuznetsov A.G., Evmenova E.A., Dontsova E.I., Kablukov S.I., Babin S.A. Frequency doubling of graded-index fiber Raman lasers with multimode diode pumping // *Proceedings SPIE*. – 2020. – Vol. 11264: Nonlinear Frequency Generation and Conversion: Materials and Devices XIX. – P. 112641J. – DOI 10.1117/12.2545836.
 126. Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Evmenova E.A., Wolf A.A., Podivilov E.V., Wabnitz S., Babin S.A. Pump conversion and beam clean up at cascaded random Raman lasing in multimode graded-index fibers // *9th EPS-QEOD Europhoton Virtual Conference (30 August – 4 September, 2020)*. – P. Th-A2.6

127. Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Babin S.A. Pump depletion and Stokes beam clean up at Raman conversion in graded-index fibers // OSA Laser congress: Advanced solid state lasers conference (ASSL) (Canada, October 13–16, 2020). – P. JTh6A.12.
128. Kuznetsov S.A., Fedorinin V.N., Gelfand A.V., Milekhin A.G., Gentshev A.N., Lazorskiy P.A., Nikolaev N.A., Mamrashev A.A. Functional devices of THz photonics based on plasmonic metasurfaces // Terahertz and microwave radiation: generation, detection and applications: abstracts of the 4-th International Conference (Tomsk, August 24–26, 2020). – P. C-4. – P. 24.
129. Kuzakov D., Lavrentiev M.M., Marchuk A. Localization of the tsunami source area for effective warning with the given sensor position // Proceedings of the Global Oceans 2020 (Singapore, October 5–14, 2020). – P. 9389451. – DOI 10.1109/IEEECONF38699.2020.9389451.
130. Lavrentiev M.M. Numerical simulation of the PECVD reactor for the solar cells and the green energy // 20 International Scientific Conference on EARTH and GEO Sciences SGEM VIENNA GREEN (Vienna, Austria, December 8–11, 2020). – P. 27–32.
131. Lavrentiev M.M., Lysakov K.F., Marchuk A.G., Oblaukhov K.K., Romanenko A.A., Shadrin M.Yu. About application of modern hardware for tsunami wave propagation modelling // Национальный суперкомпьютерный форум (г. Переяславль-Залесский, 24–27 ноября, 2020): сборник тезисов докладов. – 2 с.
132. Lavrentiev M.M., Lysakov K.F., Marchuk A.G., Oblaukhov K.K., Shadrin M.Yu. FPGA based modeling of Tohoku tsunami using nested grids // Proceedings of the Global Oceans 2020 (Singapore, October 5–14, 2020). – P. 9389177. – DOI 10.1109/IEEECONF38699.2020.9389177.
133. Lavrentiev M.M., Oblaukhov K.K., Marchuk A.G., Lysakov K.F., Shadrin M.Yu. FPGA based tsunami wave propagation calculator // The 9th International Conference on Engineering Mathematics and Physics (Istanbul, Turkey, 1–4 June, 2020) (7 p.).
134. Liakh T.V., Garanina N.O., Anureev I.S., Zyubin V.E. Verifying Reflex-software with SPIN: Hand Dryer Case Study // 21st International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2020) (Chemal, 29 June – 3 July, 2020). – P. 9153545. – P. 210–214. – DOI 10.1109/EDM49804.2020.9153545.
135. Liakh T.V., Gritsova A. Dynamic Verification of Process-Oriented Control Software by the Case of Crossroad Control // Proceedings of the International Russian Automation Conference (RusAutoCon 2020) (Sochi, September 6–12, 2020). – P. 9208138. – P. 1037–1041. – DOI 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208138.
136. Likhachev A.V., Zerkal S., Likhachev N.A. Application of wavelet analysis for processing tomograms of narrow cracks // IOP Conference series : Materials science and engineering. – 2020. – Vol. 953: XIII International

- Scientific Conference Architecture and Construction (Novosibirsk, September 22–24, 2020). – P. 012040. – DOI 10.1088/1757-899X/953/1/012040.
137. Litvintsev V. Microflex platform and experience of its application for development of various control and measuring devices and systems // International conference on Industrial engineering, applications and manufacturing (ICIEAM 2020) (Sochi, May 18–22, 2020): proceedings. – P. 9111901 (5 p.). – DOI 10.1109/ICIEAM48468.2020.9111901.
138. Mamrashev A.A., Minakov F.A., Nikolaev N.A., Rybak A.A., Kuznetsov S.A., Gelfand A.V. Broadband 1D-grid-based terahertz polarizers and their applications in THz-TDS // Terahertz and microwave radiation: generation, detection and applications: abstracts of the 4-th International Conference (Tomsk, August 24–26, 2020). – P. D-11. – P. 34.
139. Mamrashev A.A., Nikolaev N.A., Kuznetsov S.A. Gelfand A.V. Broadband metal-grid polarizers on polymeric films for terahertz applications // AIP Conference Proceedings: vol. 2300: 5th International Conference on Metamaterials and Nanophotonics, (METANANO 2020) (St. Petersburg, September 14–18, 2020), Virtual. – P. 020083. – DOI 10.1063/5.0031931.
140. Mitsai E., Dostovalov A.V., Bronnikov K.A., Kuchmizhak A. Fabrication of laser-induced periodic surface structures for advanced sensing applications // Fifth Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials (ASCO–NANOMAT 2020) (Vladivostok, July 30 – August 3, 2020): proceedings. – P. 157.
141. Niang A., Modotto D., Tonello A., Mangini F., Minoni U., Zitelli M., Fabert M., Jima M.A., Egorova O.N., Levchenko A.E., Semjonov S.L., Lipatov D.S., Babin S.A., Couderc V., Wabnitz S. Nonlinear beam cleanup in Yb-doped GRIN multimode fiber taper // Optics InfoBase Conference Papers. – 2020. – Part F190: Specialty Optical Fiber (SOF 2020) (Washington, USA, July 13–16, 2020). – P. NpTh3D.5 – DOI 10.1364/NP.2020.NpTh3D.5.
142. Nikolaev N.A., Huang Z., Huang J., Li Y., Andreev Y., Lanskii G. Properties of BIBO crystal in the terahertz regime // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11348: Terahertz Photonics. – P. 1134818. – DOI 10.1117/12.2555663.
143. Nikolaev N.A., Kuznetsov S.A., Beruete M. High-performance thin-film sensors based on terahertz metasurface // Terahertz and microwave radiation: generation, detection and applications: abstracts of the 4-th International Conference (Tomsk, August 24–26, 2020). – P. C-1. – P. 23.
144. Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Cherkasova O. The difference in terahertz dielectric properties of DNA solutions in water and ethanol // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11582: Fourth International Conference on Terahertz and Microwave Radiation: Generation, Detection, and Applications (Tomsk, 2020). – P. 115820L. – DOI 10.1117/12.2580012.
145. Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Cherkasova O. The difference in terahertz dielectric properties of DNA solutions in water and ethanol // Terahertz and microwave radiation: generation, detection and applications: ab-

- stracts of the 4-th International Conference (Tomsk, August 24–26, 2020). – P. F-31. – P. 52.
146. Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Lanskii G.V., Andreev Yu.M. Optical properties and potential of KTA crystal for THz wave generation // Там же. – P. A-7. – P. 10–11.
 147. Reznik A.L., Soloviev A.A., Torgov A.V. Analysis of one type of communication systems using software and probabilistic methods // CEUR Workshop Proceedings. – 2020. – Vol. 2638: Proceedings of the 2nd International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (Irkutsk, July 6–7, 2020). – P. 225–233.
 148. Romanyuk A., Vyatkin S.I., Khoshaba A. Method for calculating the depth map from a stereo pair // XIII annual scientific conference "Information technology and automation – 2020": proceeding (Odessa, October 22–23, 2020). – P. 204–205.
 149. Romanyuk A., Vyatkin S.I., Romanyuk O. Method of recursive subdivision for synthesizing high-quality images of functionally-based objects using GPU // Там же. – P. 22–23.
 150. Romanyuk A., Vyatkin S.I., Romanyuk S. Interactive modeling method using deformable quadrics and set-theoretic operations // Там же. – P. 20–21.
 151. Romanyuk O., Vyatkin S.I., Ozerchuk D.A. Modified method of eigenfilters for face recognition // Trend in the development of modern scientific thought (Vancouver, Canada, November 23–26, 2020): abstracts of X International scientific and practical conference. – P. 696–698. – DOI 10.46299/ISG.2020.II.X.
 152. Rybak A.A., Antsygin V.D., Nikolaev N.A. Terahertz properties of potassium titanyl phosphate in a wide temperature range // Terahertz and microwave radiation: generation, detection and applications: abstracts of the 4-th International Conference (Tomsk, August 24–26, 2020). P. A-26. – P. 16.
 153. Rybak A.A., Antsygin V.D., Nikolaev N.A. Thermo-optical properties of potassium titanyl phosphate in terahertz radiation // 19th International conference Laser optics (ICLO 2020) (St. Petersburg, November 2–6, 2020): technical program. – P. ThR8-p32 (P. 99).
 154. Sanchez F., Kemel M., Nady A., Semaan G., Salhi M., Komarov A.K. On the coherence of dissipative soliton resonance square pulses // 9-й Международный семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, 20–24 сентября, 2020): материалы семинара. – С. 86. – DOI 10.31868/RFL2020.86.
 155. Saprykin E.G., Chernenko A.A. Numerical studies of the saturated absorption resonances in a nonlinear spectroscopy of the degenerate atomic transitions // 9th International conference on Mathematical modeling in physical sciences (Tinos island, Greece, September 7–10, 2020): program. – 2020. – P. 87.
 156. Shakenov A.K. Combination of Neural Network and Linear Filtration for Objects Detection // CEUR Workshop Proceedings: vol. 2534: All-Russian

- Conference "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM 2019) (Berdsk, August 26–29, 2019). – 2020. – P. 219–223.
157. Shimansky R.V., Nasyrov R.K., Belousov D.A. Measuring fabrication errors of computer-generated holograms using embedded microgratings // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11551: Holography, diffractive optics, and applications X. – P. 11551OL (9 p.). – DOI 10.1117/12.2573615.
 158. Skvortsov M.I., Wolf A.A., Vlasov A.A., Proskurina K.V., Dostovalov A.V., Egorova O.N., Galagan B.I., Sverchkov S.E., Denker B.I., Semjonov S.L., Babin S.A. Ultrashort-cavity dfb laser based on er³⁺-heavily-doped phosphosilicate fiber // Optics InfoBase Conference Papers. – 2020. – part F190: Specialty Optical Fibers (SOF 2020) (Washington, USA, July 13–16, 2020). – P. SoTu3H.4. – DOI 10.1364/SOF.2020.SoTu3H.4.
 159. Tomilin V. A., Il'ichov L.V. Solvable model of phase-switching quantum feedback // AIP Conference Proceedings. – 2020. – Vol. 2241, is. 1: 5th International Conference on Quantum Technologies (ICQT 2019) (Moscow, July 15–19, 2019). – P. 020035. – DOI 10.1063/5.0011404.
 160. Vladimirskaia A.D., Skvortsov M.I., Wolf A.A., Kaminin V.A., Lobach I.A., Kablukov S.I. Ho-doped fiber laser with wavelength self-sweeping near 2.06 μm for CO₂ spectroscopy // 19th International conference Laser optics (ICLO 2020) (St. Petersburg, November 2–6, 2020): proceedings. – P. R6-21. – P. 237. – DOI 10.1109/ICLO48556.2020.9285573.
 161. Vyatkin S.I., Nechyporuk M., Romanyuk A., Troyanovskaya T., Romanyuk O., Tsikhanovska O. Photorealistic Object Reconstruction Using Perturbation Functions and Features of Passive Stereo Projection // 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT) (Deggendorf, Germany, September 16–18, 2020). – P. 839–844. – DOI 10.1109/ACIT49673.2020.9208835. – P. 851–857. – DOI 10.1109/ACIT49673.2020.9208891.
 162. Vyatkin S.I., Romaniuk O.N., Romaniuk O.V. Face recognition based on binocular stereo reconstruction // Тези доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції "Інформаційно-комп'ютерні технології - 2020" (ІКТ-2020) (Житомир, Україна, Квітня 9–11, 2020): секція 4 «Цифрова обробка зображень в автоматизованих та інформаційно-вимірювальних системах». – 2020. – С. 105–107.
 163. Vyatkin S.I., Romaniuk O.N., Romaniuk O.V. Method for calculating the depth map from a stereo pair // Там же. – С. 113–115.
 164. Vyatkin S.I., Romanyuk A., Romanyuk O., Nechyporuk M., Chekhmestruk R., Mykhaylov P. Optimized Finite Element Method using Free-Form Volume Patches for Deformation of Three-Dimensional Objects // 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT) (Deggendorf, Germany, September 16–18, 2020). — P. 845–850. – DOI 10.1109/ACIT49673.2020.9208817.
 165. Vyatkin S.I., Romanyuk A., Romanyuk O., Nechyporuk M., Savytska L., Dobrovolska N. Method of Tile Visualization Technology with Sorting of

- Scene Fragments // Там же. – P. 839–844. – DOI 10.1109/ACIT49673.2020.9208835.
166. Vyatkin S.I., Romanyuk O.N., Pavlov S.V., Romanyuk O.V., Snigur A.V., Komada P., Smailova S., Yeralieva B.A. function-based approach to real-time visualization using graphics processing units // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11581: Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments (Wilga, Poland, August 31 – September 6, 2020). – P. 115810E. – DOI: 10.1117/12.2580212.
 167. Vyatkin S.I., Snigur A., Romanyuk A., Mykhaylov P., Nechyporuk M., Chekhmestruk R. Deformation Methods of Functionally Defined Objects using Perturbation Functions // 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT) (Deggendorf, Germany, September 16–18, 2020). – P. 858–862. – DOI 10.1109/ACIT49673.2020.9208808.
 168. Wolf A.A., Bronnikov K.A., Dostovalov A.V., Simonov V.A., Terentyev V.S., Babin S.A. Multiparameter point sensing with the FBG-containing multicore optical fiber // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11354: Optical sensing and detection VI (Online, April 6–10, 2020). – P. 11354OF. – DOI 10.1117/12.2555325.
 169. Wolf A.A., Simonov V.A., Dostovalov A.V., Terentyev V.S., Babin S.A. Spatial division multiplexing of acoustic sensors using 7-core optical fiber // Optics InfoBase Conference Papers. – 2020. – Part F190: Specialty Optical Fibers (SOF 2020) (Washington, USA, July 13–16, 2020). – P. SoM2H.4. – DOI 10.1364/SOF.2020.SoM2H.4.
 170. Yakovin M.D., Yakovin D.V., Griбанov A.V. Properties of parametric generation pumping by Nd:YAG laser with SMAOM // 19th International conference Laser optics (ICLO 2020) (St. Petersburg, November 2–6, 2020): proceedings. – P. R8-p10. – P. 287. – DOI 10.1109/ICLO48556.2020.9285690.
 171. Zhdanov I.S., Kharenko D.S., Bednyakova A.E., Fedoruk M.P., Babin S.A. All-fiber pulsed laser source based on Raman dissipative soliton generation for biological tissue analysis // Proceedings SPIE. – 2020. – Vol. 11497: Ultrafast Nonlinear Imaging and Spectroscopy VIII (29 September 2020). – P. 1149717 (6 p.). – DOI 10.1117/12.2569010.
 172. Zhurbenko A.O., Likhachev A.V., Tabanykhova M.V. Piezooptical properties of ice // IOP Conference series: Materials science and engineering. – 2020. – Vol. 962: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 20200) (Sochi, September 6–12, 2020). – P. 022022. – DOI 10.1088/1757-899X/962/2/022022.
 173. Zykova V.A., Surovtsev N.V., Dobrynina E.A. Concentration dependence of the Brillouin peak parameters in biorelevant solutions and solutions of salts within the Hofmeister series // Virtual meeting "BioBrillouin2020" (Exeter, UK, September 9–11, 2020): abstract book. – 2020. – P. 47.

6.5. АВТОРЕФЕРАТЫ

1. Вольф А.А. Поточечная фемтосекундная запись брэгговских решеток в специализированных волоконных световодах: дисс. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2020. 23 с.
2. Лях Т.В. Динамическая верификация процесс-ориентированных программ управления киберфизическими системами: дисс. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2020. 20 с.
3. Пелипасов О.В. Исследование и разработка источника возбуждения спектров на основе азотной микроволновой плазмы для атомно-эмиссионного спектрального анализа растворов: дисс. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2020. 23 с.

6.6. УЧЕБНО–МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ

1. Лабусов В.А., Панкратов С.В. Определение цвета по оптическому спектру: учебно-методическое пособие / рец.: Ю.Н. Дубнищев, А.М. Пугачёв. – Новосибирск: НГТУ, 2020. – 57 с.
2. Лабусов В.А., Широков В.В. Спектральные приборы на основе плоской дифракционной решетки: учебно-методическое пособие / рец.: Ю.Н. Дубнищев, А.М. Пугачёв. – Новосибирск: НГТУ, 2020. – 54 с.

6.7. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

1. Frumin L.L. Efficient algorithms for solving the spectral scattering problems for the Manakov system of nonlinear Schroedinger equations //arXiv: 2006.03770 (A): <https://arxiv.org/abs/2006.03770>

6.8. ПУБЛИКАЦИИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В ОТЧЕТ 2019 ГОДА

МОНОГРАФИИ

1. Lavrentiev M.M., Lysakov K.F., Romanenko A.A., Shadrin M.Yu. Modern parallel architectures to speed up numerical simulation // Advances in mechanics and mathematics: vol. 41: Advances in mathematical methods and high performance computing: chapter 15 / ed. by V.K. Singh, D. Gao, A. Fischer. – Springer, 2019. – P. 259–269. – DOI 10.1007/978-3-030-02487-1_15.

СТАТЬИ

Научные журналы

1. Белоусов Д.А., Достовалов А.В., Корольков В.П., Микерин С.Л. Метод обработки микроизображений для анализа структур ТЛИППС // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 6. – С. 936–945. – DOI 10.18287/2412-6179-2019-43-6-936-945.

2. Кирьянов А.В., Зотов А.А., Каракоцкий А.Г., Кирьянов В.П., Петухов А.Д., Чуканов В.В. Особенности оперативного контроля прецизионных углоизмерительных структур // Измерительная техника. – 2019. – № 5. – С. 31–36. – DOI 10.32446/0368-1025it.2019-5-31-35.
3. Budnikov K.I., Kurochkin A.V. Software modelling of network traffic filtering process in information system regulating the access to Internet content via HTTP // Journal of physics: Conference series. – 2019. – Vol. 1353, № 1. – P. 012129. – DOI 10.1088/1742-6596/1353/1/012129.
4. Karimulin K.R., Arzhanov A.I., Eremchev I.Yu., Kulnitskiy B.A., Surovtsev N.V., Naumov A.V. Combined photon-echo, luminescence and Raman spectroscopies of layered ensembles of colloidal quantum dots // Laser physics. – 2019. – Vol. 29, № 12. – P. 124009. – DOI 10.1088/1555-6611/ab4bdb.
5. Kiryanov A.V., Kiryanov V.P., Homutov V.N., Shimanskii R.V. Prospects for the creation of an optical-mechanical unit for a high-resolution nanolithograph // Journal of physics: conference series. – 2019. – Vol. 1333. – P. 022007 (7 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/1333/2/022007.
6. Kugaevskikh A.V., Sogreshilin A.A. Analyzing the Efficiency of Segment Boundary Detection Using Neural Networks // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2019 – Vol. 55, № 4. – P. 414–422. – DOI: 10.3103/S8756699019040137.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ, СЕМИНАРОВ

1. Напримеров В.А., Окотруб К.А., Брусенцев Е.Ю., Игонина Т.Н., Раннева С.В., Чуйко Э.А., Рожкова И.Н., Мокроусова В.И., Амстиславский С.Я. Модификация состава липидных гранул в преимплантационных эмбрионах млекопитающих при их культивировании *in vitro* // Генетика – фундаментальная основа инноваций в медицине и селекции: материалы VIII научно-практической конференции с международным участием (г. Ростов-на-Дону, 26–29 сентября, 2019). – С. 174–175.
2. Романюк А.Н., Вяткин С.И., Романюк О.В. Оптимизированный метод диффузии ошибки для растривания полутонковых изображений // Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, пам'яті А.М. Петуха (Суми / Вінниця, 9–10 грудня, 2019). – 2019. – С. 215–218.
3. Babin S.A., Skvortsov M.I., Wolf A., Dostovalov A.V., Evmenova E.A., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Wabnitz S. Random Lasing in Multicore and Multimode Fibers // Proc. 2019 PhotonIcs & Electromagnetics Research Symposium – Spring (PIERS-Spring) (Rome, Italy, 2019). – P. 2947–2950. – DOI 10.1109/PIERS-Spring46901.2019.9017870.
4. Baramiya D., Gorbenko N., Lavrentiev M.M., Spigler R. Diffusion model to predict coastal profile evolutions // Oceans`19 MTS / IEEE (Marseille,

- France, June 17–21, 2019). – 2019. – P. 8867524. – DOI 10.1109/OCEANSE.2019.8867524.
5. Bulina N.V., Titkov A.I., Baev S.G., Makarova S.V., Bessmeltsev V.P., Lyakhov N.Z. Melting of Hydroxyapatite by Selective Laser Sintering for fabrication of Bioceramic Scaffolds // Abstracts of 2nd International Conference on 3D Printing, 3D Bioprinting, Digital and Additive Manufacturing (I3D19) (Thessaloniki, Greece, July 1–5, 2019). – 2019. – P. 143.
 6. Dostovalov A.V., Korolkov V.P., Terentyev V.S., Bronnikov K.A., Babin S.A. Thermochemical High-ordered Surface Structure Formation with an Astigmatic Gaussian Beam on Metal Thin Films // Proc. 2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium – Spring (PIERS-Spring) (Rome, Italy, 2019). – P. 3269–3272. – DOI 10.1109/PIERS-Spring46901.2019.9017747.
 7. Kiryanov A. V., Kiryanov V.P. Information and Control System of Active Aerostatic Bearing // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) (Sochi, September 8–14, 2019): Proceedings. – 2019. – P. 8867774. – DOI 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867774.
 8. Kuzakov D., Lavrentiev M.M., Marchuk A. Localization of the tsunami source area for effective warning with the given sensor position // Oceans`19 MTS / IEEE (Marseille, France, June 17–21, 2019). P. 8867532. – DOI 10.1109/OCEANSE.2019.8867532.
 9. Lavrentiev M.M., Lysakov K.F., Marchuk A., Oblaukhov K., Shadrin M.Yu. Dependence of nearshore tsunami heights maxima on the source location // Там же. – P. 8867113. – DOI 10.1109/OCEANSE.2019.8867113.
 10. Nezhevenko E.S. Neural Network Classification of Large-sized Multi-segmented Polygon with Formation of Features by the Hilbert-Huang Transform of Hyperspectral Data // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – Vol. 2534: All-Russian Conference "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM 2019) (Berdsk, August 26–29, 2019). – P. 142–146.
 11. Smirnov S.V., Churkin D.V. Laminar and turbulent generation states of different parity-time symmetry properties in coupled Raman fiber lasers // Proc. SPIE. – 2019. – Vol. 11195: Quantum and Nonlinear Optics VI (SPIE/COS Photonics Asia, 2019, Hangzhou, China). – P. 1119508. – DOI 10.1117/12.2538908.
 12. Titkov A.I., Logutenko O.A., Vorobyev A., Bulina N.V., Baev S.G., Bessmeltsev V.P., Lyakhov N.Z. Laser sintering of Cu@Ag core-shell nanoparticle ink for flexible electronics application // Abstracts of 12th International Symposium on Flexible Organic Electronics (ISFOE19) (Thessaloniki, Greece, July 1–4, 2019). – P. 128.
 13. Tomilin V.A., Il'ichov L.V. Solvable model of phase-switching quantum feedback // AIP Conference Proceedings. – 2020. – Vol. 2241, is. 1: 5th International Conference on Quantum Technologies (ICQT 2019) (Moscow, July 15–19, 2019). – P. 020035. – DOI 10.1063/5.0011404.

14. Vyatkin S.I., Romanyuk O.N., Pavlov S.V., Troianovska T.I., Gromazek K., Turgynbekov Y. Transformation of polygonal description of objects into functional specification based on three-dimensional patches of free forms // Proceedings of SPIE: vol. 11176: Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019 (Wilga, Poland, May 26 – June 2, 2019). – P. 1117622. – DOI 10.1117/12.2537043.

Научное издание

Институт автоматики и электрометрии
в 2020 году

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

Подписано в печать 12.08.2021 г. Формат 70×108/16
Усл.-печ. л. 11,7 Тираж 100 экз. Заказ № 8

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 <http://www.sibran.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; <https://www.iae.nsk.su>