



ТРУДЫ XXXI МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
**«Лазерно-информационные  
технологии ЛИТ-2023»**

11-16 СЕНТЯБРЯ 2023 ГОДА  
НОВОРОССИЙСК



Академия инженерных наук России им. А.М. Прохорова  
Оптическое общество России им. Д.С. Рождественского  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра  
Великого

Балтийский государственный технический университет  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В. Г. Шухова

Новороссийский филиал БГТУ им. В. Г. Шухова  
Кубанский государственный технологический университет  
Новороссийский политехнический институт  
Научно-исследовательский центр «Репер»

## **ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – 2023**

**Труды XXXI международной научной конференции  
(г. Новороссийск, Краснодарский край, 11–16 сентября 2023 г.)**

Под редакцией профессора В. Е. Привалова

Информационная поддержка журналов:  
«Безопасность в техносфере»  
«Фотоника»  
«Лазеры. Измерения. Информация»

Новороссийск  
2023

УДК 62+66  
ББК 30  
Л 175

Л 175 Труды международной научной конференции «Лазерно-информационные технологии» (г. Новороссийск, 11-16 сентября 2023 г.) / под общ. ред. д. ф.-м. н. профессора Е. В. Привалова. -Новороссийск: Изд-во НФ БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. -351 с.

ISBN

В сборник включены тезисы докладов, представленные на XXXI международной научной конференции «Лазерно-информационные технологии - 2023». Сборник рассчитан на преподавателей, научных сотрудников, инженеров, аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

ISBN 978-5-6046875-4-3



© Филиал БГТУ им. В. Г. Шухова  
в г. Новороссийске, 2023

### СОПРЕДСЕДАТЕЛИ КОНФЕРЕНЦИИ

- В. Н. Очкин, ФИАН, Москва
- А. И. Рудскої, СПбПУ, С.-Петербург
- Е. И. Евтушенко, БГТУ им. В. Г. Шухова, Белгород

### ОРГКОМИТЕТ

- Э. И. Акопов, ФИАН, Москва
- В. М. Арпишкин, ООР, С.-Петербург
- А. В. Бадкин, СПбПУ, С.-Петербург
- В. И. Балобан, БалмГТУ, С.-Петербург
- Г. А. Баранов, ВНИИЭФА, С.-Петербург
- А. С. Бореїшо, БалмГТУ, С.-Петербург
- А. Н. Власов, РГРТУ, Рязань
- А. Е. Ворожьёв, РУДН, Москва
- Г. И. Долгих, ТОИ ДВО РАН, Владивосток
- В. В. Дьяченко, НПИ КуьГТУ, Новороссиїск
- Г. С. Евтушенко, ТПУ, Томск
- В. С. Иванов, СПбГУ, С.-Петербург
- И. Г. Иванов, ЮФУ, Ростов-на-Дону
- В. Н. Курятов, НИИ "Полюс", Москва
- В. А. Лопота, СПбПУ, С.-Петербург
- О. В. Мкртычев, НФ БГТУ, Новороссиїск
- В. В. Осипов, ИЗФ УрО РАН, Екатеринбург
- В. Я. Панченко, ИПЛИТ РАН, Шатура Московскої обл.
- В. Е. Привалов (председатель), СПбПУ, С.-Петербург
- И. В. Пучков, НИЦ "Репер", С.-Петербург
- И. В. Самохвалов, ТГУ, Томск
- А. Н. Солдатов, ТГУ, Томск
- В. А. Степанов, РГПУ, Рязань,
- В. А. Туркин, ГМУ, Новороссиїск
- В. В. Тучин, СаратовГУ, Саратов
- А. Э. Фотиади, СПбПУ, С.-Петербург
- Г. Д. Чедотарёв, ЮФУ, Ростов-на-Дону
- Ю. В. Чербахи (учёный секретарь), НФ БГТУ, Новороссиїск
- И. В. Чистяков (зам. председателя), НФ БГТУ, Новороссиїск
- В. Г. Шеманин (зам. председателя), НФ БГТУ, Новороссиїск
- И. А. Щербаков, ИОФ РАН, Москва

## ОТ РЕДАКТОРА

С 1992 г. мы регулярно проводили в Санкт-Петербурге Школу-семинар-выставку «Лазеры для медицины и биологии». С 1994 г. у нас появилась и экологическая тематика. Материалы публиковались в отечественных журналах, отдельные доклады помещены в «Труды международного общества по оптической технике» (SPIE). География участников, включая и зарубежных, довольно обширна, тематика разрасталась, поэтому было принято решение с 2000 г. проводить конференцию «Лазеры для медицины, биологии и экологии». Круг рассматриваемых вопросов – это области, в которых лазеры дают несомненное преимущество, разработка лазеров для этих областей, применение лазеров в традиционных областях медицины, биологии и экологии. Важно понять причины эффективности применения лазеров в указанных отраслях науки и при решении прикладных задач. С 2007 г. тематика конференции ещё расширена, высокие технологии не ограничены лазерами, отражены вопросы техносферной безопасности и нанотехнологий. С 2007 г. Международная конференция «Высокие технологии в медицине, биологии и геоэкологии – 2007» проводится в Новороссийске. С 2014 г. конференция проводилась в Государственном Морском университете им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. В 2019 г. конференция снова проводилась на базе Новороссийского политехнического института (филиала) Кубанского государственного технологического университета. С 2021 – на базе Новороссийского филиала Белгородского государственного технологического университета имени В. Г. Шухова.

На конференции 2022 г. представлены 112 докладов по указанной тематике. Авторы докладов работают в различных научных учреждениях и университетах Санкт-Петербурга, Москвы, Троицка Московской области, Рязани, Ижевска, Самары, Волгограда, Уфы, Екатеринбургa, Томска, Новосибирска, Курска, Ростова-на-Дону, Краснодарa, Новороссийска, Минска (Беларусь), Бишкека (Кыргызстан), Харькова (Украина), Белграда (Сербия).

Последние годы на конференции несколько задач решались «мозговым штурмом». Результатами стали публикации в журналах.

По материалам наших конференций, прошедших в 2007–2008 г., изданы Вестники СПбО Академии инженерных наук им. А. М. Прохорова (№ 3–5). Материалы прежних конференций опубликованы в 8 томах Proceedings of SPIE. В 2009–2014 г. ежегодно публиковались 3–4 тома Трудов, издаваемых

издательством СПбГПУ. Ряд статей, одобренных Оргкомитетом, был опубликован в отечественных и зарубежных журналах. Нашей конференции посвящены отдельные выпуски Оптического журнала (выпуск №3-2015 и выпуск №5-2016), издаваемого в Санкт-Петербурге (перечень ВАК и SCOPUS). Материалы нашей конференции размещены также в выпуске №6 Оптического журнала за 2017 г. Статьи 2017 г. размещены в выпусках №4–9 Оптического журнала за 2018 г. В наших трудах перед оглавлением дана информация о журналах, осуществляющих информационную поддержку нашей конференции. Ряд статей 2008–2021 г. опубликованы в журнале «Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)».

С предложениями и за справками обращаться к профессору В. Е. Привалову в Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, (195251, Санкт-Петербург, СПбПУ, ул. Политехническая, 29), по электронной почте [vaevpriv@yandex.ru](mailto:vaevpriv@yandex.ru) и к профессору В. Г. Шеману в Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета (353919, Новороссийск, ул. Мыхакское шоссе, 75) по электронной почте [vshemanin@mail.ru](mailto:vshemanin@mail.ru).

#### FROM THE EDITOR

Since 1992, we have regularly held the School-seminar-exhibition "Lasers for Medicine and Biology" in St. Petersburg. Since 1994, we have also had an environmental theme. The materials were published in domestic journals, some reports were placed in the Proceedings of the International Society for Optical Engineering (SPIE). The geography of participants, including foreign ones, is quite extensive, the topics grew, so it was decided to hold the conference "Lasers for Medicine, Biology and Ecology" in 2000. The range of issues under consideration is the areas in which lasers provide an undoubted advantage, the development of lasers for these areas, the use of lasers in traditional fields of medicine, biology and ecology. It is important to understand the reasons for the effective use of lasers in these branches of science and in solving applied problems. Since 2007, the subject of the conference has been expanded, high technologies are not limited to lasers, the issues of technosphere safety and nanotechnologies are reflected. Since 2007, the International Conference "High Technologies in Medicine, Biology and Geocology - 2007" has been held in Novorossiysk. Since 2014, the conference has been held at the State Maritime University. Admiral F.F. Ushakov. In 2019, the

conference was again held at the Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) of the Kuban State Technological University. Since 2021 – on the basis of the Novorossiysk branch of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov.

At the conference in 2022, 112 reports on this topic were presented. The authors of the reports work in various scientific institutions and universities of St. Petersburg, Moscow, Troitsk, Moscow Region, Ryazan, Izhevsk, Samara, Volgograd, Ufa, Yekaterinburg, Tomsk, Novosibirsk, Kursk, Rostov-on-Don, Krasnodar, Novorossiysk, Minsk (Belarus), Bishkek (Kyrgyzstan), Kharkov (Ukraine), Belgrade (Serbia).

In recent years, at the conference, several problems were solved by “brainstorming”. The results were publications in journals.

Based on the materials of our conferences held in 2007–2008, Bulletins of the St. Petersburg Academy of Engineering Sciences. A. M. Prokhorova (No. 3–5). Proceedings of previous conferences are published in 8 volumes of Proceedings of SPIE. In 2009–2014, 3–4 volumes of Proceedings published by the SPbSPU publishing house were published annually. A number of articles selected by the Organizing Committee were published in domestic and foreign journals. Separate issues of the Optical Journal (issue No. 3–2015 and issue No. 5–2016) published in St. Petersburg (listed by VAK and SCOPUS) are devoted to our conference. The materials of our conference are also placed in issue No. 6 of the Optical Journal for 2017. Articles of 2017 are placed in issues No. 4–9 of the Optical Journal for 2018. In our works, before the table of contents, information is given about the journals providing information support for our conference. A number of articles from 2008–2021 were published in the journal Optical Memory & Neural Networks (Information Optics).

For suggestions and information, please contact Professor V. E. Privalov at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (195251, St. Petersburg, SPbPU, Politekhnicheskaya St., 29), by e-mail [vaevpriv@yandex.ru](mailto:vaevpriv@yandex.ru) and Professor V. G. Shemanin to the Novorossiysk branch of the Belgorod State Technological University (353919, Novorossiysk, Myskhakskoe highway st., 75) by e-mail [vshemanin@mail.ru](mailto:vshemanin@mail.ru).

УДК 52-626+535.361+340.624.411  
ГРНТИ 29.33.51  
ВАК 1.3.19

**Электродинамическая модель рассеяния лазерного излучения кластерами неоднородных биологических частиц в случае *in vitro*.**

\* Головицкий А. П., Концевая В. Г., Куликов К. Г.

*Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого*

*195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29*

email: alexandergolovitski@yahoo.com

С применением метода Т-матриц [1] проведен модельный расчет характеристик рассеянного лазерного излучения малой мощности биологическими частицами, имитирующими форменные элементы крови, а также их агрегатами (кластерами). Новым является учет неоднородной внутренней структуры частиц и эффектов многократного светорассеяния зондирующего лазерного излучения. Показана также возможность адекватного восстановления функции распределения частиц по размерам на основе данных эксперимента по рассеянию света кластерами биологических частиц *in vitro*.

На основе построенной математической модели разработано программное обеспечение, которое позволяет рассчитывать параметры рассеянного лазерного излучения агрегатами из слоистых частиц при многократном рассеянии, корректно восстанавливать распределения частиц по приведенным радиусам и при этом отслеживать изменения формы распределения этих частиц.

Обнаружено, что агрегация форменных элементов крови может существенным образом влиять на ее оптические характеристики, в особенности, на эффективность поглощения и рассеяния кровью слабого лазерного излучения. Установлена количественная связь оптических характеристик комплексов биочастиц с их биологическими свойствами, что принципиально важно и актуально для развития новых оптических методов, используемых в различных областях биологии и медицины, в том числе для изучения фотодинамической и фототермической деструкции клеток и тканей, для разработки новых методик чувствительного анализа крови, новых подходов в оптической когерентной томографии, эндомикроскопии и т. д.

### **Список литературы**

[1] P. C. Waterman. Numerical solution of electromagnetic scattering problems. In "Computer Techniques for Electromagnetics", Pergamon Press, 1973, pp. 97-157.

### **An electrodynamic simulation of laser radiation scattering by inhomogeneous biological particles *in vitro***

Golovitskii A. P., Kontsevaya V. G., Kulikov K. G.

*St.Petersburg Polytechnic University*

*195251, Russia, St.Petersburg, str. Polytechnicheskaya, 29*

The calculation of characteristics of weak laser radiation scattering by biological particles imitating blood corpuscles and their aggregations (clusters) as well, has been performed with the model using of T-matrix method [1]. The novelty of the present work is that the inhomogeneity of internal structure of particles and the effects of multiple scattering of probing laser radiation were taken into account. It is shown besides that it is possible to restore adequately the size distribution function of biological particles from the data of experiments on the laser radiation scattering by clusters of such particles *in vitro*.

Basing on the mentioned model the corresponding software has been developed which make it possible to compute the parameters of laser radiation scattered by clusters of layered particles through multiple scattering, to restore correctly the reduced radii distributions and - by the way - to monitor the changes in the shape of these distributions.

It is found that the aggregation of the blood corpuscles can significantly affect the optical characteristics of blood, especially the efficiency of absorption and scattering of weak laser radiation.

It has been also established the quantitative relation between optical characteristics of blood corpuscle aggregations and their biological properties, which is important in principle and topical for developing new optical methods for using in various branches of biology and medicine including photodynamic and photothermal destruction of cells and biological tissues, in designing of new sensitive methods of blood tests, new approaches in optical coherence tomography, endomicroscopy etc.

УДК 52-626+535.361+591.111.1

ГРНТИ 29.33.51

ВАК 1.3.19

***In vivo* определение характеристик рассеяния лазерного излучения клетками крови, а также функции распределения их по размерам**

Головицкий А. П., Концевая В. Г., Куликов К. Г.

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

*195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29*

email: alexandergolovitski@yahoo.com

В случае *in vivo* слабое (неразрушающее) лазерное излучение направляется прямо на поверхность кожи, под слоем которой, а также под слоями других биотканей (например, стенок кровеносного сосуда) находятся подлежащие анализу клетки крови. Составлена соответствующая математическая модель, впервые описывающая процесс распространения лазерного излучения в подобной сложной биологической системе, имеющей многослойную структуру и содержащей неоднородные рассеивающие частицы.

Получены аналитические выражения, позволяющие рассчитывать отраженное поле гауссова пучка в случае р-поляризации падающего излучения при произвольных углах падения и значениях показателя преломления поверхности. Модель впервые позволяет рассчитывать спектральные зависимости сечений поглощения, рассеяния и экстинкции [1] в изучаемой сложной системе, а также интенсивности рассеянного лазерного излучения, давая основу для качественного анализа биохимических процессов в 3D неоднородных средах.

Разбитая модель дает возможность корректно восстанавливать распределения форменных элементов крови по размерам с учетом их структурных особенностей и регистрировать изменения ширины распределения форменных элементов крови для случая *in vivo*.

Результаты теоретического анализа и предложенные методики могут быть использованы при разработке методов решения обратных задач в оптике рассеивающих систем и структур, содержащих макроскопические объемные неоднородности, при создании устройств для неинвазивной диагностики параметров биосистем в офтальмологии, гематологии и других областях биологии и медицины.

### **Список литературы**

[1] Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. Пер. сангл. М.: Мир, 1986. 664 с.

#### ***In vivo* evaluation of characteristics of laser radiation scattering by blood corpuscles and their size distribution function as well**

Golovitskii A. P., Kontsevaya V. G., Kulikov K. G.

*St.Petersburg Polytechnic University*

*195251, Russia, St.Petersburg, str. Polytechnicheskaya, 29*

In the case *in vivo* the weak (nondestructive) laser radiation should be directed towards the skin surface, under which and additionally under layers of other biological tissues (e.g. blood vessel walls) there are the blood corpuscles to be analyzed. The corresponding mathematical model has been developed which first describes the process of propagation of laser radiation through such complex biological system having multilayer structure and including the inhomogeneous scattering particles.

The analytical expressions have been derived which enable one to compute the reflected field of a gaussian beam in the case of p-polarization of the incident laser beam at arbitrary incident angle and surface refraction index as well.

Our model enables us to calculate the spectral dependences of cross sections of absorption, scattering and extinction [1] and the total intensity of scattered laser radiation in the complex system under study, which provides a basis for the qualitative analysis of biochemical processes in 3D inhomogeneous media.

The proposed model provides the opportunity to restore the size distribution of blood corpuscles taking into account their characteristic structure properties, and to monitor the changes in the shape of these distributions *in vivo*.

The results obtained from theoretical analysis and the proposed methods can be used in elaborating methods of solving inverse problem in the optics of scattering systems and structures containing macro 3D inhomogeneities, in designing equipment for noninvasive diagnostics of biological systems in ophthalmology, haematology and in other branches of medicine and biology.

УДК 543.424.2  
ГРНТИ 29.31.26+29.31.27  
ВАК 1.3.6

### **Применение метода спектроскопии комбинационного рассеяния для идентификации стафилококков с гемолитической активностью у пациентов с пародонтитом**

<sup>1\*</sup> Тимченко Е. В., <sup>1</sup> Тимченко П. Е., <sup>2</sup> Лямин А. В., <sup>2</sup> Бажутова И. В.,

<sup>2</sup> Трунин Д. А., <sup>2</sup> Фролов О. О., <sup>2</sup> Волова Л. Т., <sup>1</sup> Зотова А. В.

<sup>1</sup> Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева

443086, Россия, г. Самара, ул. Московское шоссе 34

<sup>2</sup> Самарский государственный медицинский университет,  
биотехнологический центр «БиоТех»

443079, Россия, г. Самара, ул. Гагарина 20

email: \* laser-optics.timchenko@mail.ru, zotova\_alena@bk.ru

В современном мире широкое распространение приобрели различные воспалительные заболевания ротовой полости. Они могут быть вызваны множеством факторов. Одним из возможных участников патологического процесса при заболеваниях полости рта могут быть бактерии, в частности, коагулазонегативные стафилококки с определенным фактором патогенности, которые на протяжении последнего столетия являются наиболее значимыми оппортунистическими патогенами в медицинской практике [1]. Ранее уже проводились исследования, посвященные исследованиям стафилококков спектральными методами [2]. Однако, несмотря на наличие существенного количества факторов патогенности, к которым можно отнести гемолитическую активность, роль данного микроорганизма в патологии органов полости рта все еще остается слабоизученной. [3]

Целью работы являлось применение метода спектроскопии комбинационного рассеяния для идентификации штаммов эпидермального стафилококка с гемолитической активностью.

В качестве объектов исследований было использовано 12 штаммов *Staphylococcus epidermidis*, выделенных из клинического материала от людей больных хроническим пародонтитом. Идентификацию всех выделенных штаммов проводили с использованием метода MALDI-ToF масс-спектрометрии на приборе MicroflexLT (Bruker) с использованием стандартного метода пробоподготовки и библиотек масс-спектров. Дополнительно у всех изолятов

определяли гемолитическую активность, при этом 50% штаммов обладали выраженной гемолитической активностью, выявленной при повесе в аэробных условиях на 5% кровяном агаре с бараньей кровью. Из суточных культур штаммов стафилококка для постановки эксперимента получали инокулюм 1,0 по МакФарланду в физиологическом растворе, что соответствовало  $3 \times 10^8$  КОЕ/мл. В роли отрицательного контроля использовали неинокулированный физиологический раствор.

В качестве основного метода исследования штаммов эпидермального стафилококка с гемолитической активностью был применен метод спектроскопии КР, подробно описанный в работе [4]. Все эксперименты проводились при мощности лазера 350 мВт и времени экспозиции 60 сек. Последующая обработка спектров КР осуществлялась в программе Mathematica, на основе ресурса «Ramantool v.1.0.175» и дискриминантного анализа.

В результате проведенных исследований с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния и детальной математической обработки спектров КР были найдены отличия штаммов эпидермального стафилококка с гемолитической активностью и без гемолитической активности, которые наблюдаются на линии КР  $\sim 1650 \text{ см}^{-1}$  (Amidelvibration (collagenlikeproteins)).

В дальнейшем, полученные результаты могут быть использованы в качестве экспресс-оценки маркеров патогенности стафилококка и других условно-патогенных микроорганизмов.

### **Список литературы**

1. А. Ю. Пестов, А. В. Панченко Колонизация полости рта стафилококками при пародонтите // Вестник ВолгГМУ, 2011 Выпуск 4 (40). стр. 62–65.
2. Evelin Witkowska, Anna M. Lasica, Krzysztof Nicinski, Jan Potempa and Agnieszka Kaminska. In Search of Spectroscopic Signatures of Periodontitis: ASERS-Based Magneto microfluidic Sensor for Detection of Porphyromonas gingivalis and Aggregatibacter actinomycetemcomitans // ACS Sens. 2021, 6, 1621–1635.
3. Белобородов В. Б., Митрохин С. Д. // Инфекции и антимикробная терапия. 2003. Т. 5. № 1. С. 4–12.
4. P. E. Timchenko, E. V. Timchenko, L. T. Volova, M. A. Zybin, O. O. Frolov, and G. G. Dolgushov Optical Assessment of Dentin Materials // Optical Memory and Neural Networks, 2020, Vol. 29, No. 4, pp. 354–357.

### **The use of Raman spectroscopy for the identification of staphylococci with hemolytic activity in patients with periodontitis**

<sup>1</sup> Timchenko E. V., <sup>1</sup> Timchenko P. E., <sup>1</sup> Lyamin A. V.,  
<sup>2</sup> Bazhutova I. V., <sup>2</sup> Trunin D. A., <sup>2</sup> Frolov O. O., <sup>2</sup> Volova L. T.,  
<sup>1</sup> Zotova A. V.

<sup>1</sup> *Samara National Research University named after N. N. Academician S. P. Koroleva, 443086, Russia, Samara, st. Moscow highway 34*

<sup>2</sup> *Samara State Medical University, Biotechnological Center "BioTech", 443079, Russia, Samara, str. Gagarin 20*

In the modern world, various inflammatory diseases of the oral cavity have become widespread. They can be caused by many factors. One of the possible participants in the pathological process in diseases of the oral cavity can be bacteria, in particular, coagulase-negative staphylococci with a certain pathogenicity factor, which over the past century have been the most significant opportunistic pathogens in medical practice [1]. Previous studies have already been conducted on the study of staphylococci by spectral methods [2]. However, despite the presence of a significant number of pathogenicity factors, which include hemolytic activity, the role of this microorganism in the pathology of the oral cavity organs is still poorly understood. [3]

The aim of the work was to use the method of Raman spectroscopy to identify strains of epidermal staphylococcus with hemolytic activity.

As objects of research, 12 strains of *Staphylococcus epidermidis* isolated from clinical material from people with chronic periodontitis were used. All isolated strains were identified using MALDI-ToF mass spectrometry on a MicroflexLT instrument (Bruker) using a standard sample preparation method and mass spectrum libraries. Additionally, hemolytic activity was determined in all isolates, while 50% of the strains had a pronounced hemolytic activity, which was detected by hanging under aerobic conditions on 5% blood agar with sheep's blood. From daily cultures of staphylococcus strains for setting up the experiment, an inoculum of 1.0 according to McFarland in saline was obtained, which corresponded to  $3 \times 10^8$  CFU/ml. Non-inoculated saline was used as a negative control.

Raman spectroscopy, described in detail in [4], was used as the main method for studying strains of epidermal staphylococcus with hemolytic activity. All experiments were carried out at a laser power of 350 mW and an exposure time of 60 s. The subsequent

processing of the Raman spectra was carried out in the Mathematica program, based on the Ramantool v.1.0.175 resource and discriminant analysis.

As a result of the studies using the Raman spectroscopy method and detailed mathematical processing of the Raman spectra, differences were found between strains of epidermal staphylococcus with hemolytic activity and without hemolytic activity, which are observed on the Raman line  $\sim 1650 \text{ cm}^{-1}$  (Amidelvibration (collagenlike proteins)).

In the future, the results obtained can be used as a rapid assessment of pathogenicity markers of staphylococcus and other opportunistic microorganisms.

УДК 543.424.2  
ГРНТИ 29.31.26+29.31.27  
ВАК 1.3.6

### **Оптические методы исследования состава гидрогелей коллагена на основе тканей человека для 3D-биопринтинга и регенеративной медицины**

<sup>1</sup>Тимченко П. Е., <sup>1</sup>Тимченко Е. В., <sup>2</sup>Рябов Н., <sup>1</sup>Фролов О. О.,  
<sup>2</sup>Волова Л. Т., <sup>1</sup>Иванов С. С.

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет  
им. академика С. П. Королева  
443086, Россия, г. Самара, ул. Московское шоссе 34

<sup>2</sup>Самарский государственный медицинский университет,  
биотехнологический центр «БиоТех»  
443079, Россия, г. Самара, ул. Гагарина 20

email: laser-optics.timchenko@mail.ru, koditek00@yandex.ru,  
timpavel@mail.ru, Frolovaleh@gmail.com, volovalt@yandex.ru,  
frolovaleh@gmail.com, n.a.rjabov@samsmu.ru

На сегодняшний день во всем мире отмечается тенденция увеличения числа пациентов, сталкивающихся с проблемой восстановления костной и хрящевой ткани. На современном этапе развития регенеративной медицины актуальным направлением является 3D-биопринтинг или биопечать тканей с использованием гидрогелей (основного компонента биочернил, применяемых для имитации и формирования внеклеточного матрикса тканей), полученных на основе аллогенного материала в комбинации с клетками самого пациента. [1,2]. Оптические методы широко используются в различных областях [3-5] и могут быть применены для оценки состава гидрогелей.

Целью данной работы является оценка качественного состава аллогенного коллагена, полученного из деминерализованной костной ткани с помощью оптических методов исследования.

В качестве объектов исследований были взяты образцы гидрогелей коллагена, выделенного из деминерализованной губчатой костной ткани соединительных и опорных тканей человека. Был получен гидрогель на основе коллагена аллогенного происхождения. В сравнительном аспекте проводился анализ исходного материала – минерализованной костной ткани с последующей деминерализацией и выделением из нее коллагена.

В качестве основных методов исследований были использованы ИК-Фурье-спектроскопия и метод спектроскопии комбинационного

рассеяния. Метод спектроскопии комбинационного рассеяния был реализован с помощью экспериментального стенда, подробно описанного в работе [4]. Последующая обработка полученных спектров КР была выполнена в программе Mathematica, на основе ресурса «Raman tool v.1.0.175».

В результате проведенных экспериментов было установлено, что в исследуемых образцах гидрогелей коллагена отсутствуют линии  $956\text{ см}^{-1}$  ( $\text{PO}_4^{3-}$  ( $\nu_1$ ) (P-O symmetric stretch)) и  $1065\text{ см}^{-1}$  ( $\text{CO}_3^{2-}$  ( $\nu_1$ ) замещение В-типа, C-O плоскостное валентное), которые характерны для минерального костного компонента. При этом полосы амидных групп, присутствующих в коллагене сохраняются  $1200\text{--}1300\text{ см}^{-1}$  (Amidell-Due to C-N stretching and N-H bending),  $1539\text{--}1585\text{ см}^{-1}$  Amidell (Parallel / Antiparallel  $\beta$ -sheet structure) и  $1633\text{--}1700\text{ см}^{-1}$  Amidell vibration (collagenlike proteins).

При помощи второго подтверждающего метода ИК-спектроскопии установлено, что в исследуемых образцах имеются линии чистого коллагена -  $1650,97$ ,  $1554,54$  и  $1242,09\text{ см}^{-1}$ , которые характерны для амида I, II и III (коллагена). Основной пик амида III наблюдается при  $1242,09\text{ см}^{-1}$ , а также на линиях  $1203,51$  и  $1282,59\text{ см}^{-1}$ . В коллагене -ОН группы гидроксипролина участвуют в водородных связях между цепями, широкая вершина пика на  $3000\text{--}3500\text{ см}^{-1}$  соответствует связанному -ОН. Для пролина и гидроксипролина характерны линии  $877\text{ см}^{-1}$ , что также подтверждается литературными данными [5]. Таким образом, с помощью оптических методов был проанализирован гидрогель аллогенного коллагена, полученного из деминерализованной костной ткани и подтверждена его структура. Исходя из полученных спектральных характеристик, можно говорить о полном удалении минерального компонента костной ткани из исследуемых образцов. В дальнейшем, исследуемый в работе аллогенный коллагеновый гидрогель будет использоваться для формирования органического матрикса опорных тканей (костной и хрящевой) в направлении 3D-биопринтинга.

### Список литературы

1. Biopolymer Material from Human Spongiosa for Regenerative Medicine Application / Ilya L. Tsiklin, Evgeniy I. Pugachev, Alexandr V. Kolsanov, Elena V. Timchenko, Violetta V. Boltovskaya, Pavel E. Timchenko and Larisa T. Volova // Polymers 2022, 14(5), 941; <https://doi.org/10.3390/polym14050941>
2. Особенности репарации аллогенных орбитальных биоимплантатов / Е. С. Милюдин, Л. М. Цурова, Г. А. Николаева [и

др.] // Медицинский вестник Башкортостана. 2017. Т. 12, № 2(68). С. 113-116. EDN YTPXNF.

3. Privalov V.E., Shemanin V.G. Remote Sensing of Hydrogen Sulphide Molecules in the Atmosphere by a Raman Lidar from Space. *Optics and Spectroscopy*. 2017. V.123. No. 6. P. 950-954.

4. Timchenko E.V., Timchenko P.E., Pisareva E.V., Daniel M.A., Volova L.T., A.A. Fedotov, O.O. Frolov, Subatovich A.N. Optical analysis of bone tissue by Raman spectroscopy in experimental osteoporosis and its correction using allogeneic hydroxyapatite // *Journal of Optical Technology*, 2020. 87(3) с. 161-167.

5. Jackson, M., Choo, L.-P., Watson, P. H., Halliday, W. C., & Mantsch, H. H. (1995). Beware of connective tissue proteins: Assignment and implications of collagen absorptions in infrared spectra of human tissues. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular Basis of Disease*, 1270(1), 1-6. doi:10.1016/0925-4439(94)00056-v.

### **Optical methods for studying the composition of collagen hydrogels based on human tissues for 3D bioprinting and regenerative medicine**

<sup>1</sup>Timchenko P. E., <sup>1</sup>Timchenko E. V., <sup>2</sup>Ryabov N., <sup>1</sup>Frolov O. O.,

<sup>2</sup>Volova L. T., <sup>1</sup>Ivanov S. S.

<sup>1</sup>Samara National Research University named after N.N. Academician S.P. Koroleva, 443086, Russia, Samara, str. Moscow highway 34

<sup>2</sup>Samara State Medical University, Biotechnological Center "BioTech", 443079, Russia, Samara, str. Gagarin20

To date, there has been a worldwide trend towards an increase in the number of patients facing the problem of restoring bone and cartilage tissue. At the present stage of development of regenerative medicine, 3D bioprinting or bioprinting of tissues using hydrogels (the main component of bioink used to simulate and form the extracellular matrix of tissues) obtained on the basis of allogeneic material in combination with the cells of the patient himself is an actual direction. [1, 2]. Optical methods are widely used in various fields [3-5] and can be used to assess the composition of hydrogels.

The purpose of this work is to evaluate the qualitative composition of allogeneic collagen obtained from demineralized bone tissue using optical methods of research.

The samples of collagen hydrogels isolated from demineralized spongy bone tissue of human connective and supporting tissues were taken as objects of research. A hydrogel based on collagen of allogeneic origin was obtained. In a comparative aspect, the initial

material was analyzed - mineralized bone tissue, followed by demineralization and the release of collagen from it.

IR-Fourier spectroscopy and Raman spectroscopy were used as the main research methods. The Raman spectroscopy method was implemented using an experimental bench described in detail in [4]. Subsequent processing of the obtained Raman spectra was performed in the Mathematica program, based on the Raman tool v.10.175 resource.

As a result of the experiments, it was found that in the studied samples of collagen hydrogels there are no lines  $956\text{ cm}^{-1}$  (PO43-(v1) (P-O symmetric stretch)) and  $1065\text{ cm}^{-1}$  (CO32-(v1) B-type substitution, C-O planar valence), which are characteristic of the mineral bone component. At the same time, the bands of amide groups present in collagen are preserved at  $1200\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$  (AmidIII-Due to C-N stretching and N-H bending),  $1539\text{--}1585\text{ cm}^{-1}$  Amidell (Parallel / Antiparallel  $\beta$ -sheet structure) and  $1633\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$  Amidelvibration (collagenlikeproteins).

Using the second confirmatory method of IR spectroscopy, it was found that in the studied samples there are lines of pure collagen -  $1650.97$ ,  $1554.54$  and  $1242.09\text{ cm}^{-1}$ , which are characteristic of amide I, II and III (collagen). The main peak of amide III is observed at  $1242.09\text{ cm}^{-1}$ , as well as on the lines  $1203.51$  and  $1282.59\text{ cm}^{-1}$ . In collagen  $\square\text{OH}$  groups of hydroxyproline are involved in hydrogen bonds between the chains, the broad top of the peak at  $3000\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$  corresponds to bound  $\text{-OH}$ . Proline and hydroxyproline are characterized by lines at  $877\text{ cm}^{-1}$ , which is also confirmed by the literature data [5]. Thus, using optical methods, the hydrogel of allogeneic collagen obtained from demineralized bone tissue was analyzed and its structure was confirmed. Based on the obtained spectral characteristics, we can talk about the complete removal of the mineral component of the bone tissue from the studied samples. In the future, the allogeneic collagen hydrogel studied in the work will be used to form an organic matrix of supporting tissues (bone and cartilage) in the direction of 3D bioprinting.

УДК 543.424.2  
ГРНТИ 29.31.26+29.31.27  
ВАК 1.3.6

**Хеометрический анализ спектральных изменений  
поверхности титановых имплантатов, покрытых  
гидроксиапатитом в доклинических испытаниях у животных**

<sup>1</sup>Тимченко Е. В., <sup>1</sup>Тимченко П. Е., <sup>2</sup>Долгушкин Д. А.,  
<sup>1</sup>Фролов О. О., <sup>2</sup>Николаенко А. Н., <sup>2</sup>Волова Л. Т., <sup>2</sup>Иванов В. В.,  
<sup>1</sup>Ионов А. Ю., <sup>1</sup>Самигуллин Р. Т.

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет  
им. академика С. П. Королева

443086, Россия, г. Самара, ул. Московское шоссе 34

<sup>2</sup>Самарский государственный медицинский университет,  
биотехнологический центр «БиоТех»

443079, Россия, г. Самара, ул. Гагарина20

email: \*laser-optics.timchenko@mail.ru, timpavel@mail.ru,  
dodipesa@yandex.ru, Frolovaleh@gmail.com, nikolaenko.83@inbox.ru,  
volovalt@yandex.ru, viktor\_travm@bk.ru, artem.ionov.95@mail.ru,  
samigullin.ravil2015@yandex.ru

Возможность создания новых типов имплантов в медицине, обуславливает необходимость поиска новых методов их исследования и подтверждения эффективности при выполнении доклинических испытаний. Представляет интерес исследование имплантов с биоактивными покрытиями, которые подвергаются резорбции после выполнения своей биологической, лечебной функции. Оценка скорости резорбции таких покрытий в макроорганизме является важной задачей. Так как покрытия должны выполнять свою роль определенное время и способствовать стимуляции и естественному течению физиологических процессов в организме. В разных областях регенеративной хирургии в настоящее время разрабатывают импланты с покрытиями антибактериальными препаратами [1, 2].

Для оценки таких имплантатов могут быть применены оптические методы [3, 4], а также математические методы обработки оптических сигналов. Так одним из распространенных оптических методов, применяемых в биомедицинских задачах, является метод спектроскопии комбинационного рассеяния (СКР) [4]. Существующие методы статистического анализа включают в себя регрессионные, корреляционные и дисперсионные методы анализа обработки оптических сигналов. Однако,

регрессионный метод анализа, в отличие от последних двух, позволяет более точно установить функциональную зависимость между переменными [5].

Целью работы являлось проведение хемометрического анализа спектральных изменений поверхности титановых имплантатов, покрытых гидроксиапатитом в доклинических испытаниях у животных

Материалами исследования являлись образцы имплантов на основе титана ВТ6, изготовленные по технологии селективного лазерного спекания – с 200 микронным покрытием гидроксиапатитом кальция (ГАП) и образцы с аналогичным покрытием, на которое дополнительно была нанесена пленка, содержащая антибактериальный препарат. Все образцы были простерилизованы стандартными методами, применяемыми в медицинских клиниках. Образцы в экспериментальном исследовании у животных помещали в кость лопатки крысам и в динамике оценивали их влияние на организм животных. Крыс выводили из эксперимента через одну неделю, один месяц после имплантации образцов. Импланты извлекали, осторожно промывая их физиологическим раствором, отправляли в лабораторию для выполнения СКР их поверхности. Аналогичное исследование выполняли до имплантации образцов.

Исследования проводились с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния, который был реализован с помощью стэнда, включающего в себя полупроводниковый лазер (LML-785.0RB-04), оптический модуль комбинационного рассеяния (PBL 785), спектрограф (Sharmrock SR-303i) с интегрированной цифровой камерой (ANDOR DV-420A-OE), охлаждаемой до  $-60^{\circ}\text{C}$ , и компьютер.

Для повышения информативности полученных спектров комбинационного рассеяния был произведен нелинейный регрессионный анализ спектров, состоящий в их разложении на спектральные линии. Полная область спектра  $380\text{--}1780\text{ см}^{-1}$  была поделена для анализа на четыре спектральных контура: 1 –  $380\text{--}508$  ( $\text{adjR}^2 = 0,9999$ ), 2 –  $508\text{--}1136$  ( $\text{adjR}^2 = 0,9978$ ), 3 –  $1136\text{--}1491$  ( $\text{adjR}^2 = 0,9998$ ), 4 –  $1491\text{--}1781\text{ см}^{-1}$  ( $\text{adjR}^2 = 0,9998$ ).

Проведённый детальный анализ линий комбинационного рассеяния с помощью деконволюции функции Гаусса и хемометрический анализ с использованием методов классификации методом логистической регрессии и статистического анализа (LDA) исследуемых образцов титана с различными покрытиями показал, что по истечению одного месяца после имплантации животным

образцов имплантатов с комбинированным покрытием происходят спектральные изменения, обусловленные растворением пленки с антибиотиком. Установлено, что после 1 недели срока изменяются значения относительной интенсивности линий КР  $\sim 1260$  (AmideIII-Due to C-N stretching and N-H bending),  $\sim 1416$  (CH deformation),  $\sim 1665$  (AmideI vibration) и  $1748 \text{ см}^{-1}$  ( $\nu(\text{C=O ester group})$ , phospholipids (Lipid assignment)) Полученные результаты могут свидетельствовать о том, что метод спектроскопии комбинационного рассеяния может быть применён в динамике для оценки времени резорбции биологических покрытий имплантов.

### Список литературы

1. AbouAitahK. etal. Drug-Releasing Antibacterial Coating Made from Nano-Hydroxyapatite Using the Sonocoating Method //Nanomaterials. 2021. Vol. 11(7). P. 1690.
2. Nichol T. et al. The antimicrobial activity and biocompatibility of a controlled gentamicin-releasing single-layer sol-gel coating on hydroxyapatite-coated titanium //The Bone & Joint Journal. 2021. Vol. 103(3). P. 522-529.
3. Privalov V.E., Shemanin V.G. Remote Sensing of Hydrogen Sulphide Molecules in the Atmosphere by a Raman Lidar from Space. Optics and Spectroscopy. 2017. V.123. No. 6. P. 950-954
4. Gatin E. et al. Raman spectroscopy: Application in periodontal and oral regenerative surgery for bone evaluation //IRBM. 2019. Vol. 40(5). P. 279-285.
5. Калаев В. Н. и др. Регрессионный анализ в биологических исследованиях // Системный анализ и управление в биомедицинских системах.2007. Т. 6, №. 3. С. 755-759.

### **Chemometric analysis of spectral changes in the surface of titanium implants coated with hydroxyapatite in preclinical trials in animals**

<sup>1</sup> Timchenko E.V., <sup>1</sup> Timchenko P.E., <sup>2</sup> Dolgushkin D.A.,  
<sup>1</sup> Frolov O.D., <sup>2</sup> Nikolayenko A.N., <sup>2</sup> Volova L.T., <sup>2</sup> Ivanov V.V.,  
<sup>1</sup> Ionov A.Y., <sup>1</sup> Samigullin R.T.

<sup>1</sup>Samara National Research University named after  
Academician S.P. Korolev, 443086, Russia, Samara, Moskovskoe  
Shosse Str 34

<sup>2</sup> Samara State Medical University, Biotechnology Center  
"Biotech", 443079, Russia, Samara, Gagarina str. 20

The possibility of creating new types of implants in medicine necessitates the search for new methods of their research and confirmation of their effectiveness in preclinical tests. It is of interest to study implants with bioactive coatings, which undergo resorption after performing their biological, therapeutic function. Assessing the resorption rate of such coatings in the macroorganism is an important task. Since the coatings should fulfill their role for a certain time and contribute to the stimulation and natural course of physiological processes in the body. Implants coated with antibacterial drugs are currently being developed in different fields of regenerative surgery [1, 2].

Optical methods as well as mathematical methods of optical signal processing can be used to evaluate such implants [3]. Thus, one of the common optical methods used in biomedical tasks is Raman spectroscopy (RS) [4]. Existing statistical analysis methods include regression, correlation, and variance methods for analyzing optical signal processing. However, the regression method of analysis, unlike the latter two, allows us to establish the functional dependence between the variables more accurately [5].

The aim of the work was to carry out the chemometric analysis of the spectral changes of titanium implants surface, coated with hydroxyapatite in preclinical tests in animals.

Materials of the study were the samples of the implants based on titanium VT6, manufactured using selective laser sintering technology – with 200 micrometers calcium hydroxyapatite (HAP) coating and samples with the same coating, on which the film containing antimicrobial agent was additionally applied. All specimens were sterilized using standard methods used in medical clinics. Samples in the experimental study in animals were placed in the scapula bone of rats and their effect on the animal body was evaluated in the dynamics. Rats were removed from the experiment 1 week, 1 month after implantation of the samples. The implants were extracted, carefully washed with physiological solution, and sent to the laboratory to perform RS of their surface. A similar study was performed before implantation of the specimens.

The studies were carried out using Raman spectroscopy, which was implemented using a bench including a semiconductor laser (LML-785.0RB-04), an optical Raman module (PBL 785), a spectrograph (Sharmrock SR-303i) with an integrated digital camera (ANDOR DV-420A-OE) cooled to  $-60^{\circ}\text{C}$ , and a computer.

To increase the information content of the obtained Raman spectra, a non-linear regression analysis of the spectra was performed,

consisting in their decomposition into spectral lines. The full spectral region 380–1780  $\text{cm}^{-1}$  was divided for the analysis into 4 spectral contours: 1 – 380...508 (adjR2 = 0.9999), 2 – 508...1136 (adjR2 = 0.9978), 3 – 1136...1491 (adjR2 = 0.9998), 4 – 1491...1781  $\text{cm}^{-1}$  (adjR2 = 0.9998).

A detailed analysis of the Raman lines using Gaussian function deconvolution and chemometric analysis using the methods of classification by the method of logistic regression and statistical analysis (LDA) of examined samples of titanium with different coatings showed that after 1 month after implantation in animals samples of implants with combined coating undergo spectral changes caused by the dissolution of the film with antibiotic. It was found that after 1 week the relative intensities of RS lines ~1260 (Amidell–Due to C–N stretching and N–H bending), ~1416 (CH deformation), ~1665 (Amidel vibration) and 1748  $\text{cm}^{-1}$  ( $\nu(\text{C}=\text{O}$  ester group) change, phospholipids (Lipid assignment). The results obtained may indicate that the Raman spectroscopy method can be applied dynamically to estimate the resorption time of biological implant coatings.

УДК 543.424.2  
ГРНТИ 29.31.26+29.31.27  
ВАК 1.3.6

**Исследование динамики оптических свойств эмали и ротовой жидкости зубов пациентов после процедуры офисного отбеливания**

<sup>1</sup> Тимченко Е. В., <sup>1</sup> Тимченко П. Е., <sup>1</sup> Фролов О. О., <sup>2</sup> Волоба Л. Т.,  
<sup>2</sup> Магзумова О. А., <sup>1</sup> Козлова Т. В., <sup>2</sup> Полканова В. А.,  
<sup>2</sup> Джалилова Н. В.

<sup>1</sup> Самарский национальный исследовательский университет им.  
академика С. П. Королева

443086, Россия, г. Самара, ул. Московское шоссе 34

<sup>2</sup> Самарский государственный медицинский университет,  
биотехнологический центр «БиоТех»

443079, Россия, г. Самара, ул. Гагарина 20

email: \* [laser-optics.timchenko@mail.ru](mailto:laser-optics.timchenko@mail.ru), [timpavel@mail.ru](mailto:timpavel@mail.ru),

[Frolovalch@gmail.com](mailto:Frolovalch@gmail.com), [volovalt@yandex.ru](mailto:volovalt@yandex.ru), [tvknnt@yandex.ru](mailto:tvknnt@yandex.ru)

В стоматологической практике процедура отбеливания зубов достаточно распространена. Она решает проблему изменённых в цвете зубов. В настоящее время все большее количество людей обращаются в стоматологические клиники для проведения процедуры отбеливания, так как важен эстетический вид зубов, но данная процедура также может неблагоприятно сказаться на здоровье зубов. Процедура сопровождается изменением минерального, органического состава твёрдых тканей и ротовой жидкости, что в последующем приводит к повышенной чувствительности зубов [1, 2].

Оптические методы исследования широко используются в различных задачах [3]. Среди них широкое распространение в решении медицинских задач нашёл метод спектроскопии комбинационного рассеяния.

В исследованиях динамики оптических свойств зубов и ротовой жидкости после процедуры офисного отбеливания приняли участие пациенты в возрасте от 18 до 32 лет. Была исследована эмаль зубов пациентов *in vivo*, а также ротовая жидкость. Ротовую жидкость собирали утром, в стерильные пробирки с дальнейшей заморозкой при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ . Разморозку пробирок осуществляли в течение 10 часов при температуре  $+3^{\circ}\text{C}$ .

В качестве метода исследований был выбран метод спектроскопии комбинационного отбеливания, реализуемый с

помощью экспериментального стенда, подробно описанного в работе [4]. В программной среде MagicPlotPro 2.7.2. было проведено разделение спектров комбинационного рассеяния на составляющие линии, описываемые функцией Гаусса, что повышает информативность спектров КР [5]. Далее была использована программа SPSS Statistics 19 для анализа обработанных спектров. В результате проведённых исследований выявлены спектральные изменения в составе ротовой жидкости после процедуры офисного отбеливания: на линиях  $1740\text{ см}^{-1}$  (phospholipids),  $1426\text{ см}^{-1}$  ( $\text{CH}_2$  scissoring vibration (lipidband)),  $1570\text{ см}^{-1}$  ( $\text{COO}^-$ ),  $876\text{ см}^{-1}$  (hydroxyproline), связанные с изменением липидно-органического состава.

Спектральные изменения эмали зубов пациентов после процедуры офисного отбеливания проявляются на линиях КР  $956\text{ см}^{-1}$  ( $\text{PO}_4^{3-}(\nu_1)$  (P-Osymmetricstretch)),  $1000\text{ см}^{-1}$  и  $1030\text{ см}^{-1}$  (phenylalanine),  $852\text{ см}^{-1}$  (proline),  $877\text{ см}^{-1}$  (hydroxyproline),  $1152\text{ см}^{-1}$  (proline) и связаны с уменьшением органических компонентов зубов по отношению к минеральным составу, что обусловлено окислением коллагеновой матрицы в процессе отбеливания зубов.

### Список литературы

1. Магсумова О.А., Ткач Т.М., Постников М.А., Рыскина Е.А., Корчагина М.С., Дудина С.Е., Полканова В.А., Однолеткова И.И. Этиопатогенетические аспекты возникновения дисколорита зубов. – Клиническая стоматология. 2021; 1(97):22–29.
2. О.А. Магсумова, Е.А. Рыскина, М. А. Постников, Т.М. Ткач, В.А. Полканова Изменение чувствительности твердых тканей зубов после проведения процедуры офисного отбеливания зубов // Институт стоматологии – 2020 – №3(88) – С.62–63.
3. Privalov Vadim E., Shemanin Valery G. Hydrogen and Iodine Molecules Lidar Monitoring in Atmosphere // Proceedings of SPIE. 3rd International Workshop on Nondestructive Testing and Computer Simulation in Sciences and Engineering. 2000. pp.2–11.
4. E. V. Timchenko, P. E. Timchenko, E. V. Pisareva, M. Yu. Vlasov, L. T. Volova, O. O. Frolov, Ya. V. Fedorova, G. P. Tikhomirova, D. A. Romanova, and M. A. Daniel Spectral Analysis of Rat Bone Tissue During Long Antiorthostatic Hanging and at Introduction of Allogen Hydroxyarthritis // Optics and Spectroscopy, 2020, Vol. 128, No. 7, pp. 989–997.
5. Timchenko E.V., Timchenko P.E., Pisareva E.V., Daniel M.A., Volova L.T., A.A. Fedotov, O.O. Frolov, Subatovich A.N. Optical analysis of bone tissue by Raman spectroscopy in experimental osteoporosis

and its correction using allogeneic hydroxyapatite // Journal of Optical Technology, 2020 87(3) с. 161-167.

### **Study of the dynamics of the optical properties of the enamel and oral fluid of the teeth of patients after the office whitening procedure**

<sup>1\*</sup> Timchenko E. V., <sup>1</sup>Timchenko P. E., <sup>1</sup>Frolov O. O., <sup>2</sup>Volova L. T.,  
<sup>2</sup> Magsumova O. A., <sup>1</sup>Kozlova T. V., <sup>2</sup>Polkanova V. A.,  
<sup>2</sup> Dzhililova N. V.

<sup>1</sup> *Samara National Research University named after N.N. Academician S. P. Koroleva, 443086, Russia, Samara, st. Moscow highway 34*

<sup>2</sup> *Samara State Medical University, Biotechnological Center "BioTech", 443079, Russia, Samara, str. Gagarin 20*

In dental practice, the procedure for teeth whitening is quite common. It solves the problem of discolored teeth. Nowadays, more and more people turn to dental clinics for whitening procedures, since the aesthetic appearance of the teeth is important, but this procedure can also adversely affect the health of the teeth. The procedure is accompanied by a change in the mineral, organic composition of hard tissues and oral fluid, which subsequently leads to increased sensitivity of the teeth [1, 2].

Optical research methods are widely used in various problems [3]. Among them, the method of Raman spectroscopy has found wide application in solving medical problems.

Patients aged 18 to 32 years old took part in studies of the dynamics of the optical properties of teeth and oral fluid after the office whitening procedure. The enamel of the teeth of patients in vivo was examined, as well as the oral fluid. The oral fluid was collected in the morning, in sterile test tubes with further freezing at  $-20^{\circ}\text{C}$ . The test tubes were thawed for 10 hours at a temperature of  $+3^{\circ}\text{C}$ .

Raman bleaching spectroscopy was chosen as a research method, which is implemented using an experimental stand, described in detail in [4].

In the software environment MagicPlotPro 2.7.2. The Raman spectra were separated into component lines described by the Gaussian function, which increases the information content of the Raman spectra [5]. Next, the SPSS Statistics 19 program was used to analyze the processed spectra.

As a result of the studies, spectral changes in the composition of the oral fluid after the office bleaching procedure were revealed:

on the lines  $1740\text{ cm}^{-1}$  (phospholipids),  $1426\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{CH}_2$  scissoring vibration (lipidband)),  $1570\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{COO}^-$ ),  $876\text{ cm}^{-1}$  (hydroxyproline) associated with changes in lipid-organic composition.

Spectral changes in the enamel of patients' teeth after the office whitening procedure appear on the Raman lines  $956\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{PO}_4^{3-}$ )( $\nu_1$ ) (P-O symmetric stretch)),  $1000\text{ cm}^{-1}$  and  $1030\text{ cm}^{-1}$  (phenylalanine),  $852\text{ cm}^{-1}$  (proline),  $877\text{ cm}^{-1}$  (hydroxyproline),  $1152\text{ cm}^{-1}$  (proline) and are associated with a decrease in the organic components of the teeth in relation to the mineral composition, which is due to the oxidation of the collagen matrix in the process of teeth whitening.

УДК 54.1.182.3  
ГРНТИ 29.00.00  
ВАК 1.3.19

### **Воздействие лазерного излучения на пористые мишени из прозрачных материалов**

Осипов В. В., Платонов В. В., Лисенков В. В., Тихонов Е. В.  
*Институт электрофизики Уральского отделения РАН,  
620016, Россия, г. Екатеринбург, ул. Амундсена 106.  
e-mail: osipov@iep.uran.ru*

В работе сообщается о ряде физических явлений, обнаруженных при воздействии лазерного излучения на пористые прозрачные материалы. С использованием уравнения Гельмгольца рассмотрено прохождение излучения через слой прессованных частиц микронного размера. Показано, что при распространении излучения с интенсивностью ниже порога повреждения вещества мишени, образование лазерного факела может быть обусловлено интерференцией падающего, преломленного и рассеянного излучений. По этой причине интенсивность в некоторых локальных областях в десятки раз превышает интенсивность падающего излучения, что обеспечивает развитие оптического пробоя по одному из известных механизмов. Установлено, что интенсивность излучения в таких локальных максимумах зависит от показателя преломления, размера частиц и длины волны излучения. Более того, расчеты, выполненные для  $\text{ZnSe}$ , показали что усилению подвергается только часть падающего излучения. Кроме того найдено, что интенсивность излучения в локальных максимумах нарастает с увеличением показателя преломления. Действительно, результаты экспериментов показали, что время запаздывания появления лазерного факела уменьшается на три порядка при увеличении показателя преломления от 1,4 до 1,75. В ходе экспериментов установлено также, что глубина кратера, образованного излучением иттербиевого лазера в мишени из прозрачного материала, в 6...8 раз глубже, чем в кратере, образованном излучением лазера  $\text{CO}_2$  с той же энергией излучения в импульсе, для которого этот материал не прозрачен. Этот результат обусловлен переходом от паровой к паро-капельной абляции, которая является более эффективной с точки зрения удаления материала. Паро-капельная абляция была обнаружена с помощью высокоскоростной фотографии свечения лазерного шлейфа.

Представлены математические модели, объясняющие причины проявления указанных процессов и фактов.

Полученные результаты позволили оптимизировать режим лазерного синтеза нанопорошка, который, например при использовании мишеней из Fe:ZnSe, обеспечивал получение нанопорошка с производительностью 100 г/час при средней мощности лазера 300 Вт.

#### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ №22-29-20039

#### **The effect of laser radiation on porous targets made of transparent materials**

Osipov V. V., Platonov B. V., Lisenkov B. V., Tikhonov E. V.  
*Institute of Electrophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*  
*106 Amundsen Str., Yekaterinburg, 620016, Russia.*

The paper reports on a number of physical phenomena detected when exposed to laser radiation on porous transparent materials. The passage of radiation through a layer of pressed micron-sized particles is considered using the Helmholtz equation. It is shown that when radiation propagates with an intensity below the threshold of damage to the target substance, the formation of a laser flare can be caused by interference of incident, refracted and scattered radiation. For this reason, the intensity in some local areas is tens of times higher than the intensity of incident radiation, which ensures the development of optical breakdown by one of the known mechanisms. It is established that the intensity of radiation at such local maxima depends on the refractive index, particle size and wavelength of radiation. Moreover, the calculations performed for ZeSe showed that only a part of the incident radiation is amplified. In addition, it was found that the intensity of radiation at local maxima increases with an increase in the refractive index. Indeed, the experimental results showed that the delay time of the appearance of the laser torch decreases by three orders of magnitude with an increase in the refractive index from 1.4 to 1.75. During the experiments, it was also found that the depth of the crater formed by the radiation of the ytterbium laser in a target made of transparent material is 6–8 times deeper than in the crater formed by the radiation of a CO<sub>2</sub> laser with the same radiation energy in a pulse for which this material is not transparent. This result is due to the transition from steam to

steam-drop ablation, which is more effective in terms of material removal. Vapor-drop ablation was detected using a high-speed photo of the glow of a laser plume.

Mathematical models explaining the reasons for the manifestation of these processes and facts are presented.

The obtained results made it possible to optimize the mode of laser synthesis of nanopowder, which, for example, when using Fe targets:ZnSe, provided the production of nanopowder with a capacity of 100 g/hour at an average laser power of 300 W.

**Thanks**

The work was carried out with the support of the RNF project No. 22-29-20039

УДК 621.3728  
ГРНТИ 29.31.29  
ВАК 1.3.5

### **О системе в связке «Лазеры. Измерения. Энергетика»**

<sup>1</sup> Привалов В. Е., <sup>2</sup> Шеманин В. Г.

<sup>1</sup> *Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия,*

<sup>2</sup> *Филиал БГТУ им. В. Г. Шухова в г. Новороссийске, Новороссийск,  
Россия,*

e-mail: vaevpriv@yandex.ru

Лазеры широко применяются в измерениях. Последние годы используются и в энергетике (см., например, [1]). Спектр применения пока не очень широк. В докладе мы пытаемся систематизировать вопрос. Чаще пишут о водородной энергетике, т.к. водород при сжигании выделяет больше энергии, чем другие элементы таблицы ДИ Менделеева. Но можно получать энергию и другими способами, например, электрохимическим. Наверняка найдутся и другие способы получения энергии, используя водород. По-видимому, исследуя и систематизируя различные топлива, можно предсказывать новые и находить нетрадиционные способы извлечения из них энергии. Приведём примеры. Дерево в энергетике используют часто в виде дров. Однако, проведя пиролиз дерева, мы получаем древесный уголь, который горит при заметно более высокой температуре. Возможно, найдутся методы обработки дерева, которые дадут более высокий энергетический эффект. Фотоліз, в том числе лазерный, может помочь в этом. При нефтепереработке (крекинге) дизельное топливо является отходами производства бензина. Поэтому ранее всегда бензин стоил дороже дизельного топлива. В обычном ДВС бензин воспламеняется искрой в электрической свече. Энергия горения обеспечивает вращение вала. Позднее выяснилось, что дизтопливо при высоком давлении в цилиндре воспламеняется без свечи и горит при более высокой температуре, растёт энергия, с которой взрыв дизтоплива давит на поршень. Прослеживаются другие возможности. Мы, по-прежнему, уделяем внимание водороду [2] и помним, что водород – единственный элемент, который занимает в таблице ДИ Менделеева две клетки. И от него ещё будут сюрпризы.

### Список литературы

1. Привалов В. Е. Устройство для разложения воды //Труды 26-й Международной конф. «Лазерно-информационные технологии». ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова. 2018. С. 40-412.
2. Привалов В. Е. Лидарное зондирование молекулярного водорода / Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. СПб.: Политех-Пресс. 2023. 95 с.

### About the system in the bundle «Lasers. Measurements. Energy»

<sup>1\*</sup> Privalov V.E., <sup>2</sup>Shemanin V.G.

<sup>1</sup> *St Petersburg Peter the Great Polytechnic University,  
Saint Petersburg, Russia,*

<sup>2</sup> *Filial of Belgorod State Technological University named after  
V. G. Shukhov in Novorossiysk, Novorossiysk, Russia,*

Lasers are widely used in measurements. Recent years have also been used in the energy sector (see, for example, [1]). The range of application is not yet very wide. In the report, we are trying to systematize the issue. More often they write about hydrogen energy, because hydrogen emits more energy during combustion than other elements of the Mendeleev DI table. But it is possible to obtain energy in other ways, for example, electrochemical. Surely there are other ways to get energy using hydrogen. Apparently, by investigating and systematizing different fuels, it is possible to predict new and find unconventional ways to extract energy from them. Let's give examples. Wood in the energy sector is often used in the form of firewood. However, after pyrolysis of the tree, we get charcoal, which burns at a noticeably higher temperature. Perhaps there will be methods for processing the tree that will give a higher energy effect. Photolysis, including laser, can help with this. In oil refining (cracking), diesel fuel is a waste of gasoline production. Therefore, previously, gasoline always cost more than diesel fuel. In a conventional internal combustion engine, gasoline is ignited by a spark in an electric candle. The combustion energy provides rotation of the shaft. Later it turned out that diesel fuel at high pressure in the cylinder ignites without a candle and burns at a higher temperature, the energy with which the explosion of diesel fuel presses on the piston is growing. Other possibilities can be traced. We still pay attention to hydrogen [2] and remember that hydrogen is the only element that occupies two cells in the D.I. Mendeleev table. And there will be surprises from him.

УДК 621.372.8  
ГРНТИ 29.31.29  
ВАК 01.04.05

### **Адаптация методики торцевой модовой спектроскопии для измерения параметров трёхмерных оптических волноводов**

Свистунов Д. В.

*Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого, 195251, Россия, г. С.-Петербург,  
ул. Политехническая 29  
e-mail: svistunov@mail.ru*

Метод торцевой модовой спектроскопии был предложен и применен для измерения характеристик планарных оптических волноводов [1]. В этой методике используется наклонное падение волноводной моды на выходной торец волновода. Поскольку для разных мод характерны отличающиеся друг от друга значения эффективных показателей преломления, образованные этими модами световые пучки излучаются из торца волновода, имея разные направления в плоскости, параллельной поверхности пластины. При проведении измерений оптическая схема ввода излучения формирует параллельные волноводные пучки. Тогда вышедшие из торца волновода световые пучки остаются параллельными в плоскости поверхности пластины, демонстрируя значительную расходимость только в нормальной к ней меридиональной плоскости.

Измеряются углы выхода световых пучков в плоскости, параллельной поверхности образца. Зная задаваемый условиями ввода излучения и геометрией испытуемого образца угол падения волноводного пучка изнутри на выходной торец пластины, согласно простому соотношению определяют значения постоянных распространения волноводных мод.

При подготовке образца к измерениям изготавливается косой срез выходного торца пластины. Значение угла среза выходного торца относительно входного торца пластины выбирается с учетом ожидаемого диапазона значений спектра мод. Этот диапазон приблизительно оценивается, исходя из использованной технологии формирования волноводного слоя. Ввод излучения в волновод торцевым методом позволяет возбудить и анализировать весь спектр мод волновода разных поляризаций. При этом, оптическая схема ввода излучения обеспечивает внутри волновода распространение параллельного пучка

возбужденных мод, и все моды падают на выходной торец под одним и тем же углом, что требуется при проведении измерений. Использование торцевого способа ввода и вывода света при измерениях методом торцевой модовой спектроскопии обеспечивает этому методу важное преимущество перед традиционным методом спектроскопии  $m$ -линий (описанным, например, в работах [2, 3] и др.), так как позволяет анализировать заглубленные волноводные структуры, когда измерения традиционным методом утрачивают достоверность. Наиболее перспективной областью применения методики торцевой модовой спектроскопии представляется ее использование для анализа трехмерных волноводов (интегральнооптических полосковых и канальных, а также оптических волокон). Однако, применение метода для этих объектов сдерживалось тем, что выходящие из торцов таких волноводов световые пучки демонстрируют значительную расходимость и в меридиональной, и в сакитальной плоскостях. Это обстоятельство требует модификации методики.

В докладе представлен вариант построения схемы метода торцевой модовой спектроскопии, позволяющий применить этот метод для измерения оптических характеристик трехмерных волноводов.

### **Список литературы**

1. Svistunov D. V. End-fire mode spectroscopy: a measuring technique for optical waveguides // В кн.: Emerging Waveguide Technology. Ed. Kok Yeow You. London: IntechOpen, 2018. p. 259-276.
2. Tien P. K., Ulrich R. Theory of prism-film coupler and thin-film light guides // J. Opt. Soc. Am., vol. 60, № 10, 1970. pp.1325-1337.
3. Барноски М. Введение в интегральную оптику. М : Мир. 1977.

### **Adaptation of the end-fire mode spectroscopy technique for measurement of parameters of 3D optical waveguides**

Svistunov D. V.

*Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic university, 195251,  
Russia, St.-Petersburg, str. Polytekhnicheskaya 29*

The end-fire mode spectroscopy technique had been developed and applied for measurement of the characteristics of planar optical waveguides [1]. Tilted incidence of the waveguide mode to the output sample face is used in this method. As different waveguide modes indicate different values of the effective mode index, they

form the light beams which are radiated from the waveguide end face having different directions in the plane that is parallel to the sample surface. The optical scheme forms parallel waveguide beams when it launches the modes in measuring. Then the output space light beams remain parallel in the plane of the sample surface while they demonstrate significant divergence in the meridional plane that is normal to the sample surface. The measured values are the output angles of the light beams in the plane that is parallel to the sample surface. As the angle of incidence of the waveguide beam to the output face inside the plate is known (it is defined by the conditions of mode launching and also the sample geometry), the values of waveguide propagation constants are determined according to the simple relation. Tilted slice of the output sample face is fabricated in preparing procedures. The meaning of the slice angle between the output and input sample faces is determines considering the estimated range of the values of the mode spectrum. This diapason is evaluated approximatively basing on the used technology of waveguide formation. The end-fire technique of mode launching allows exciting and analyzing the whole waveguide mode spectrum of different polarizations. As the input optical scheme provides propagation of parallel beam of excited modes into the sample, all modes have the same angle of incidence to the output end face, and just this condition is required in measuring by the mentioned technique.

Exploiting the end-fire method for input and output the light beams in measuring by the end-fire mode spectroscopy technique provides the important advantage of this technique in comparison with the traditional m-line spectroscopy method (that is described, for example in [2, 3] etc.), because it allows analyzing the buried waveguide structures when the measuring by the traditional method becomes unreliable. It seems that the most perspective area for application of the end-fire mode spectroscopy technique is analysis of 3D waveguides (channel and strip integrated optical, and also the optical fibers). However, application of this technique to that objects was restricted due to peculiarity of the output light beams which demonstrate significant divergence both in meridional and sagittal planes when 3D waveguides are excited. This circumstance requires modification of the technique. The report presents the variant of the scheme of the end-fire mode spectroscopy technique that enables application of this method to measuring the optical characteristics of 3D waveguides.

УДК 621.373.8  
ГРНТИ 59.00.00  
ВАК 1.3.2; 1.3.19

## **200 кГц усилитель яркости на парах металлов для скоростной визуализации объектов**

<sup>1\*</sup> Мусоров И. С., <sup>2</sup> Тригуб М. В., <sup>1,3</sup> Евтушенко Г. С.

<sup>1</sup> *Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30*

<sup>2</sup> *Институт оптики атмосферы СО РАН  
634055, Россия, г. Томск, пл. акад. Зюева В.Е. 1*

<sup>3</sup> *НИИ РИНКЦЭ  
123317, Россия, г. Москва, ул. Антонова-Овсеенко 13/1*  
email: [musorov@yandex.ru](mailto:musorov@yandex.ru), [trigub@iao.ru](mailto:trigub@iao.ru), [evf@tpu.ru](mailto:evf@tpu.ru)

При разработке активных оптических систем (АОС) с усилителями яркости (УЯ) на самоограниченных переходах в парах металлов для визуализации объектов (либо процессов, в том числе в условиях внешней, либо собственной засветки), необходимым требованием является реализация режима сверхизлучения. И если для частот повторения импульсов накачки от единиц до десятков кГц [1, 2], а затем и до 100 кГц [3] это было реализовано, то для более высоких частот возникает ряд проблем. Основной из них является сам факт получения сверхизлучения при таких частотах. Исползование режима пониженного энергозклада в разряд для накачки CuVg-лазера позволило достичь частот повторения импульсов излучения (и усиления) на самоограниченных переходах атомов меди (510,6 нм и 578,2 нм) 200 кГц, а затем и максимального на сегодня значения 300 кГц [4].

Вместе с тем, к настоящему времени экспериментов по визуализации объектов с частотой 200 кГц и более не проводилось. И оставалось не ясным – а будет ли достаточно полученных в работе [4] значений мощности излучения (десятки мВт) и коэффициента усиления ( $0,07 \pm 0,01 \text{ см}^{-1}$ ) для успешной работы данного УЯ в составе АОС [3]. Решению этой задачи и посвящена данная работа. В экспериментах в качестве усилителя использовалась газоразрядная трубка (ГРТ) диаметром активной зоны 7 мм и длиной 40 см, с независимым, контролируемым нагревом контейнеров с порошком CuVg. В качестве буферного газа использовался Ne, давление которого составляло 20–30 тор. Активная среда могла работать в режиме усилителя и

генератора (лазера) с частотой следования импульсов (ЧСИ) от 100 до 300 кГц. Режим пониженного разряда в разряд реализован, как и в работе [4], использованием разработанного источника накачки, за счет укорочения фронта до 20 нс и длительности импульса накачки (по полувысоте) до 30 нс. При этом, вводимая в разряд энергия в диапазоне частот 150-200 кГц не превышала  $70 \text{ мкДж/см}^2$  за импульс. Это позволило реализовать режимы сверхизлучения и однопроводового усиленного излучения в указанном диапазоне частот. Энергия сверхизлучения на обеих линиях (510,6 и 578,2 нм) уменьшается с увеличением частоты, но остается значительной ( $\approx 0.1 \text{ мкДж/см}^2$ ), значительно превышая энергию спонтанного излучения (собственного шума УЯ). С использованием реализованного ВЧ-усилителя яркости составе АОС – лазерного монитора проведена визуализация тестового объекта на частотах 100, 150 и 200 кГц. В качестве тестового объекта выступало переходное отверстие печатной платы диаметром 0.6 мм. Визуализация проводилась с использованием схемы лазерного проекционного микроскопа [1]. Сверхизлучение, формируемое активной средой усилителя яркости, с помощью линзы направлялось на поверхность тестового объекта. Отраженная часть сверхизлучения попадала в активную зону усилителя яркости, где осуществлялось усиление и спектральная узкополосная фильтрация (что потребуется при работе в условиях внешней, либо собственной засветки объекта наблюдения). Далее, усиленное излучение, несущее информацию о тестовом объекте, с помощью второй линзы проецировалось на экран, с которого и осуществлялась регистрация высокоскоростной камерой. Выдержка камеры подбиралась таким образом, чтобы изображение, получаемое при помощи камеры, формировалось одним импульсом усиленного излучения. Результаты визуализации тестового объекта проведены на частотах следования импульсов излучения/усиления: 100, 150, и 200 кГц, показывают, что на изображениях отчетливо видны контуры переходного отверстия и его металлизированного участка. В полученных изображениях отсутствуют значимые искажения, что говорит о равномерном распределении коэффициента усиления по диаметру ГРТ. С ростом частоты контрастность снижается, что можно объяснить уменьшением коэффициентом усиления, но объект остается видимым. Наблюдается также участок платы с незначительным «пересветом», что свидетельствует о насыщении активной среды усилителя яркости.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования созданного усилителя яркости в активных оптических системах для осуществления визуализации различных объектов и быстротекающих процессов с временным разрешением до 5 пс. Мы полагаем, что, с учетом высокой спектральной яркости сверхизлучения и глубокой спектральной фильтрации отраженного от объекта излучения (и несущего информацию о нем) в УЯ, визуализацию можно будет проводить, и в присутствии фоновой засветки, когда традиционные методы лазерной подсветки «не работают» [5]. Это и будет предметом последующих работ.

### Список литературы

1. Земсков К. И., Исаев А. А., Казарян М. А., Петраш Г. Г. Лазерный проекционный микроскоп // Квантовая электроника, 1974, №1, с. 14–15.
2. Батенин В. М., Климовский И. И., Селезнева Л. А. Исследование поверхности электродов угольной дуги постоянного тока в процессе горения // Доклады Академии наук, 1988, Т. 303, № 4, с. 857–860.
3. Methods and Instruments for Visual and Optical Diagnostics of Objects and Fast Processes (Part 1. G. S. Evtushenko, S. N. Torgaev, M. V. Trigub, D. V. Shiyarov, T. G. Evtushenko High speed metal vapor brightness amplifiers for objects and process imaging, pp. 15–154). Editor Gennadiy Evtushenko, Nova Publishers, 2018, 236 p.
4. Musorov I. S., Torgaev S. N., Kulagin A. E., Evtushenko G. S. 300kHz metal vapor brightness amplifier // Optical and Quantum Electronics, 2023, 55(1), article 52.
5. Colin E. Webb, Julian D. C. Jones. Handbook of Laser Technology: Applications // IoP Publishing. 2004. 1180 p.

### 200 kHz metal vapor brightness amplifier for high speed visualization of the objects

<sup>1\*</sup> Musorov I. S., <sup>2</sup> Trigub M. V., <sup>1,3</sup> Evtushenko G. S.

<sup>1</sup> Tomsk Polytechnic University

<sup>2</sup> Institute of Atmospheric Optics SB of Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

<sup>3</sup> Scientific Research Institute – Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services, Moscow, Russia

In the development of active optical systems (AOS) with amplification amplifiers (HA) based on limited self-terminating transitions in metal vapors for heavy objects (either processes, including those under environmental conditions, or in the presence of illumination), a necessary requirement is the implementation of an ultra-high level scale. And if for the frequency of pump pulses from the norm to the frequency [1, 2], and then up to 100 kHz [3], this was realized, then for a higher frequency, a number of problems arise. The main one is the very fact of detection of superradiation at such frequencies. The use of the mode of reduced energy input into the discharge for pumping the CuBr laser made it possible to reach the radiation pulse repetition frequency (and amplification) at self-terminating transitions of copper atoms (510.6 nm and 578.2 nm) of 200 kHz, and then the maximum value of 300 kHz to date [4]. At the same time, to date, experiments on visualization of objects with a frequency of 200 kHz and more have not been carried out. And it remained unclear whether the values some tens mW of radiation power and gain about  $(0.07 \pm 0.01 \text{ cm}^{-1})$  obtained in [4] would be sufficient for the successful operation of this CD as part of AOS [3].

This work is devoted to the solution of this problem. In the experiments, a gas discharge tube (GDT) with a core diameter of 7 mm and a length of 40 cm was used as an amplifier, with independent, controlled heating of containers with CuBr powder. Ne was used as a buffer gas, the pressure of which was 20–30 torr. The active medium could operate in the mode of an amplifier and a generator (laser) with a pulse repetition rate (PFR) from 100 to 300 kHz. The mode of a reduced discharge into a discharge is implemented, as in [4], using the developed pump source, due to the shortening of the front to 20 ns and the duration of the pump pulse (at half height) to 30 ns. In this case, the energy introduced into the discharge in the frequency range of 150...200 kHz did not exceed  $70 \mu\text{J}/\text{cm}^3$  per pulse. This made it possible to realize the regimes of superradiance and single-pass amplified radiation in the specified frequency range.

The energy of superradiance on both lines (510.6 and 578.2 nm) decreases with increasing frequency, but remains significant ( $\approx 0.1 \mu\text{J}/\text{cm}^3$ ), significantly exceeding the energy of spontaneous emission (intrinsic noise of the UY). Using the implemented high-frequency brightness amplifier as part of an AOC - a laser monitor, a test object was visualized at frequencies of 100, 150 and 200 kHz. A PCB via hole with a diameter of 0.6 mm served as a test object.

Visualization was carried out using the scheme of a laser projection microscope [1]. The superradiance generated by the active medium of the brightness amplifier was directed to the surface of the test object using a lens.

The reflected part of the superradiance fell into the active zone of the brightness amplifier, where amplification and spectral narrow-band filtering were carried out (which is required when working under conditions of external or own illumination of the object of observation). Further, the amplified radiation, carrying information about the test object, was projected onto a screen with the help of a second lens, from which the recording was carried out by a high-speed camera. The shutter speed of the camera was selected in such a way that the image obtained by the camera was formed by a single pulse of amplified radiation.

The results of visualization of the test object were carried out at radiation/gain pulse repetition rates: 100, 150, and 200 kHz, showing that the images clearly show the contours of the via and its metallized area. There are no significant distortions in the obtained images, which indicates a uniform distribution of the gain over the GDT diameter. As the frequency increases, the contrast decreases, which can be explained by a decrease in the gain, but the object remains visible. There is also a section of the board with a slight "overexposure", which indicates saturation of the active medium of the brightness amplifier.

The obtained results indicate the possibility of using the created brightness amplifier in active optical systems for visualization of various objects and fast processes with a time resolution of up to 5  $\mu$ s. We believe that visualization can be carried out even in the presence of background illumination, when traditional methods of laser illumination "do not work", taking into account the high spectral brightness of superradiance and the deep spectral filtering of the radiation reflected from the object (and carrying information about it) in the brightness amplifier [ 5]. This will be the subject of subsequent work.

УДК 543.424.2  
ГРНТИ 29.31.26+29.31.27  
ВАК 1.3.6

### **Рамановская спектроскопия для оценки дентинных материалов в процессе их изготовления**

<sup>1\*</sup> Тимченко Е. В., <sup>1</sup> Тимченко П. Е., <sup>1</sup> Фролов О. О., <sup>2</sup> Волова Л. Т.,  
<sup>2</sup> Власов М. Ю., <sup>2</sup> Зыбин М. А., <sup>1</sup> Шипко С. С.

<sup>1</sup> Самарский национальный исследовательский университет им.  
академика С.П. Королева, 443086, Россия, г. Самара,  
ул. Московское шоссе 34

<sup>2</sup> Самарский государственный медицинский университет, 443099,  
Российская Федерация, г. Самара, ул. Чапаевская, 89  
email: \*laser-optics.timchenko@mail.ru, timpavel@mail.ru,  
Frolovaleh@gmail.com, volovalt@yandex.ru, s.shipko567@gmail.com,  
zybin\_m.a@mail.ru, mvlasov1@rambler.ru

В настоящее время операции имплантации сопровождаются процедурой направленной костной регенерации, целью которой является регенерация кости, сопровождаемая низким риском вероятных осложнений с коротким периодом восстановления. К имплантационным биоматериалам предъявляются такие требования как отсутствие реакции иммунологического отторжения, способность к абсорбции и биодеградации [1]. Оценка биоматериалов, полученных из деминерализованного дентина, является актуальной задачей, так как остеоинтеграция производимого биоматериала напрямую зависит от его качества обработки. Целью исследований являлось исследование структурных особенностей дентинных биоматериалов в зависимости от степени их деминерализации и наличия очистки с использованием метода Рамановской спектроскопии.

Объектами исследований являлся дентин, полученный из здоровых коренных зубов человека, обработанных с использованием вакуумной очистки и деминерализованных в 1,8Н и 2,4Н растворе соляной кислоты. Для изготовления биоматериалов была применена технология «ЛИОПЛАСТ» [ТУ-9398-001-01963143-2004], включающая ультразвуковую обработку тканей для первичной стерилизации материала и вирусной инактивации.

В качестве основного метода анализа биоматериалов из дентина был использован метод Рамановской спектроскопии, реализуемый с помощью экспериментального стенда, состоящим из рамановского пробника РРВ-785, лазерного модуля

LuxxMasterLML-785.0RB-04 и цифрового спектрометра Shamrock sr-303i со встроенной охлаждаемой камерой DV420A-0E. Усреднение спектров проводилось в программном пакете Mathematica 8. Анализ спектров осуществлялся в программной среде MagicPlotPro, а также с помощью метода дискриминантного анализа (LDA) в программе IBMSPSS Statistics [3].

В результате проведенных исследований были установлены основные спектральные изменения биоматериалов из дентина в зависимости от степени деминерализации и использования вакуумной очистки. Показано, что материалы из дентина, деминерализованные в растворе соляной кислоты 1,8Н, сохраняют большее количество органических компонент в сравнении с биоматериалами, деминерализованными в 2,4Н соляной кислоты, о чем свидетельствует увеличение интенсивности линий  $1415\text{ см}^{-1}$  (C=C stretching in quinoid ring),  $1035\text{ см}^{-1}$  (Phenylalanine mode). Использование вакуумной очистки приводит к сохранению большего количества минеральных компонент и меньшего количества органических, о чем свидетельствует уменьшение интенсивности линий спектров биоматериалов с очисткой  $898\text{ см}^{-1}$  ((C-O-C) skeletal mode),  $1585\text{ см}^{-1}$  (Amide II) и увеличение интенсивности линий спектров биоматериалов без очистки  $854\text{ см}^{-1}$  ((C-O-C) skeletal mode of  $\alpha$ -apomers),  $1242\text{ см}^{-1}$  (Amide III). Дискриминационная адекватность метода характеризуется значением AUC = 1, что свидетельствует об отличном качестве диагностического инструмента. Стандартная ошибка SE составила 0 %, доверительный интервал AUC лежит в пределах 1-1. Оптимальная точка отсечения представленного алгоритма, определенная согласно условиям баланса между чувствительностью и специфичностью, соответствовала 0,5. Показатели чувствительности и специфичности диагностической модели в данной точке отсечения составили 100 %.

### Список литературы

1. Lomakin M. V., Filatova A. S., Soloshchanskii I. I. Guided bone regeneration in the reconstruction of the alveolar bone volume for dental implantation // Russian Stomatology 2011. 4(5). с.15-18.
2. Булатов А.А., Калинин А.В., Савельев В.Н. Современные способы изготовления, стерилизации и консервации деминерализованных трансплантатов (обзор литературы) // Травматология и ортопедия России. 2005. 1(34) с. 55-59.
3. Timchenko P. E., Timchenko E. V., Volova L. T. etc. Raman spectroscopy method for the evaluation of bone bioimplants made

using the «Lyoplast» technology from cadaveric and in vivo resected bone tissue // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1038. Issue 1.

### **Raman spectroscopy for the evaluation of dentinal materials during their manufacture**

<sup>1\*</sup> Timchenko E. V., <sup>1</sup> Timchenko P. E., <sup>1</sup> Frolov O. O.,

<sup>2</sup> Volova L. T., <sup>2</sup> Vlasov M. Y., <sup>2</sup> Zybin M. A., <sup>1</sup> Shipko S. S.

<sup>1</sup> *Samara National Research University named after N. N. Academician S. P. Koroleva, 443086, Russia, Samara, str. Moscow highway 34*

<sup>2</sup> *Samara State Medical University, 443099, Russian Federation, Samara, str. Chapaevskaya, 89*

Currently, implantation operations are accompanied by a guided bone regeneration procedure, the purpose of which is bone regeneration, accompanied by a low risk of possible complications with a short recovery period. Implantation biomaterials are subject to such requirements as the absence of an immunological rejection reaction, the ability to absorb and biodegrade [1]. The assessment of biomaterials obtained from demineralized dentin is an urgent task, since the osseointegration of the produced biomaterial directly depends on its processing quality. The aim of the research was to study the structural features of dentinal biomaterials depending on the degree of their demineralization and the presence of cleaning using the Raman spectroscopy method.

The objects of research were dentin obtained from healthy human molars, processed using vacuum cleaning and demineralized in 1.8N and 2.4N hydrochloric acid solutions. For the production of biomaterials, the LIOPLAST technology [TU-9398-001-01963143-2004] was used, which includes ultrasonic treatment of tissues for primary sterilization of the material and viral inactivation.

Raman spectroscopy was used as the main method for the analysis of biomaterials from dentin, implemented using an experimental stand, consisting of an RPB-785 Raman probe, a LuxxMasterLML-785.ORB-04 laser module, and a Shamrock sr-303i digital spectrometer with a built-in cooled chamber DV420A-OE. The spectra were averaged using the Mathematica 8 software package. The spectra were analyzed using the MagicPlotPro software environment, as well as using the discriminant analysis (LDA) method in the IBMSPSS Statistics program [3].

As a result of the studies, the main spectral changes in biomaterials from dentin were established, depending on the degree of demineralization and the use of vacuum cleaning. It has been shown that materials from dentin demineralized in 1.8 N hydrochloric acid solution retain a greater amount of organic components in comparison with biomaterials demineralized in 2.4 N hydrochloric acid, as evidenced by an increase in the intensity of the  $1415\text{ cm}^{-1}$  lines (C=C stretching in quinoid ring),  $1035\text{ cm}^{-1}$  (Phenylalanine mode). The use of vacuum cleaning leads to the preservation of a larger amount of mineral components and a smaller amount of organic ones, as evidenced by a decrease in the intensity of the lines of the spectra of biomaterials with cleaning  $898\text{ cm}^{-1}$  ((C-O-C) skeletal mode),  $1585\text{ cm}^{-1}$  (Amide II) and an increase in the intensity of the lines of the spectra of biomaterials without cleaning  $854\text{ cm}^{-1}$  ((C-O-C) skeletal mode of  $\alpha$ -anomers),  $1242\text{ cm}^{-1}$  (Amide III). The discriminatory adequacy of the method is characterized by the value  $AUC = 1$ , which indicates the excellent quality of the diagnostic tool. The SE standard error was 0%, the AUC confidence interval was 1-1. The optimal cut-off point of the presented algorithm, determined according to the conditions of balance between sensitivity and specificity, corresponded to 0.5. The sensitivity and specificity of the diagnostic model at this cut-off point was 100%.

УДК 53.087.45  
ГРНТИ 29.31.29  
УДК 1.3.6

**Тенево́й фоново́й метод как беско́нтáктный спосо́б определе́ния  
температу́рного поля́ разря́да на по́верхности опти́чески  
прозра́чных диэлектри́ков**

Коротких И. И., Малахов Ю. И., Скорнякова Н. М.  
*Национальный исследовательский университет «МЭИ»,  
Россия, 111250, Москва, Красноказарменная ул., д. 17,*  
email: [korotkikhii@mpei.ru](mailto:korotkikhii@mpei.ru), [yumalakhov@yandex.ru](mailto:yumalakhov@yandex.ru), [nmskorn@mail.ru](mailto:nmskorn@mail.ru)

Работа посвящена визуализации температурного поля электрического разряда, возникающего на поверхности оптически прозрачных диэлектриков. Данный разряд используется при создании, исследовании, контроле параметров озонаторов, для обеспечения их стабильной работы, а также как источник ультрафиолетового излучения. Показана возможность применения теневого фонового метода для определения температурного поля разряда на поверхности стекла или пластика. Представлена методика нормировки по температуре, методика определения поля температуры как самой подложки, над которой происходит разряд, так температуры плазменного слоя над ней. Продемонстрированы результаты создания оптоэлектронного комплекса для определения температурного поля разряда на стеклянной поверхности при атмосферном давлении. Исследованы особенности использования теневого фонового метода при диагностике слабоионизированных сред.

**Список литературы**

1. Скорнякова Н. М. Тенево́й фоново́й метод и его применение // *Современные оптические методы исследования потоков* / Под ред. Б. С. Ринкевичюса. — М.: Оверлей, 2011. С. 93-106.
2. Korotkikh I., Malakhov Yu., Skornyakova N. High-speed registration of discharge formation in inductively-coupled plasma // *Scientific Visualization*. № 3, V. 9. 2017, P. 70-76.
3. Korotkikh I., Malakhov Yu., Kuchmenko A. Investigation of temperature field of weakly ionized gas jet by the background oriented schlieren method // *Journal of Physics: Conference Series*. № 1421 012007, 2019.
4. Евтихьева О. А., Расковская И. Л., Ринкевичюс Б. С. Лазерная рефрактография / *Физматлит*. 2008. 176 с.

**Background oriented shlieren method as a contactless way for determination of the temperature field of discharge on the surface of optically transparent dielectrics**

Korotkikh I., Malakhov Yu., Skornyakova N.

*National Research University "Moscow Power Engineering Institute",  
Russia, 111250, Moscow, Krasnokazarmennaya str, 17*

The work is devoted to the visualization of the temperature field of an electric discharge that occurs on the surface of optically transparent dielectrics. This discharge is used in the creation, research, control of the parameters of ozoniers, to ensure their stable operation, and also as a source of ultraviolet radiation. The possibility of using the background oriented shlieren method for determination of the temperature field on glass or plastics surfaces is shown. A technique for determination of the temperature bos on the dielectric surfaces where the discharge takes place and the temperature of the plasma layer above it. The results of creating an optoelectronic complex for determining the temperature field of discharge on a discharge on a glass surface at atmospheric pressure are demonstrated. The features of the use of the background oriented shlieren method in the diagnostics of weakly ionized media are investigated.

УДК 535:621.373.8

ГРНТИ 29.33.15

ВАК 01.04.21

## **Временная эволюция параметров активной среды многоволнового лазера на парах стронция**

Чеботарев Г. Д.

*Южный федеральный университет, 344006, Россия,**г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая 105/42*email: [gdchebotarev@sfedu.ru](mailto:gdchebotarev@sfedu.ru)

В активной среде лазера на парах стронция возможна реализация эффективной многоволновой генерации в широком спектральном диапазоне на рекомбинационных и самоограниченных переходах стронция [1]. В частности, лазер на парах стронция излучает с высокими энергетическими характеристиками в видимой области спектра на ионных рекомбинационных переходах стронция ( $\lambda = 430,5$  и  $416,2$  нм SrII), а также в ИК области спектра на самоограниченных переходах атома и иона стронция ( $\lambda = 1033$  и  $1091$  нм SrII,  $\lambda \sim 3$  мкм SrI и  $\lambda = 6,456$  мкм SrI). В настоящей работе была детально численно исследована временная эволюция параметров плазмы импульсно-периодического разряда в смеси He-Sr, которые определяют скорости накачки лазерных уровней и выходные характеристики многоволновых лазеров на парах стронция. Численные расчеты проводились с использованием самосогласованной математической модели [2]. Результаты моделирования показали хорошее согласие с данными экспериментальных измерений параметров плазмы и характеристик лазерной генерации. Анализ полученных результатов позволил установить ряд закономерностей функционирования активных сред многоволновых лазеров на парах стронция.

### **Список литературы**

1. Солдатов А. Н., Чеботарев Г. Д., Латуш Е. Л., Полунин Ю. П., Шумейко А. С., Юдин Н. А. Лазер на парах стронция с ионизационным и рекомбинационным механизмами формирования инверсии // Квантовая электроника. – 2016. – Т. 46. – № 12. – С. 1142–1145.
2. Chebotarev G. D., Prutsakov O. O., Latush E. L. Mathematical modeling of ion recombination strontium vapour laser // Proc. SPIE. – 2004. – V. 5483. – P. 83–103.

## **Temporal evolution of the parameters of the active medium of a multiwavelength strontium vapour laser**

Chebotarev G. D.

*Southern Federal University, 344006, Russia, Rostov-on-Don,  
str. Bolshaya Sadovaya 105/42*

In the active medium of a strontium vapour laser, it is possible to realize efficient multiwavelength lasing in a wide spectral range on recombination and self-terminating transitions of strontium [1]. In particular, the strontium vapour laser emits with high energy characteristics in the visible region of the spectrum on recombination transitions of the strontium ion ( $\lambda = 430.5$  and  $416.2$  nm SrII), as well as in the IR region of the spectrum on self-terminating transitions of the atom and ion of strontium ( $\lambda = 1033$  and  $1091$  nm SrII,  $\lambda \sim 3$   $\mu$ m Srl and  $\lambda = 6.456$   $\mu$ m Srl). In the present work, we numerically studied in detail the temporal evolution of the plasma parameters of a repetitively pulsed discharge in a He-Sr mixture, which determine the pumping rates of laser levels and the output characteristics of multiwavelength strontium vapour lasers. Numerical calculations were carried out using a self-consistent mathematical model [2]. The modeling results showed good agreement with the data of experimental measurements of plasma parameters and lasing characteristics. An analysis of the obtained results made it possible to establish a number of regularities in the functioning of active media of the multiwavelength strontium vapour lasers.

УДК 53.535  
ГРНТИ 29.33  
ВАК 1.3.19

**Положительный столб разряда постоянного тока в лазерных трубках переменного диаметра для двухкомпонентного газа**

Кожевников В. А., \* Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Аммосов А. П.

*Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург,  
ул. Политехническая, д. 29.*

email: \* vaevpriv@yandex.ru, moraval@mail.ru, aefotiadi@yandex.ru,  
ammosovlex@gmail.com

В работе [1] был рассмотрен положительный столб (ПС) разряда постоянного тока в типичных для активных сред газовых лазеров разрядных условиях в трубках переменного диаметра. Были получены выражения, связывающие внешние параметры ПС с его основными внутренними характеристиками. В работе [2] с помощью полученных выражений была посчитана мощность лазера с прямоугольным сечением активного элемента, результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными. Однако модель в работе [1] была построена для однокомпонентного газа, двухкомпонентный газ она описывала приближенно. Поэтому нами была построена модель ПС для двухкомпонентного газа. Из кинетического уравнения и соответствующих уравнений моментов [3] была получена система дифференциальных уравнений, описывающая ПС в трубках переменного диаметра для газа из пяти компонент (два вида атомов, два вида соответствующих ионов, электроны). В настоящее время ведутся численные расчёты, а также попытки аналитического решения этой системы.

**Список литературы**

1. Кожевников В.А., Привалов В.Е., Фотиади А.Э. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математическая наука. – 2019. – Т. 12. № 4. – С. 97–107.
2. Kozhevnikov V.A., Privalov V.E., Fotiadi A.E., Shemanin V.G. // Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics. – 2021. – pp. 176–178.
3. Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров И.Е. Основы физики плазмы. // СПб.: Лань, 2011.

**Positive column of DC discharge in laser tubes of variable diameter  
for two-component gas**

Kozhevnikov V. A., \* Privalov V. E., Fotiadi A. E., Ammosov A. P.  
*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University  
195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya, 29*

In [1], we considered the positive column (PC) of a direct current discharge under discharge conditions typical for active media of gas lasers in tubes of variable diameter. We have obtained expressions relating the external parameters of the PC with its main internal characteristics. In [2], using the obtained expressions, we calculated the power of a laser with a rectangular cross section of the active element; the calculation results are in good agreement with the experimental data. However, the model in [1] was constructed for a one-component gas; it described a two-component gas approximately. Therefore, we have constructed a PC model for a two-component gas. From the kinetic equation and the corresponding equations of moments [3], a system of differential equations was obtained that describes the PC in tubes of variable diameter for a gas of 5 components (two types of atoms, two types of corresponding ions, electrons). At present, numerical calculations are being carried out, as well as attempts to solve this system analytically.

УДК 621.373.826  
ГРНТИ 29.33.15  
ВАК 01.04.21

### **Исследование характеристик $MnCl_2$ и $MnBr_2$ -лазеров**

<sup>1</sup> Шиянов Д. В., <sup>2\*</sup> Евтушенко Г. С.

<sup>1</sup> *Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пл. Академика Зуева 1*

<sup>2</sup> *Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, 127055, Россия, г. Москва, ул. Образцова 12 к.2*  
email: [siyanov73@mail.ru](mailto:siyanov73@mail.ru), [evt@tpu.ru](mailto:evt@tpu.ru)

Лазер на переходах атома марганца излучает на нескольких длинах волн в видимой и ближней ИК областях спектра. Основные из них: 0,534, 0,542, 1,289 и 1,329 мкм. Особенность этого лазера заключается в том, что нижние лазерные уровни для видимой и ИК области являются общими. В связи с этим, возможна конкуренция на этих переходах, и при изменении условий накачки (в некоторых случаях) может меняться соотношение мощностей генерации видимой и ИК области. Большинство работ по исследованию Mn-лазера посвящены лазеру на парах чистого марганца [1, 2]. Эта активная среда обладает высоким коэффициентом усиления, что позволяет использовать ее в качестве усилителя яркости изображений [3]. Вместе с тем, мало внимания уделялось генерации в солях этого металла. В тоже время, именно в  $MnCl_2$ -лазере реализована генерация на максимальной частоте следования импульсов (ЧСИ) – 125 кГц [4]. И это дает основание полагать, что такой лазер перспективен для применения в скоростных лазерных мониторах.

Данная работа посвящена исследованию энергетических характеристик лазеров на парах галогенидов марганца.

Исследовались газоразрядные трубки (ГРТ)  $MnCl_2$  и  $MnBr_2$ -лазеров со стандартной накачкой (внутренние электроды), а также  $MnBr_2$ -лазер с емкостной накачкой (внешние электроды). Диаметр всех ГРТ составлял 2 см, а длина 50 см. Для изучения возможности повышения энергетических характеристик этих лазеров все ГРТ оснащались генераторами НС1 и НВг. В качестве коммутаторов в схеме накачки использовались тириatron ТГИ1-1000/25, а на ЧСИ свыше 25 кГц – маситрон ТГУ1-1000/25.

Масштабирование давления буферного газа неона показало, что оптимальное значение характерно для лазеров на парах галогенидов металлов и составляет порядка 20 торр, причём

мощности  $MnCl_2$  и  $MnBr_2$  – лазеров сопоставимы. Стоит также отметить, что замена дугерного газа на гелий не приводила к значительному падению характеристик этих лазеров, что нельзя сказать о более тяжелых инертных газах – аргоне и криптоне. Определение оптимальной температуры стенки ГРТ показало, что в отличие от  $CuBr$  – лазера ( $T = 650^\circ C$ ) для этих систем она составляет  $780-790^\circ C$ . Увеличение мощности накачки за счёт повышения тока и напряжения или увеличения ЧСИ привело к линейному росту выходной мощности лазеров. Все сказанное характерно для лазеров со стандартной и емкостной накачкой. Максимальная мощность излучения 2,5 Вт реализована в  $MnCl_2$  – лазере с внутренними электродами с добавкой HCl. Это значение мощности является рекордным для лазеров на парах галогенидов марганца. При этом мощность излучения в видимой области спектра превышала мощность на ИК-линиях в 1,5–2 раза. Для лазеров со стандартной накачкой оптимальная ЧСИ составила 17 кГц, а для  $MnCl_2$ -лазера с емкостной накачкой – 42 кГц. На этой частоте мощность генерации достигала 1 Вт (с добавкой HCl). На частотах до 45 кГц доля выходной мощности для видимого спектра превышала долю мощности для ИК линий. При дальнейшем повышении ЧСИ до 80 кГц картина менялась на противоположную.

Результаты работы позволяют надеяться на то, что существуют возможности дальнейшего повышения частотно-энергетических характеристик лазеров на парах галогенидов марганца, например, при оптимизации накачки с использованием схем, повышающих напряжение на разрядном промежутке.

### Список литературы

1. Исаков В. К., Потапов С. Е. Исследование генерации активных сред на переходах атомов марганца // Квантовая электроника, Т. 10, № 3, 1983. С. 588–597.
2. Namba K., Obara S., Shimizu F. A high-power manganese vapor laser // Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 24, No 9, 1985. P. 241–242.
3. Тригуб М. В., Шиянов Д. В., Суханов В. Б., Петухов Т. Д., Евтушенко Г. С. Усилитель яркости на переходах атома марганца с частотой следования импульсов до 100 кГц // Письма в журнал технической физики, Т. 44, Вып. 24, 2018. С. 135–142.
4. Shiyonov D. V., Trigub M. V., Sokovikov V. G., Evtushenko G. S.  $MnCl_2$  laser with pulse repetition frequency up to 125 kHz // Optics and Laser Technology, Vol. 129, 2020. P. 106302.

### **Study of the $\text{MnCl}_2$ , and $\text{MnBr}_2$ -lasers characteristics**

<sup>1</sup> Shiyanov D. V., <sup>2</sup> Evtushenko G. S.

<sup>1</sup> V. E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 634055,  
Russia, Tomsk, 1, Academician Zuev square

<sup>2</sup> Federal research center for projects evaluation and consulting  
services, 127055, Russia, Moscow, Obraztsova Str. 12, Bldg. 2

The laser on the manganese atom transitions emits at several wavelengths in the visible and near-IR range of the spectrum. The main ones are: 0.534, 0.542, 1.289 and 1.329  $\mu\text{m}$ . The peculiarity of this laser is that the lower laser levels for the visible and IR range are common. In this regard, competition is possible at these transitions, and when the pumping conditions change, in some cases, the ratio of output powers in the visible and IR range can change. Most of the Mn laser studies are devoted to the pure manganese vapor laser [1, 2]. This active medium has a high gain, which allows it to be used as an image brightness amplifier [3]. At the same time, very little attention has been paid to generation in salts of this metal. At the same time, it is the  $\text{MnCl}_2$ -laser that implements lasing at maximum pulse repetition rate (PRR) of 125 kHz [4]. This suggests that such a laser is promising for use in high-speed laser monitors.

This work is devoted to the study of the energy characteristics of manganese halide vapor lasers.

Gas-discharge tubes (GDTs) of  $\text{MnCl}_2$  and  $\text{MnBr}_2$ -lasers with standard pumping (internal electrodes) and a capacitively pumped  $\text{MnBr}_2$ -laser (external electrodes) were studied. All GDTs were 2 cm in diameter and 50 cm long. To study the possibility of increasing the energy characteristics of these lasers, all GDTs were equipped with HCl and HBr generators. A TG11-1000/25 thyratron was used as switches in the pump circuit, and a TGU1-1000/25 taitron was used at PRR above 25 kHz. Scaling the neon buffer gas pressure showed that the optimal value is typical for metal halide vapor lasers and is about 20 Torr, and the powers of the  $\text{MnCl}_2$  and  $\text{MnBr}_2$ -lasers are comparable. It should also be noted that the replacement of the buffer gas by helium did not lead to a significant drop in the characteristics of these lasers, which cannot be said about the heavier inert gases - argon and krypton. Determination of the optimal temperature of the GDT wall showed that, in contrast to the  $\text{CuBr}$ -laser ( $T = 650^\circ\text{C}$ ), for these systems it is  $780\text{--}790^\circ\text{C}$ . Increasing the pump power by increasing the current and voltage or by increasing the PRR led to a linear

increase in the output power of the lasers. All of the above is typical for lasers with standard and capacitive pumping. The maximum output power of 2.5 W was realized in a  $\text{MnCl}_2$ -laser with internal electrodes with HCl additive. This is a record value for manganese halide vapor lasers. In this case, the output power in the visible range exceeded the power on the IR lines by a factor of 1.5–2. For lasers with standard pumping, the optimal PRR was 17 kHz, and for a capacitively pumped  $\text{MnCl}_2$ -laser, it was 42 kHz. At this frequency, the generation power reached 1 W with HCl additive. At frequencies up to 45 kHz, the percentage of the output power for the visible spectrum exceeded the percentage of the IR lines power. With a further increase in PRR to 80 kHz, the situation changed to the opposite.

The results of this work allow us to hope that there are possibilities for further improvement of the frequency and energy characteristics of manganese halide vapor lasers, for example, by optimizing pumping using circuits that increase the voltage across the discharge gap.

УДК 621.373.826

ГРНТИ 29.33.15

ВАК 01.04.21

### **Лазер на парах меди с емкостным способом возбуждения**

<sup>1</sup> Шиянов Д. В. <sup>2\*</sup> Евтушенко Г. С.,

<sup>1</sup> *Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пл. Академика Зуева 1*

<sup>2</sup> *Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, 127055, Россия, г. Москва, ул. Образцова 12 к.2*  
email: [siyanov73@mail.ru](mailto:siyanov73@mail.ru), [evt@tpu.ru](mailto:evt@tpu.ru),

В настоящее время барьерный разряд (продольный емкостной) успешно используется для накачки лазеров на парах галогенидов металлов [1]. Несмотря на то, что из-за наличия барьера такие лазеры уступают по эффективности своим аналогам со стандартной накачкой с внутренними электродами, такой способ возбуждения имеет свои преимущества. Значительно упрощается конструкция газоразрядной трубки (ГРТ) и схема накачки, а также облегчаются условия работы коммутатора. Изоляция электродов от активной среды снижает степень их разрушения за счет отсутствия контакта с химическими реагентами плазмы. Тем самым увеличивается срок службы ГРТ.

В связи с этим, представляет интерес дальнейших исследований данного способа накачки лазеров на парах металлов, в частности на парах чистых металлов.

Впервые возможность применения такого разряда для возбуждения лазера на парах меди показана нами в [2]. В представленной работе продолжены исследования частотно-энергетических характеристик лазеров на парах меди с емкостной накачкой. Исследовались две ГРТ с диаметром канала 6,8 мм и длиной 295 и 400 мм, соответственно (с объемом активной зоны  $V = 8,3$  и  $20$  см<sup>3</sup>). Конструкция этих ГРТ типична для лазеров на парах металлов. Отличительная особенность в том, что электроды, выполненные из фольги ниобия, размещались поверх кварцевой оболочки на торцах ГРТ. Их собственная ёмкость являлась рабочей накопительной. Для первой ГРТ изменялся диаметр внешней кварцевой оболочки, что позволяло наряду с изменением длины электрода изменять величину рабочей ёмкости. Оценка ёмкостей по формуле цилиндрического конденсатора показала, что их величины можно было менять от

100 до 230 нФ. В качестве коммутаторов в схеме накачки использовались тиратрон ТГИ1-1000/25 и маситрон ТГУ1-1000/25. Проведены исследования генерационных характеристик описанных ГРТ в зависимости от давления буферного газа неона, частоты следования импульсов (ЧСИ) и мощности накачки. Результаты показали, что рабочее значение давления буферного газа составляет типичную для этого класса лазеров величину 20–30 торр. Стоит отметить, что ЧСИ для лазеров на парах меди с внутренними электродами и малым объемом не превышает 20 кГц. Для наших ГРТ оптимальные значения частоты (по выходной мощности излучения) составили 55 кГц ( $V = 8,3 \text{ см}^3$ ) и 35 кГц ( $V = 20 \text{ см}^3$ ). Это может быть связано с тем, что в барьерном разряде необходимый по накачке энергозатрат (при работе с малыми накопительными ёмкостями) достигается на более высоких частотах. При оптимальных значениях давления Ne и ЧСИ увеличение мощности накачки до 1.2–1.3 кВт для ГРТ с объёмом  $8,3 \text{ см}^3$  позволило получить мощность излучения 1,5 Вт. Для ГРТ с объёмом  $20 \text{ см}^3$  при мощности возбуждения 1,7 кВт выходная мощность достигла 2,6 Вт. При этом с увеличением мощности накачки рост мощности генерации происходил линейно. Регистрация электрических импульсов на ГРТ показала, как и в лазерах на парах галогенидов металлов с ёмкостной накачкой генерация происходит во время заряда электродных ёмкостей. Длительность импульса генерации, как и в стандартных лазерах составляла 10–20 нс.

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод, что для получения практически значимых мощностей генерации лазеров на парах чистых металлов с небольшим объёмом активной зоны можно использовать ёмкостной разряд.

### **Список литературы**

1. Gubarev F.A., Shiyonov D.V., Sukhanov V.B., Evtushenko G.S. Capacitive-Discharge-Pumped CuBr Laser With 12 W Average Output Power // IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 49, No 1, 2013. P. 89–94.
2. Шиянов Д.В., Суханов В.Б. Использование разряда ёмкостного типа для накачки высокотемпературных лазеров на парах металлов. Сб. трудов симпозиума «Лазеры на парах металлов», Лео, 20–24 сентября 2010 г. С. 95.

### **Copper vapor laser with capacitive excitation**

<sup>1</sup>Shiyanov D. V., <sup>2</sup>Evtushenko G. S.

<sup>1</sup> V. E. Zuev *Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 634055, Russia, Tomsk, 1, Academician Zuev square*

<sup>2</sup> *Federal research center for projects evaluation and consulting services, 127055, Russia, Moscow, Obraztsova Str. 12, Bldg. 2*

At present, a barrier discharge (longitudinal capacitive) is successfully used to pump metal halide vapor lasers [1]. Despite the fact that due to the presence of a barrier, such lasers are inferior in efficiency to their counterparts with standard pumping with internal electrodes, this method of excitation has its advantages. The design of the gas discharge tube (GDT) and the pump circuit are greatly simplified, and the operating conditions of the switch are also facilitated. The isolation of the electrodes from the active medium reduces the degree of their destruction due to the absence of contact with the chemical reagents of the plasma. This increases the service life of the GDT.

In this regard, it is of interest to further study this method of pumping lasers on metal vapors, in particular on pure metal vapors. The possibility of using such a discharge to excite a copper vapor laser was shown for the first time in [2]. In the present work, studies of the frequency-energy characteristics of capacitively pumped copper vapor lasers are continued. GDTs with a bore of 6.8 mm and a length of 295 and 400 mm, respectively, were studied (with active volumes  $V = 8.3$  and  $20 \text{ cm}^3$ ). The design of these GDTs is typical for metal vapor lasers. A distinctive feature is that the niobium foil electrodes were placed over the quartz shell at the ends of the GDT. Their own capacity was a working storage. For the first GDT, the diameter of the outer quartz shell was changed, which made it possible, along with a change in the electrode length, to change the value of the working capacitance. Evaluation of capacitances according to the cylindrical capacitor formula showed that their values could be changed from 100 to 230 pF. A TGI1-1000/25 thyatron and a TGU1-1000/25 tasitron were used as switches in the pump circuit.

The lasing characteristics of the described GDTs have been studied depending on the pressure of the neon buffer gas, the pulse repetition rate (PRR), and the pump power. The results showed that the operating value of the buffer gas pressure is 20–30 Torr, typical for this class of lasers. It should be noted that the PRF

for copper vapor lasers with internal electrodes and a small volume does not exceed 20 kHz. For our GDTs, the optimal frequency values (according to the output power) were 55 kHz ( $V=8.3 \text{ cm}^3$ ) and 35 kHz ( $V=20 \text{ cm}^3$ ). This may be due to the fact that in a barrier discharge the energy input necessary for pumping (when working with small storage capacitances) is achieved at higher frequencies. At optimal pressures Ne and PRR, an increase in the pump power to 1.2–1.3 kW for a GDT with a volume of  $8.3 \text{ cm}^3$  made it possible to obtain a radiation power of 1.5 W. For a GDT with a volume of  $20 \text{ cm}^3$  and an excitation power of 1.7 kW, the output power reached 2.6 W. In this case, with an increase in the pump power, the output power increased linearly. The registration of electrical pulses on the GDT showed that, as in capacitively pumped metal halide vapor lasers, generation occurs during the charging of electrode capacitances. The lasing pulse duration, as in standard lasers, was 10–20 ns.

Thus, based on the results obtained, we can conclude that a capacitive discharge can be used to obtain practically significant lasing power of pure metal vapor lasers with a small active volume.

УДК 517.443+519.2:004+531.36

ГРНТИ 30.19.21

ВАК 05.13.01

### **Новые методы создания газовых активных сред**

\* Панченко А. Н., Тарасенко В. Ф.

*Институт сильноточной электроники СО РАН, 634055, Россия,  
г. Томск, пр. Академический 2/3*

email: \* alexei@loi.hcei.tsc.ru, vft@loi.hcei.tsc.ru

В настоящее время лазеры на основе газоразрядных активных сред находят широкое применение при проведении исследований взаимодействия излучения с веществом, в многочисленных технологических приложениях, медицине, биологии, при синтезе новых материалов и модификации их свойств, фотостимулирования различных химических процессов, в фотобиологии, фотомедицине, т. д. [1, 2]. Поэтому поиск новых методов формирования активных сред на основе объемных разрядов с целью улучшения лазерных параметров, поиск новых режимов работы газовых лазеров остается актуальной задачей, имеющей большое научное и практическое значение.

Для формирования активных сред на основе самостоятельных разрядов в газах высокого давления, как правило, используются генераторы, основанные на емкостных накопителях энергии (ЕНЭ), которые не всегда позволяют реализовать максимальные режимы работы лазеров.

В нашем докладе рассмотрены новые способы формирования объемных разрядов индуктивными накопителями энергии (ИНЭ) [3] и генераторами нс импульсов, при использовании которых диффузная плазма формируется убегающими электронами [4].

При использовании ИНЭ определены условия эффективной работы активных сред на основе смесей  $SF_6$  с  $H_2$  и  $D_2$ , получен предельный кпд HF(DF) – лазеров. Реализован режим работы эксиплексных лазеров с длительностью импульса излучения до 500 нс при энергии излучения более 1 Дж и кпд более 1 %. Получен режим генерации прямоугольных УФ-импульсов на  $S^3P_u - V^3P_g$  переходе  $N_2$  с полной длительностью более 50 нс и высоким кпд. Показана возможность разгрузки нижнего уровня перехода  $S^3P_u - V^3P_g$  вынужденными переходами первой положительной системы  $V^3P_g - A^3\Sigma_u^+$ , позволяющая увеличить длительность излучения на  $\lambda = 337,1$  нм до 100 нс

В активных средах на основе диффузного разряда, формируемого в неоднородном электрическом поле убегающими электронами, реализованы предельные кпд работы  $N_2$  и HF лазеров, получена максимальная эффективность ВУФ  $F_2$  лазера. Показано, что добавки буферных газов приводят к увеличению длительности импульса и энергии излучения ВУФ лазера на молекулярном водороде.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Соглашение № 075-15-2021-1026 от 15.11.2021.

### Список литературы

1. Oppenländer T. Photochemical Purification of Water and Air. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2003. 368 p.
2. Laser Ablation and its Applications. / Ed. by C. Phipps. New-York: Springer Science+Business Media LLC., 2007. 588 p.
3. Panchenko A. N., Tarasenko V. F. // Progress in Quantum Electronics. 2012. Vol.36. No.1. P.14-3193.
4. Panchenko A. N., Sorokin D. A., Tarasenko V. F. // Progress in Quantum Electronics. 2021. Vol.76. 100314, 36 pp.

### **New methods for obtaining gaseous active media**

Panchenko A. N., Tarasenko V. F.

*Institute of High Current Electronics SB RAS, 634055, Russia,  
Tomsk, Academichesky Av., 2/3*

Currently, lasers based on gas-discharge active media are widely used in studies of the interaction of radiation with matter, in numerous technological applications, medicine, biology, in the synthesis of new materials and modification of their properties, photostimulation of various chemical processes, in photobiology, photomedicine, etc. [1, 2]. Therefore, the search for new methods for the formation of active media based on volume discharges in order to improve laser parameters, the search for new operating modes of gas lasers remains an urgent task of great scientific and practical importance.

As a rule, generators based on capacitive energy storage (CES) are used for the formation of active media based on self-sustained discharges in high-pressure gases, which do not always allow realizing the maximum operating modes of lasers.

In our report, we consider new methods for the formation of volume discharges by inductive energy storage (IES) [3] and generators of

ns pulses, using which diffuse plasma is formed by runaway electrons [4].

When using IES, the conditions for efficient operation of active media based on mixtures of SF<sub>6</sub> with H<sub>2</sub> and D<sub>2</sub> were determined, and the ultimate efficiency of HF(DF) lasers was obtained. The mode of operation of exciplex lasers with a radiation pulse duration of up to 500 ns output over 1 J and an efficiency over 1% has been implemented. A mode of generation of rectangular UV pulses on the C<sub>3</sub>Π<sub>u</sub>-B<sub>3</sub>Π<sub>g</sub> band of N<sub>2</sub> with a total duration of more than 50 ns and a high efficiency has been obtained. The possibility of quenching the lower level of the C<sub>3</sub>Π<sub>u</sub>-B<sub>3</sub>Π<sub>g</sub> transition is shown. Forced transitions of the first positive system B<sub>3</sub>Π<sub>g</sub>-A<sub>3</sub>Σ<sub>u</sub><sup>+</sup>, which makes it possible to increase the radiation duration at λ = 337.1 nm up to 100 ns.

In active media based on a diffuse discharge formed in an inhomogeneous electric field by runaway electrons, the ultimate efficiency of N<sub>2</sub> and HF lasers has been realized, and the maximum efficiency of the VUV F<sub>2</sub> laser has been obtained. It is shown that the addition of buffer gases leads to an increase in the pulse duration and output energy of a VUV molecular hydrogen laser.

The study is funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within Agreement no. 075-15-2021-1026 of November 15, 2021.

УДК 551.594+533.09.03

ГРНТИ 29.27.43

ВАК 1.3.9

### **Спектры излучения ксенона и аргона в области 120–800 нм при возбуждении диффузным субнаносекундным разрядом**

\* Тарасенко В. Ф., Панченко А. Н.

*Институт сильноточной электроники СО РАН, 634055, Россия,  
г. Томск, пр. Академический 2/3*

email: \* VFT@loi.hcei.tsc.ru, alexei@loi.hcei.tsc.ru

Излучение вторых континуумов димеров ксенона и аргона широко используется для создания источников спонтанного излучения в ВУФ области спектра, см., например, работы [1, 2]. В широком диапазоне давлений излучение вторых континуумов инертных газов доминирует при формировании диффузного разряда импульсами напряжения субнаносекундной длительности, определяя спектры ксенона и аргона [3, 4]. При этом, также регистрируется излучение третьих континуумов инертных газов. Контрагирование разряда приводит к появлению широкополосного рекомбинационного излучения, интенсивность которого наибольшая в приэлектродной области и из искрового канала.

Однако имеются публикации, см, например, статью [5], в которых утверждается обратное. При возбуждении ксенона короткими импульсами и формировании диффузного разряда сообщалось о наблюдении в области 150...430 нм мощного планковского излучения, интенсивность которого не зависела от давления ксенона в диапазоне 100...300 кПа и увеличивалась с уменьшением длины волны. Излучение димеров ксенона авторами [5] не регистрировалось.

В данном докладе представлены дополнительные экспериментальные результаты по регистрации спектров излучения ксенона и аргона при субнаносекундном диффузном разряде в неоднородном электрическом поле, формируемом за счёт убегающих электронов. Возбуждению инертных газов осуществлялось импульсами напряжения длительностью 0,7 нс.

Проведённые эксперименты подтвердили, что при импульсном диффузном разряде субнаносекундной длительности вторые континуумы димеров ксенона и аргона дают наибольший вклад в энергию излучения. При этом, интенсивность излучения второго континуума возрастала с ростом давления.

Считаем, что при измерениях параметров излучения в ВУФ области спектра авторы [5] не учли влияние динамического тока смещения на пин-диод. Это привело к регистрации короткого сигнала, длительность и амплитуда которого не зависели от давления ксенона.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Соглашение № 075-15-2021-1026 от 15.11.2021.

### Список литературы

1. Wilkinson P. G., and Tanaka Y. New xenon light source for the vacuum ultraviolet // JOSA. 1955. V. 45. No. 5. P. 344–349.
2. Boyd I. W., Zhang J.-Y., and Kogelschatz U. Development and applications of UV excimer lamps. In Book Photo-Excited processes, Diagnostics and Applications. Ed. A. Peled. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003, P. 161–199.
3. Panchenko A. N., Beloplotov D. V., Kozevnikov V. V., Sorokin D. A., and Tarasenko V. F. Wide emission bands of plasma of a subnanosecond discharge in xenon and inaccuracies in their measurements // IEEE T. Plasma Sci. 2021 V. 49. P. 1614–1620.
4. Feng B., Panchenko A. N., Zhang C., Tarasenko V. F., Zhang C., Sorokin D. A., Kozevnikov V. V., and Shao T. Emission spectra of argon and hydrogen excited by pulses with durations of 0.7 and 160 ns in an inhomogeneous electric field // Journal of Physics D: Applied Physics. 2022. V. 55(40) P. 405202.
5. Baryshnikov V. I., Paperny V. L., and Chernykh A. A. Small-Sized nanosecond source of powerful wide-band VUV-UV radiation. In 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE), Tomsk. Russia. 2020, P. 107–110.

### **Emission spectra of xenon and argon in the range 120–800 nm upon excitation by a diffuse subnanosecond discharge**

\* Tarasenko V.F., Panchenko A.N.  
*Institute of High Current Electronics SB RAS, 634055, Russia,  
Tomsk, Academicheskyy Av., 2/3*

The radiation of the second continua of xenon and argon dimers is widely used to create sources of spontaneous emission in the VUV region of the spectrum, see, for example, [1, 2]. In a wide range of pressures, the radiation of the second continua of inert gases dominates during the formation of a diffuse discharge by voltage pulses of subnanosecond duration, determining the spectra of xenon

and argon [3, 4]. At the same time, the radiation of the third continua of inert gases is also recorded. The contraction of the discharge leads to the appearance of broadband recombination radiation, the intensity of which is highest in the near-electrode region and from the spark channel.

However, there are publications, see, for example, the article [5], which state the opposite. When xenon was excited by short pulses and a diffuse discharge was formed, it was reported that powerful Planck radiation was observed in the region of 150...430 nm, the intensity of which did not depend on the xenon pressure in the range of 100...300 kPa and increased with decreasing wavelength. The radiation of xenon dimers was not recorded by the authors of [5].

This report presents the results of verification experiments on the emission spectra of xenon and argon during a subnanosecond diffuse discharge in an inhomogeneous electric field formed by runaway electrons. Inert gases were excited by a voltage pulses with a duration of 0.7 ns.

The experiments carried out confirmed that, in the case of a subnanosecond pulsed diffuse discharge, the second continuums of xenon and argon dimers make the largest contribution to the radiation energy. In this case, the radiation intensity of the second continuum increased with increasing pressure.

We believe that when measuring the radiation parameters in the VUV region of the spectrum, the authors of [5] did not take into account the effect of the dynamic bias current on the pin diode. This led to the registration of a short signal, the duration and amplitude of which did not depend on the xenon pressure.

The study is funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within Agreement no. 075-15-2021-1026 of November 15, 2021.

УДК 543.452+681.785.2

ГРНТИ 59.35.29

ВАК 2.2.11

### **Волоконно-оптический рефрактометрический способ диагностики качества прозрачных жидкостей**

\* Мурашкина Т. И., Бадеев В. А., Аксенов А. М.

*Пензенский государственный университет, 440026, Россия,  
г. Пенза, ул. Красная 40*

email: \* [timurashkina@mail.ru](mailto:timurashkina@mail.ru), [vladbadeev4464@gmail.com](mailto:vladbadeev4464@gmail.com),  
[sandroaksyonov@gmail.com](mailto:sandroaksyonov@gmail.com)

Цель работы – разработка волоконно-оптического рефрактометрического способа измерения для диагностики качества прозрачных для видимого и ИК-излучения жидкостных сред, в первую очередь, в системах жизнеобеспечения.

Качество природных и техногенных жидкостей можно определять по изменению их коэффициента преломления при расположении жидкости в прозрачной микротрубке, расположенной в разрыве волоконно-оптического тракта [1].

Предлагаемый способ измерения показателя преломления жидкости позволяет снизить инструментальную составляющую погрешности взаимодействия измерительного преобразователя с жидкостью (которой требуется малое количество для размещения в микротрубке), а также методическую составляющую за счет простоты реализации способа измерения; проводить экспресс-измерения параметров жидкости в течение 5...20 с.

#### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке РФ грант № 23-29-10017

#### **Список литературы**

1 Бадеева Е. А., Бадеев В. А., Мурашкина Т. И. и др. Патент на изобретение 2796797 РФ, Волоконно-оптический способ определения коэффициента преломления прозрачного вещества и реализующий его волоконно-оптический рефрактометрический измерительный преобразователь. Опубл. 29.05.2023

2 Мурашкина Т. И., Бадеева Е. А. Волоконно-оптические приборы и системы: Научные разработки НТЦ "Нанотехнологии волоконно-оптических систем" Пензенского государственного университета Ч. I / СПб.: Политехника, 2018. 187 с. – с. 68

### **Fiber-optic refractometric method for diagnosing the quality of transparent liquids**

\* Murashkina T. I., Badeev V. A., Aksenov A. M.  
*Penza State University, 40 Krasnaya str., Penza, 440026, Russia*

The aim of the work is to develop a fiber-optic refractometric measurement method for diagnosing the quality of liquid media transparent to visible and IR radiation, primarily in life support systems.

The quality of natural and man-made liquids can be determined by the change in their refractive index when the liquid is located in a transparent microtubule located in the gap of the fiber-optic path [1].

The proposed method for measuring the refractive index of a liquid allows to reduce the instrumental component of the error of the interaction of the measuring transducer with a liquid (which requires a small amount to be placed in a microtubule), as well as the methodological component due to the simplicity of the measurement method; to carry out express measurements of liquid parameters for 5 ...20 s.

#### **Thanks**

The work was carried out with the support of the RNF grant No. 23-29-10017

УДК 535.8+535-4+577

ГРНТИ 29.33.51

ВАК 01.04.05

**Использование полупроводниковых лазеров в поляризационно-  
оптическом методе определения содержания глутаминовой кислоты  
и её солей в растворах**

Куценко С. А.

*Волгоградский государственный университет*

*400062, Россия, г. Волгоград, Университетский проспект 100*

*email: svetlana\_kutsenko@volsu.ru*

Глутаминовая кислота и препараты на её основе широко применяются в фармакологии, медицине, пищевой промышленности. Наличие и количественное содержание аминокислот обычно определяют методами хроматографии, титрования [1], спектроскопии. В данной работе представлен метод, основанный на зависимости поворота плоскости поляризации лазерного излучения, прошедшего через раствор от его концентрации. В качестве источников излучения использовались полупроводниковые лазеры с длинами волн 650 нм, 532 нм и 405 нм. Полученные линейные зависимости углов поворота плоскости поляризации от концентрации растворов позволяют использовать их для определения количественного содержания аминокислоты. Показано, что чувствительность метода зависит от длины волны излучения и кислотности растворов. Наименьшую концентрацию 0,04 % глутаминовой кислоты и 0,8 % глутамата натрия удалось определить при использовании лазерного излучения на длине волны 405 нм в водном растворе с  $\text{pH} = 7$ . Экспериментальные результаты хорошо согласуются с данными квантовохимических расчётов характеристик оптической активности исследуемых веществ [2].

**Список литературы**

1. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV издание. Ч. 1. ОФС 1.1.0012.15 “Валидация аналитических методик”. М.: Научный центр экспертизы средств медицинского применения, 2018. С. 276.
2. Kutsenko S. A., Nosachenko V. S. Determining the type of isomer of glutamic acid by the spectral characteristics of the optical rotation. International Conference on Coherent and Nonlinear Optics (ICONO 2013). Moscow, Russia, June 17–23, 2013, ITuQ23.

**The use of semiconductor lasers in the polarization-optical method  
for determining the content of glutamic acid and its salts in  
solutions**

Kutsenko S. A.

*Volgograd State University*

*400062, Russia, Volgograd, University Avenue 100*

Glutamic acid and preparations based on it are widely used in pharmacology, medicine, and the food industry. The presence and quantitative content of amino acids are usually determined by chromatography, titration [1], and spectroscopy. The method, based on the dependence of the rotation of the plane of polarization of laser radiation passing through a solution on its concentration is presented in this paper. Semiconductor lasers with wavelengths of 650 nm, 532 nm, and 405 nm were used as radiation sources. The obtained linear dependences of the angles of rotation of the polarization plane on the concentration of solutions make it possible to use them to determine the quantitative content of the amino acid. It is shown that the sensitivity of the method depends on the wavelength of the radiation and the acidity of the solutions. The lowest concentration of 0.04 % glutamic acid and 0.8 % monosodium glutamate was determined using laser radiation at a wavelength of 405 nm in an aqueous solution with PH = 7. The experimental results are in good agreement with the data of quantum chemical calculations of the characteristics of the optical activity of the studied substances [2].

УДК 535.92+621.382  
ГРНТИ 49.44.31  
ВАК 05.12.13

### **Особенности работы детектора одиночных фотонов на установке EMQOS 1.0, сопряженной с АОЛС**

\* Бахус А. В., Казанцев С. Ю., Казиева Т. В., Пчелкина Н. В.  
*Московский технический университет связи и информатики,  
111024, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная 8а*  
email: \* a.v.bahus@mtuci.ru, s.i.kazantsev@mtuci.ru,  
t.v.kazieva@mtuci.ru, n.v.pchelkina@mtuci.ru

Ранее была показана перспективность модульного подхода к созданию систем атмосферной оптической связи, защищённой по технологии КРК на основе применения серийного оборудования, выпускаемых российскими фирмами [1]. Исследования [2] выявили необходимость доработки серийных терминалов АОЛС, после чего в [3] была продемонстрирована успешная реализация КРК на научно-образовательном комплексе EMQOS 1.0 в темное время суток. В настоящей работе представлены результаты исследований эффективности и частоты темновых отчетов детектора одиночных фотонов НОК EMQOS 1.0, подключенному к терминалам АОЛС, аналогично [3] при разной освещенности терминала. Показано, что установка дополнительного спектрального фильтра позволяет устранить деструктивное влияние внешней фоновой засветки на работу квантовой атмосферной связи.

#### **Список литературы**

1. Боев А. А. и др. Возможность построения модульной системы квантового распределения ключей в атмосфере // Письма в ЖТФ, – 2022. – Т. 48. – №. 15. – С. 15–18. EDN: MMPYRN
2. Bolotov D. V. et al. A Method for Estimating Losses in a Quantum Channel for Implementing Quantum Key Distribution Technology for Atmospheric Laser Communication Terminals // 2022 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). – IEEE, 2022. – pp. 1–5. EDN: WFQNYF.
3. Bolotov D. V. et al. Modular Facility of Quantum Key Distribution in a Free Space // 2023 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). – IEEE, 2023. – pp. 1–5. doi: 10.1109/WECONF57201.2023.10148017.

**The features of the single photon detector on the EMQOS 1.0 platform, connected with the AOCL**

Bahus A. V., Kazantsev S. Yu., Kazieva T. V., Pchelkina N. V.  
*Moscow Technical University of Communications and Informatics, 111024, Russia, Moscow, str. Aviamotornaya 8a*

The previous research has shown the potential of a modular approach to creating atmospheric optical communication systems protected by quantum key distribution (QKD) technology using serial equipment produced by Russian companies [1]. Studies [2] have identified the need for modifications to the serial terminals of atmospheric optical communication lines (AOCL), after which successful implementation of QKD was demonstrated on the EMQOS 1.0 scientific and educational complex during nighttime [3]. This paper presents the results of efficiency and dark count rate of the single-photon detector on the EMQOS 1.0 setup connected to AOCL terminals, similar to [3], under different terminal illuminations. It is shown that installing an additional spectral filter allows for the elimination of the destructive influence of external background illumination on the operation of quantum atmospheric communication.

УДК 530.145+535.92  
ГРНТИ 49.44.31  
ВАК 05.12.13

### **Квалиметрический анализ тенденций развития квантовых технологий**

\* Зотова А. М., Казанцев С. Ю., Пчелкина Н. В.  
*Московский технический университет связи и информатики,  
11024, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная 8а  
email: \* zotovaam2015@mail.ru, s.i.kazantsev@mtuci.ru,  
n.v.pchelkina@mtuci.ru*

Прогресс в квантовых технологиях оказывают значительное влияние на развитие различных областей науки и техники, поэтому планирование и оптимальное распределение инвестиций в эти технологии чрезвычайно важны [1]. Представлен анализ тенденций развития квантовых технологий, которые разделялись на три основные области: квантовая сенсорика, квантовые коммуникации и квантовые компьютеры. Показано, что, используя данные наукометрических баз и методика, описанные в [2, 3], можно качественно оценить степень готовности технологии, провести сравнительный анализ тенденций развития различных технологических направлений, а также выявить основные точки роста технологии, что позволяет более эффективно управлять ресурсами для достижения поставленной цели. Предложенный в работе подход будет полезен в сфере образования при распределении студентов и аспирантов по специальностям, соответствующим разным направлениям квантовых технологий.

#### **Список литературы**

1. Федоров А. К. Квантовые технологии: от научных открытий к новым приложениям // Фотоника. 2019. Т. 13. №. 6. С. 574–583.
  2. Машковцева Л. С. и др. Наукометрический анализ публикаций по источникам одиночных фотонов для систем связи с квантовым распределением ключей // Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы. – 2022. – № 1. – С. 22–31. doi: 10.36535/0548-0019-2022-01-3.
  3. Миронов Ю. Б. и др. Анализ перспектив развития источников одиночных фотонов в системах квантового распределения ключей // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2021. – Т. 13. – №. 6. – С. 22–33.
- Перевод на английский

### **Qualimetric analysis of trends in the quantum technologies**

Zotova A. M., Kazantsev S. Y., Pchelkina N. V.

*Moscow Technical University of Communications and Informatics,  
111024, Russia, Moscow, str. Aviamotornaya 8a*

Progress in quantum technologies has a significant impact on the development of various fields of science and technology, so planning and optimal distribution of investments in these technologies is extremely important [1]. Using the methods of qualimetry, the report presents an analysis of the trends in the development of quantum technologies, which, according to [1], were divided into three main areas: quantum sensors, quantum communications, and quantum computers. It is shown that, using the data of scientometric databases and the methods described in [2, 3], it is possible to qualitatively assess the degree of readiness, conduct a comparative analysis of development trends of various technologies, and also identify the main points of technology growth, which allows more efficient management of resources to achieve the set goals. The approach proposed in the paper will be useful in the field of education in the distribution of students and graduate students in specialties corresponding to different areas of quantum technologies.

УДК 535.031  
ГРНТИ 29.31.26  
УДК 1.3.6

**Экспериментальное исследование влияния керровской нелинейности  
волоконного световода на спектральные характеристики  
оптического излучения**

Андреев Д. П.

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра  
Великого, Санкт-Петербург,  
e-mail: andreev.dp@edu.spbstu.ru*

Экспериментально исследован эффект керровской нелинейности волоконного световода и возможность его использования для получения широкополосного источника излучения. Для исследования использовались стандартные компоненты: одномодовый лазер для DWDM-систем, эрбиевый усилитель, стандартный одномодовый волоконный световод. Результаты исследования хорошо согласуются с расчётными значениями.

Эффект керровской нелинейности используется для повышения информационной емкости волоконно-оптических линий передачи данных, для создания устройств фотоники с заданными параметрами [1–5]. В частности, с использованием нелинейных свойств волоконных световодов могут быть получены широкополосные источники излучения, в том числе генераторы белого света. Целью исследования была проверка возможности наблюдения эффекта уширения оптического спектра вследствие керровской нелинейности волоконного световода при использовании стандартных компонентов.

Для экспериментального наблюдения использовалась установка, включающая лазерный источник, узкополосный фильтр, оптический Er-усилитель, стандартный одномодовый волоконный световод длиной 50 км, анализатор оптического спектра. Рабочая длина волны лазера 1546,12 нм. Параметры волоконного световода: хроматическая дисперсия 17 пс/нм/км, коэффициент Керровской нелинейности  $1,2 \text{ Вт}^{-1}\text{км}^{-1}$  потери 0,2 дБ/км. Эрбиевый усилитель обеспечивал в волоконном световоде оптическую мощность 24 дБм. Уширение спектра соответствовало расчетному значению. Проведённые исследования показали, что для достижения большей ширины спектра на выходе волоконного световода нужно использовать лазер с узким спектром для ввода излучения. Для

повышения эффективности могут использоваться узкополосные фильтры.

Таким образом продемонстрирована возможность уширения спектра оптического сигнала в волоконном световоде при использовании стандартных компонентов. Для усиления эффекта может использоваться волоконный световод со смещённой (уменьшённой) дисперсией.

### **Список литературы**

1. Agrawal, G. Fiber-Optics Communication Systems / G. Agrawal // 5th Edition – New York, 2021.
2. Трешиков В. Н., Луствин В. Н. DWDM-системы. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021. – 420 с.
3. Agrawal, G. Nonlinear Fiber Optics / G. Agrawal // 6th Edition – Elsevier, 2019.
4. Привалов В. Е., Колебания в разряде газового лазера. // Квантовая электроника 4 (10), 2085–2119 1977.
5. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Параметры лидара ДПР. // Оптический журнал 66 (2), 40–42 1999.

### **Experimental study of the effect of the Kerr nonlinearity of a fiber fiber on the spectral characteristics of optical radiation**

Andreev D. P.

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
St. Petersburg*

The effect of the Kerr nonlinearity of a fiber fiber and the possibility of its use to obtain a broadband radiation source have been experimentally investigated. Standard components were used for the study: a single-mode laser for DWDM systems, an erbium amplifier, and a standard single-mode fiber light guide. The results of the study are in good agreement with the calculated values.

The Kerr nonlinearity effect is used to increase the information capacity of fiber-optic data transmission lines, to create photonics devices with specified parameters[1-5]. In particular, broadband radiation sources, including white light generators, can be obtained using the nonlinear properties of fiber light guides. The aim of the study was to test the possibility of observing the effect of broadening the optical spectrum due to the Kerr nonlinearity of the fiber fiber when using standard components.

For experimental observation, an installation was used, including a laser source, a narrow-band filter, an optical signal amplifier, a

standard single-mode fiber fiber with a length of 50 km, and an optical spectrum analyzer. The working wavelength of the laser is 1546.12 nm. Fiber fiber parameters: chromatic dispersion 17 ps/nm/km, Kerr nonlinearity coefficient  $1.2 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$  loss 0.2 dB/km. The erbium amplifier provided an optical power of 24 dBm in the fiber light guide. The broadening of the spectrum corresponded to the calculated value. The conducted studies have shown that in order to achieve a larger spectrum width at the output of the fiber fiber, it is necessary to use a laser with a narrow spectrum for the input of radiation. Narrowband filters can be used to increase efficiency.

Thus, the possibility of broadening the spectrum of an optical signal in a fiber optic fiber using standard components is demonstrated. To enhance the effect, a fiber light guide with offset (reduced) dispersion can be used.

УДК 535:621.373.8

ГРНТИ 29.33.15

ВАК 01.04.21

### **Многоволновый режим генерации ионного лазера на тройной смеси паров мышьяка с гелием и неоном**

Иванов И. Г.

*Южный федеральный университет, 344090, Россия,*

*г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге 5*

email: ig.ivanov@mail.ru

Ранее нами с целью увеличения набора длин волн лазеров на ионных переходах Tl, Cu, Ag и Te было предложено использовать двухкомпонентный буферный газ — смесь гелия и неона [1]. Использование такого буферного газа для накачки паров металла в плазме отрицательного свечения разряда с полым катодом (ОСРПК) позволило обеспечить одновременную накачку большего, по сравнению с однокомпонентными буферными газами, числа ионных квантовых переходов этих металлов без усложнения конструкции лазера. Этот эффект объясняется тем, что в ионном энергетическом спектре некоторых металлов, к которым и относятся Tl, Cu, Ag и Te, имеются две группы энергетических уровней и квантовых переходов. Уровни и переходы первой группы эффективно заселяются перезарядкой рабочих атомов на ионах гелия, а уровни и переходы второй группы — перезарядкой на ионах неона [1,2].

Цель данной работы состояла в анализе возможности одновременной накачки ионных квантовых уровней и лазерных переходов еще одного вещества, паров мышьяка, в плазме ОСРПК в двухкомпонентном буферном газе смеси — гелия и неона. Оказалось, что в таком режиме разряда возможна одновременная генерация на переходах в синей части спектра с  $\lambda = 455,06$  нм (переход  $5d\ ^3F_2 - 5p\ ^3D_1\ As^+$ ) и  $\lambda = 459,28$  нм (переход  $5d\ ^3F_3 - 5p\ ^3D_2\ As^+$ ), и в зелёной части спектра с  $\lambda = 507,82$  нм (переход  $5d\ ^3F_4 - 5p\ ^3D_3\ As^+$ ) за счёт накачки перезарядкой атомов мышьяка с гелием (реакция в плазме:  $He^+ + As_0 \rightarrow He_0 + As^{**}$ ), а также — в красной части спектра с  $\lambda = 602,48$  нм (переход  $4s^2 4p 5p\ ^1P_1 - 4s^2 4p 5s^3P_0\ As^+$ ) за счёт накачки перезарядкой с неоном (реакция в плазме  $Ne^+ + As_0 \rightarrow Ne_0 + As^{**}$ ). В результате лазер на смеси He-Ne-As с накачкой в ОСРПК становится источником одновременного излучения трёх базовых цветов: синего, зелёного и красного.

Теоретический анализ процессов накачки четырех лазерных переходов  $As^+$  в плазме ОСРПК выполнялся с использованием модели, описанной в [2]. Результаты расчетов дали возможность оптимизировать параметры разряда, а также прогнозировать значения энергетических характеристик He-Ne-As лазера. Таким образом, использование двухкомпонентного буферного газа в лазере на парах мышьяка позволило обеспечить режим его работы на большем числе длин волн с трёхцветным выходным излучением.

### Список литературы

1. Иванов И. Г., Мадан Д. В. Многоволновый режим генерации ионного лазера с РПК на тройной смеси паров таллия с гелием и неоном // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте-2019: труды XXVII международной конференции (9-14 сентября 2019 г.-Новороссийск). Изд. ФГБОУВО «КубГТУ», 2019.-С. 17-19.
2. Ryazanov A. V. About Creation of Population Inversion in Mixture of Inert Noble Gas and Metal Vapor / Ryazanov A. V., Ivanov I. G., Privalov V. E. // Optical Memory and Neural Networks. 2014. Vol. 23. N 3. P. 177-184.

### **Multiwave mode of ion laser action on a triple mixture of arsenic vapors with helium and neon**

Ivanov I. G.

*Southern Federal University, 344090, Russia,  
Rostov-on-Don, R. Sorge str. 5*

Previously, in order to increase the set of wavelengths of lasers at Tl, Cu, Ag and Te ion transitions, it was proposed to use a two-component buffer gas-mixture of helium and neon [1]. The use of such a buffer gas to pump metal vapors in the plasma of negative glow of the hollow cathode discharge (NGHCD) made it possible to simultaneously pumping a larger number of ion quantum transitions of these metals compared to single-component buffer gases without complicating the laser design. This effect is explained by the fact that in the ionic energy spectrum of some metals, which include Tl, Cu, Ag and Te, there are two groups of energy levels and quantum transitions. The levels and transitions of the first group are effectively populated by charge transfer reaction between the working atoms and helium ions, and the levels and transitions of

the second group are effectively populated by charge transfer reaction with neon ions [1, 2].

The purpose of this work was to analyze the possibility of simultaneous pumping of ion quantum levels and laser transitions of another substance, arsenic vapors, in the NGHCD plasma in a two-component buffer gas-mixture of helium and neon. It turned out that in this discharge mode, simultaneous generation is possible at transitions in the blue part of the spectrum with  $\lambda = 455,06$  nm (transition  $5d\ ^3F_2 - 5p\ ^3D_1$ ,  $As^+$ ) and  $\lambda = 459,28$  nm (transition  $5d\ ^3F_3 - 5p\ ^3D_2$ ,  $As^+$ ), and in the green part of the spectrum with  $\lambda = 507,82$  nm (transition  $5d\ ^3F_4 - 5p\ ^3D_3$ ,  $As^+$ ) due to charge transfer pumping of the As atoms colliding with helium ions (reaction in plasma:  $He^+ + As_0 \rightarrow He_0 + As^{*+}$ ), as well as in the red part of the spectrum with  $\lambda = 602,48$  nm (transition  $4s^2 4p\ 5p\ ^1P_1 - 4s^2 4p\ 5s\ ^3P_0$ ,  $As^+$ ) due to charge transfer pumping of the As atoms colliding with neon ions (reaction in plasma:  $Ne^+ + As_0 \rightarrow Ne_0 + As^{*+}$ ). As a result, a laser on a mixture of He-Ne-As with pumping in the NGHCD becomes a source of simultaneous emitting of three basic colors: blue, green and red.

Theoretical analysis of the pumping processes of the four  $As^+$  laser transitions in the NGHCD plasma was performed using the model described in [2]. The results of the calculations made it possible to optimize the discharge parameters, as well as predict the values of the energy characteristics of the He-Ne-As laser.

Thus, the use of a two-component buffer gas in an arsenic vapor laser made it possible to ensure its operation at a larger number of wavelengths with three-color output radiation.

УДК 543.452, 681.785.2

ГРНТИ 59.35.29

ВАК 2.2.11

### **Волоконно-оптический рефрактометрический способ диагностики качества прозрачных жидкостей**

\* Мурашкина Т. И., Бадеев В. А., Аксенов А. М.

*Пензенский государственный университет, 440026, Россия,  
г. Пенза, ул. Красная 40*

email: \*timurashkina@mail.ru, vladbadeev4464@gmail.com,  
sandroaksyonov@gmail.com

Цель работы – разработка волоконно-оптического рефрактометрического способа измерения для диагностики качества прозрачных для видимого и ИК-излучения жидкостных сред, в первую очередь, в системах жизнеобеспечения.

Качество природных и техногенных жидкостей можно определять по изменению их коэффициента преломления при расположении жидкости в прозрачной микротрубке, расположенной в разрыве волоконно-оптического тракта [1].

Предлагаемый способ измерения показателя преломления жидкости позволяет снизить инструментальную составляющую погрешности взаимодействия измерительного преобразователя с жидкостью (которой требуется малое количество для размещения в микротрубке), а также методическую составляющую за счет простоты реализации способа измерения; проводить экспресс-измерения параметров жидкости в течение 5...20 с.

#### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке РФ грант № 23-29-10017

#### **Список литературы**

1 Бадеева Е.А., Бадеев В.А., Мурашкина Т.И. и др. Патент на изобретение 2796797 РФ, Волоконно-оптический способ определения коэффициента преломления прозрачного вещества и реализующий его волоконно-оптический рефрактометрический измерительный преобразователь. Оpubл. 29.05.2023

2 Мурашкина Т. И., Бадеева Е. А. Волоконно-оптические приборы и системы: Научные разработки ИТЦ "Нанотехнологии волоконно-оптических систем" Пензенского государственного университета Ч. I / СПб.: Политехника, 2018. 187 с. с. 68

### **Fiber-optic refractometric method for diagnosing the quality of transparent liquids**

\* Murashkina T. I., Badeev V. A., Aksenov A. M.  
*Penza State University, 40 Krasnaya str., Penza, 440026, Russia*

The aim of the work is to develop a fiber-optic refractometric measurement method for diagnosing the quality of liquid media transparent to visible and IR radiation, primarily in life support systems.

The quality of natural and man-made liquids can be determined by the change in their refractive index when the liquid is located in a transparent microtubule located in the gap of the fiber-optic path [1].

The proposed method for measuring the refractive index of a liquid allows to reduce the instrumental component of the error of the interaction of the measuring transducer with a liquid (which requires a small amount to be placed in a microtubule), as well as the methodological component due to the simplicity of the measurement method; to carry out express measurements of liquid parameters for 5 ...20 s.

#### **Thanks**

The work was carried out with the support of the RNF grant No. 23-29-10017

УДК 681.786.3  
ГРНТИ 59.31.35  
ВАК 2.2.11

**Метрологическая модель волоконно-оптического датчика давления языка на небо аттенюаторно-отражательного типа**

<sup>1</sup> Бадеева Е. А., <sup>1</sup> Мурашкина Т. И., <sup>1</sup> Паршикова Т. В. <sup>1</sup> Бадеев В. А.,

<sup>2</sup> Васильев Ю. А., <sup>2</sup> Плотникова Е. Ю., <sup>2</sup> Пономаренко Т. В.

<sup>1</sup> Пензенский государственный университет, 440026, Россия,  
г. Пенза, ул. Красная 40

<sup>2</sup> Кубанский государственный медицинский университет, 440026,  
Россия, 350063, г. Краснодар, ул. им. М.Седина,4

email: \* badeeva\_elen@mail.ru, timurashkina@mail.ru,

ms.parshikova01@mail.ru, vladbadeev4464@gmail.com,

yurii-59@mail.ru

Приведены результаты метрологического анализа волоконно-оптического датчика давления (ВОДД) языка на небо аттенюаторно-отражательного типа на основании разработанных конструктивной структурной и функциональной схем и структурной метрологической модели. Определены возможные источники погрешностей и даны рекомендации по их снижению. Основные источники погрешностей: неточность юстировки подводящих и отводящих оптических волокон относительно источника и приемников излучения, аттенюатора, изменение светопропускания светового потока при изгибах оптических волокон. Часть погрешностей может быть снижена в процессе сборки датчика точной юстировкой элементов конструкции датчика. Многие погрешности носят систематический характер, поэтому могут быть учтены при обработке сигналов. Часть погрешностей уменьшается при реализации двухканального логометрического преобразования сигналов.

**Благодарности**

Работа выполнена при поддержке РФФИ и КНФ грант 22-15-20069

**Список литературы**

1. Бростилова Т. Ю., Бростилов С. А., Мурашкина Т. И., Бадеева Е. А., Горячев Н. В. Метрологическая модель дифференциального ВОДД с отражательным аттенюатором / Проектирование электронных устройств и комплексов №2, 2016 с. 34-39

2. Шлыков Г. П. Статические предельные метрологические модели линейных измерительных преобразователей. Серия «Метрология», Вып. 1: Лекция. Пенза: ПГУ, каф. МСК, 2003. 24 с.

**Metrological model of a fiber-optic tongue pressure sensor on the palate of an attenuator-reflective type**

<sup>1</sup>Badeeva E. A., <sup>1</sup>Murashkina T. I., <sup>1</sup>Parshikova T. V. <sup>1</sup>Badeev V. A.

<sup>2</sup>Vasiliev Yu. A., <sup>2</sup>Plotnikova E. Yu., <sup>2</sup>Ponomarenko T. V.

<sup>1</sup>*Penza State University, 40 Krasnaya str., Penza, 440026, Russia*

<sup>2</sup>*Kuban State Medical University, 440026, Russia, 350063, Krasnodar, M.Sedin str. 4*

The results of the metrological analysis of the fiber-optic pressure sensor (FOPS) of the tongue on the palate of the attenuator-reflective type on the basis of the developed structural and functional schemes and structural metrological model are presented. Possible sources of errors are identified and recommendations for their reduction are given. The main sources of errors: inaccuracy of the alignment of the incoming and outgoing optical fibers relative to the source and receivers of radiation, attenuator, change in the light transmission of the light flux during bends of optical fibers. Some of the errors can be reduced during the assembly of the sensor by precise adjustment of the sensor design elements. Many errors are systematic in nature, so they can be taken into account when processing signals. Some of the errors are reduced when implementing a two-channel logometric signal conversion.

**Thanks**

The work was carried out with the support of the RNF and KNF grant 22-15-20069

УДК 535.243+535.36  
ГРНТИ 29.31.26+76.13.15  
ВАК 1.3.6+2.2.6

### **Влияния параметров и характеристик спектральной аппаратуры на результаты определения оптических характеристик биообъектов**

Кугейко М. М., Фиразо В. А.

*Белорусский государственный университет, 220030, пр-т  
Независимости, 4, Минск, Беларусь*

e-mail: kugeiko@bsu.by

Рассмотрены принципы исключения влияния параметров и характеристик спектральной аппаратуры на результаты определения оптических характеристик биообъектов. Оценены возможности самокалибрующего метода определения степени насыщения коры головного мозга кислородом, включающего регистрацию сигналов диффузного отражения на двух расстояниях вправо и влево от точки ввода оптического излучения.

В задаче обработки данных оптико-физических измерений необходима разработка таких способов их обработки, которые позволили бы максимально исключить априорную информацию или допущения об исследуемом объекте, необходимость внесения поправок на фон и дрейф показаний приборов, влияния окружающей среды, или иначе, методов обработки, которые базируются на концепции «дезаприорности». Суть данной концепции касательно задачи интерпретации данных оптико-физических измерений заключается в минимальном использовании априорной информации или допущений об исследуемой среде, получении опорных (калибровочных) значений определяемых параметров без проведения дополнительных независимых измерений, решению проблемы калибровочных измерений (максимальном исключении влияния характеристик аппаратуры и параметров используемых физических процессов на результаты измерений).

Важное место в оптической диагностике биообъектов занимает спектроскопия диффузного отражения (ДО) с пространственным разрешением [1–3]. В методах спектроскопии ДО с пространственным разрешением на первом этапе определяют значения оптических параметров (ОП) ткани (спектральные показатели поглощения  $\mu_a(\lambda)$  и приведённого рассеяния

$$\mu'_s(\lambda) = (1 - g)\mu_s(\lambda),$$

где  $\mu_s$  – показатель рассеяния, а  $g$  – средний косинус угла рассеяния) на длинах волн оптического зондирования путем сравнения экспериментальных и рассчитанных теоретически (в рамках модели переноса света в ткани) пространственных профилей обратного рассеяния (ОР) ткани (т. е. обратно рассеянных тканью световых потоков, регистрируемых на нескольких расстояниях от области её облучения). При использовании диффузионного приближения достаточно однозначно удается определять спектральный показатель ослабления излучения

$$\mu_{\text{eff}}(\lambda) = \{3\mu_a(\lambda)[\mu'_s(\lambda) + \mu_a(\lambda)]\}^{1/2}.$$

Поэтому приходится решать задачу по разделению  $\mu_{\text{eff}}(\lambda)$  на две составляющие  $\mu_a(\lambda)$  и  $\mu'_s(\lambda)$ .

Следует также отметить, что известные методы анализа спектральных, пространственных профилей ОР биотканей либо не обеспечивают необходимой для практики точности, либо требуют больших вычислительных затрат и поэтому исключают возможность оперативной количественной интерпретации экспериментальных данных. Повышение точности регистрируемых сигналов требует исключения калибровочных измерений, включающих знание аппаратных констант приёмо-излучающих, измерительных блоков, влияния среды на результаты измерений. Принцип исключения данных влияний («бескалибровочности») предложен впервые в [4]. Развитие данного подхода с другой геометрией измерений получил в методе самокалибровки, предложенном в [5]. Идея основана на симметричных мультидистанционных измерениях: для получения спектральной зависимости  $\mu_{\text{eff}}(\lambda_i)$  исследуемой ткани необходимо обеспечить не менее четырех измерений на каждой длине волны  $\lambda_i$  с применением двух источников и двух детекторов с симметричной конфигурацией.

В докладе анализируются возможности самокалибрующего метода определения степени насыщения коры головного мозга кислородом, основанного на регистрации сигналов диффузного отражения на двух расстояниях  $\rho_k$ , расположенных слева и справа от точки ввода широкополосного потока  $\Phi_s(\lambda)$  оптического излучения. При моделировании процесса переноса излучения в коре головного мозга применяют диффузионную функцию Грина [2, 3]. Если не учитывать влияние границы раздела ткани и воздушной среды, что возможно при контакте оптоволоконных зондов с тканью (показатели преломления живых тканей и

кварцевых оптоволокон различаются несильно, поэтому если плоскость площадки размещения излучателей и фотоприёмников выполнена полностью из материала с показателем преломления около 1,4 и её внешняя сторона поглощает полностью излучение, которое выходит из среды), можно записать выражение для усреднённого показателя  $\bar{\mu}_{\text{eff}}(\lambda_i)$  с учётом обстоятельства, что на практике используемые расстояния  $\rho_k$  будут всегда немного отличаться друг от друга,

$$\mu_{\text{eff}}(\lambda_i) \approx \frac{1}{\rho_{GL} - \rho_{SL} + \rho_{GR} - \rho_{SR}} \ln \left( \frac{V_m(\lambda_i, \rho_{SL}) V_m(\lambda_i, \rho_{SR}) \rho_{SL} \rho_{SR}}{V_m(\lambda_i, \rho_{GL}) V_m(\lambda_i, \rho_{GR}) \rho_{GL} \rho_{GR}} \right), \quad (1)$$

где  $\rho_G$  и  $\rho_S$  – большее и меньшее из используемых расстояний (L относится к точкам, расположенным слева от излучающего зонда, а R – справа) между точками ввода излучения в ткань и точками регистрации выходящего из ткани диффузно рассеянного излучения. Глубина размещения эквивалентного изотропного источника излучения для живых тканей небольшая, поскольку  $\mu'_s(\lambda)$  для них изменяется примерно от  $5 \text{ см}^{-1}$  при  $\lambda$  около 1000 нм до  $15\text{--}20 \text{ см}^{-1}$  в области, соответствующей сине-зелёному цвету. Поэтому при  $\rho > 20 \text{ мм}$  и соблюдении выше указанных условий можно использовать (1) для исследования сатурации гемоглобина крови коры головного мозга.

Обсуждаются результаты, получаемые при использовании модели диффузионного приближения и самокалибрующегося метода для тканей руки. Приводятся соответствующие зависимости  $\mu_{\text{effL}}^*(\lambda)$  и  $\mu_{\text{effR}}^*(\lambda)$  для ткани в районе тенора ладони левой руки при использовании диффузионного приближения, а также зависимости  $\mu_{\text{effR}}^{\text{SC}}(\lambda)$ ,  $\mu_{\text{effL}}^{\text{SC}}(\lambda)$  и их усреднённая зависимость  $\bar{\mu}_{\text{eff}}^{\text{SC}}(\lambda)$ , рассчитанные с использованием (1).

Таким образом, при определении концентрации компонент рассеивающей среды требуется знание  $\mu_a(\lambda)$ , поэтому для адекватного решения рассматриваемой задачи нужно правильно разделять определяемую зависимость эффективного показателя ослабления светового излучения живой кровенаполненной тканью

$$\mu_{\text{eff}}(\lambda) = \sqrt{3\mu_a(\lambda) [\mu_a(\lambda) + \mu'_s(\lambda)]}$$

на показатель приведенного (уменьшенного или редуцированного) рассеяния  $\mu'_s(\lambda)$  и показатель поглощения  $\mu_a(\lambda)$ . Также на результаты определения сатурации гемоглобина крови коры

головного мозга существенное влияние оказывает объемная концентрация воды и наклон показателя поглощения условно обескровленной ткани коры, что требует введения в измерительную аппаратуру блоков для их определения.

### **Список литературы**

1. Лысенко С. А. Методы оптической диагностики биологических объектов. Минск: БГУ, 2014. 232 с.
2. Jacques S. Video reflectometry to specify optical properties of tissue in vivo / Proc. SPIE 10311, Medical Optical Tomography: Functional Imaging and Monitoring, (5 August 1993). P. 103110D-1-103110D-16; doi: 10.1117/12.2283758.
3. Sassaroli A., Blaney G., Fantini S. Dual-slope method for enhanced depth sensitivity in diffuse optical spectroscopy. J. Opt. Soc. Am. 2019. A36, 1743–1761.
4. Кузейко М. М. О «бескалибровочных» оптико-физических измерениях. Измерительная техника. 1997, №9. С.35–38.
5. Hueber D. M., Fantini S., Cerussi A. E., Barbieri B. B. New optical probe designs for absolute (self-calibrating) NIR tissue hemoglobin measurements. In Optical Tomography and Spectroscopy of Tissue III; International Society for Optics and Photonics: San Jose, CA, USA, 1999; Volume 3597, pp. 618–631.

### **Influence of parameters and characteristics of spectral apparatus on the results of determination of optical characteristics of bioobjects**

Kugeiko M. M., Firago V. A.

*Belarusian State University, 220030, 4, Nezavisimosti Ave., Minsk, Belarus*

The principles of excluding the influence of parameters and characteristics of spectral equipment on the results of determination of optical characteristics of bioobjects are considered. The possibilities of a self-calibrating method for determining the degree of oxygen saturation of the cerebral cortex, including the registration of diffuse reflection signals at two distances to the right and left of the point of input of optical radiation, are evaluated.

In the task of optical-physical measurement data processing it is necessary to develop such methods of their processing, which would allow to exclude a priori information or assumptions about the object under study, the need to make corrections for the background and drift of instrument readings, the influence of the

environment, or in other words, processing methods, which are based on the concept of "a priori-free". The essence of this concept concerning the task of interpretation of optical-physical measurement data consists in the minimum use of a priori information or assumptions about the studied environment, obtaining reference (calibration) values of the determined parameters without additional independent measurements, solving the problem of calibration measurements (maximum exclusion of the influence of instrument characteristics and parameters of the used physical processes on the measurement results).

Diffuse reflectance spectroscopy (DR) with spatial resolution occupies an important place in optical diagnostics of bioobjects [1-3]. In the methods of DO spectroscopy with spatial resolution, at the first stage the values of optical parameters (OP) of tissue (spectral absorption indexes  $\mu_a(\lambda)$  and reduced scattering

$$\mu'_s(\lambda) = (1 - g)\mu_s(\lambda),$$

where  $\mu_s$  is the scattering index and  $g$  is the average cosine of the scattering angle) at optical sensing wavelengths are determined by comparing experimental and theoretically calculated (within the framework of the model of light transport in tissue) spatial profiles of tissue backscattering (OR) (i.e. backscattered by tissue light fluxes registered by the tissue). i.e. backscattered by the tissue light fluxes registered at several distances from the area of its irradiation). When using the diffusion approximation it is possible to determine the spectral index of radiation attenuation

$$\mu_{\text{eff}}(\lambda) = \{3\mu_a(\lambda)[\mu'_s(\lambda) + \mu_a(\lambda)]\}^{1/2}$$

unambiguously enough. Therefore, we have to solve the problem of dividing  $\mu_{\text{eff}}(\lambda)$  into two components  $\mu_a(\lambda)$  and  $\mu'_s(\lambda)$ .

It should also be noted that the known methods of analyzing spectral, spatial profiles of biotissues OR either do not  $\bar{\mu}_{\text{eff}}(\lambda_i)$

provide the accuracy required for practice or require large computational costs and therefore exclude the possibility of rapid quantitative interpretation of experimental data. Increasing the accuracy of recorded signals requires the exclusion of calibration measurements, including knowledge of hardware constants of receiving and emitting, measuring units, the influence of the environment on the measurement results. The principle of exclusion of these influences ("calibration-free") was proposed for the first time in [4]. This approach with a different geometry of measurements was developed in the self-calibration method

proposed in [5]. The idea is based on symmetric multidistance measurements: to obtain the spectral dependence  $\mu_{\text{eff}}(\lambda)$  of the investigated tissue it is necessary to provide at least four measurements at each wavelength  $\lambda_i$  using two sources and two detectors with symmetric configuration.

The report analyzes the possibilities of the self-calibrating method of determining the degree of oxygen saturation of the cerebral cortex based on the registration of diffuse reflection signals  $V_S(\lambda, \rho)$  at two distances  $\rho_k$  located to the left and right of the point of input of a broadband flow  $\Phi_S(\lambda)$  of optical radiation. When modeling the process of radiation transfer in the cerebral cortex, the diffusion Green's function is applied [2, 3].

If we do not take into account the influence of the interface between the tissue and the air medium, which is possible at the contact of fiber optic probes with the tissue (refractive indices of living tissues and quartz optical fibers do not differ much, so if the plane of the emitter and photoreceiver placement area is made entirely of material with a refractive index of about 1.4 and its outer side absorbs completely the radiation that comes out of the medium), we can write down an expression for the average index, taking into account the fact that in practice the distances used  $\rho_k$

$$\mu_{\text{eff}}(\lambda_i) \approx \frac{1}{\rho_{GL} - \rho_{SL} + \rho_{GR} - \rho_{SR}} \ln \left( \frac{V_m(\lambda_i, \rho_{SL}) V_m(\lambda_i, \rho_{SR}) \rho_{SL} \rho_{SR}}{V_m(\lambda_i, \rho_{GL}) V_m(\lambda_i, \rho_{GR}) \rho_{GL} \rho_{GR}} \right) \quad (1)$$

where  $\rho_G$  and  $\rho_S$  are the larger and smaller of the used distances (L refers to the points located to the left of the emitting probe, and R – to the right) between the points of radiation input into the tissue and the points of registration of diffusely scattered radiation coming out of the tissue. The depth of placement of an equivalent isotropic radiation source for living tissues is small, since  $\mu'_s(\lambda)$  for them varies from about  $5 \text{ cm}^{-1}$  at  $\lambda$  about  $1000 \text{ nm}$  to  $15\text{--}20 \text{ cm}^{-1}$  in the region corresponding to blue-green color. Therefore, if  $\rho > 20 \text{ mm}$  and the above conditions are met, it is possible to use (1) to study the blood hemoglobin saturation of cortical hemoglobin.

The results obtained using the diffusion approximation  $\mu_{\text{effL}}^*(\lambda)$  and  $\mu_{\text{effR}}^*(\lambda)$  model and the self-calibrating method for hand tissues are discussed. The corresponding dependences and for the tissue in the tenor region of the palm of the left hand using the diffusion

approximation are given, as well as the dependences, and their average dependence, calculated using (1).

Thus, when determining the concentration of the scattering medium component, knowledge of  $\mu_a(\lambda)$  is required, therefore, for an adequate solution of the problem under consideration, it is necessary to correctly divide the determined dependence of the effective index of attenuation of light radiation by living blood-filled tissue

$$\mu_{\text{eff}}(\lambda) = \sqrt{3\mu_a(\lambda) [\mu_a(\lambda) + \mu'_s(\lambda)]}$$

into the index of reduced (reduced or reduced) scattering  $\mu'_s(\lambda)$  and the absorption index  $\mu_a(\lambda)$ . Also on the results of determination of hemoglobin blood saturation of the cerebral cortex the volumetric concentration of water and the slope of the absorption index of conditionally exsanguinated cortical tissue have a significant influence, which requires the introduction of blocks for their determination into the measuring equipment.

УДК 535.243+535.36  
ГРНТИ 29.31.26+76.13.15  
ВАК 1.3.6+2.2.6

### **Измеритель сатурации венозной крови в коре головного мозга**

Фираго В. А., Кугейко М. М.

*Белорусский государственный университет  
220030, пр-т Независимости, 4, Минск, Беларусь*

e-mail: [kugeiko@bsu.by](mailto:kugeiko@bsu.by)

Рассмотрена методика определения сатурации артериальной и венозной крови в коре головного мозга, основанная на спектроскопии диффузного отражения с пространственным разрешением, позволяющая эффективно разделять показатель ослабления  $\mu_{\text{eff}}(\lambda)$  на показатель ослабления  $\mu_a(\lambda)$  и показатель рассеяния  $\mu'_s(\lambda)$ . Разработан измеритель сатурации венозной крови в коре головного мозга.

Одним из немногих методов мониторинга, визуализирующих кислородный статус головного мозга, и остается единственным неинвазивным методом оценки тканевого насыщения кислородом является церебральная оксиметрия. Церебральная оксиметрия позволяет оценить оксидативный статус (насыщение гемоглобина кислородом) крови церебральных сосудов. Так как церебральная оксиметрия не измеряет парциальное напряжение кислорода в тканях мозга, наиболее точно говорить не о тканевом насыщении кислородом, а о сатурации крови, т. е. степени (проценте) насыщения гемоглобина кислородом в микроциркуляторном русле ткани. Однако, известно, что 98 % кислорода переносится в связанном с гемоглобином состоянии, поэтому условно можно сказать об измерении насыщения кислородом ткани, и не только церебральной.

Методы оксиметрии основаны на способности гемоглобина поглощать близкий к инфракрасному свет (БИКС). Измеряя отраженный от тканей, в частности, головного мозга свет в параинфракрасном диапазоне (биологический спектроскопический интервал, в котором можно различить и измерить  $\text{Hb}$  и  $\text{HbO}_2$ , находится в диапазоне волн 660–940 нм), можно обнаружить количественное содержание оксигемоглобина и дезоксигемоглобина, и выразить их соотношение величиной насыщения гемоглобина кислородом, характеризующей процессы доставки и потребления кислорода в тканях головного мозга.

Если среда является многокомпонентной, и в ней содержится не одно, а целый набор веществ, и каждое вещество вносит свой отдельный вклад в общее поглощение излучения средой (диотканью) на выбранной длине волны  $\lambda$ , то в этом случае показатель поглощения  $\mu_a(\lambda)$  диоткани будет уже представлять собой, не простую, а достаточно сложную функцию – сумму вкладов от поглощения света каждым отдельным компонентом среды. Вычленив отсюда каждый отдельный по результатам измерений (вычислений) только одного  $\mu_a(\lambda)$  на одной длине волны не представляется возможным. Необходимо уже иметь определенный набор (массив) данных измерений, например, на разных длинах волн  $\lambda$ , [1]. Тканевые же оксиметры, в отличие от пульсоксиметров, опираются непосредственно на решение системы уравнений для спектральных показателей преломления.

Следует также отметить, что известные методы анализа спектральных, пространственных профилей диффузного отражения (ДО) диотканей [2] либо не обеспечивают необходимой для практики точности, либо требуют больших вычислительных затрат и поэтому исключают возможность оперативной количественной интерпретации экспериментальных данных. При использовании для повышения оперативности вычислений диффузионного приближения достаточно однозначно удается определять спектральный показатель ослабления излучения

$$\mu_{\text{eff}}(\lambda) = \{3\mu_a(\lambda)[\mu'_s(\lambda) + \mu_a(\lambda)]\}^{1/2}.$$

Поэтому, чтобы определять  $H_b$  и  $H_bO_2$ , обязательно приходится решать задачу по разделению  $\mu_{\text{eff}}(\lambda)$  на две составляющие  $\mu_a(\lambda)$  и  $\mu'_s(\lambda)$ .

Ниже рассматривается методика определения спектральных показателей  $\mu'_s(\lambda)$  и  $\mu_a(\lambda)$  на основе спектроскопии диффузного отражения с пространственным разрешением и модели диффузионного приближения, учитывающей потери части излучения через границу раздела [3]. В данном способе делается предположение, что спектральный показатель приведенного рассеяния  $\mu'_s(\lambda)$  плавно изменяется с длиной волны и описывается степенным гиперболическим или степенным экспоненциальным законом. Тогда в процессе подгонки (при решении системы нелинейных уравнений методом Левенберга-Марквардта без ограничений) находится плавная зависимость  $\mu'_s(\lambda)$ , минимизирующая в среднем (во всём используемом диапазоне спектра) невязку между экспериментально измеренными

зависимостями коэффициента локального отражения  $R_m(\lambda, \rho_k)$  и варьируемыми расчетными  $R(\lambda, \rho_k)$  в виде

$$f_{res}[\lambda_i, \mu_{sL}^*(\lambda_0), m_{\lambda L}^*, \mu_{sR}^*(\lambda_0), m_{\lambda R}^*] = \\ = \sum_{k=1}^5 \left\{ \left[ \frac{R[\mu_{sL}^*(\lambda_i), \mu_{aL}^*(\lambda_i), \rho_k]}{R_{mL}(\lambda_i, \rho_k)} - 1 \right]^2 + \right. \\ \left. + \left[ \frac{R[\mu_{sR}^*(\lambda_i), \mu_{aR}^*(\lambda_i), \rho_{k+5}]}{R_{mR}(\lambda_i, \rho_{k+5})} - 1 \right]^2 \right\}. \quad (1)$$

Причём, учёт потери части излучения через границу раздела сред, позволяет использовать измерения  $R_m(\lambda, \rho_k)$  при гораздо меньших (практически в 5 раз) расстояниях  $\rho$  между излучающим и приемным зондами, чем при двуклонным бескалибровочным методе с высокочастотной модуляцией FD и использовании в уравнениях только диффузионной функции Грина [4].

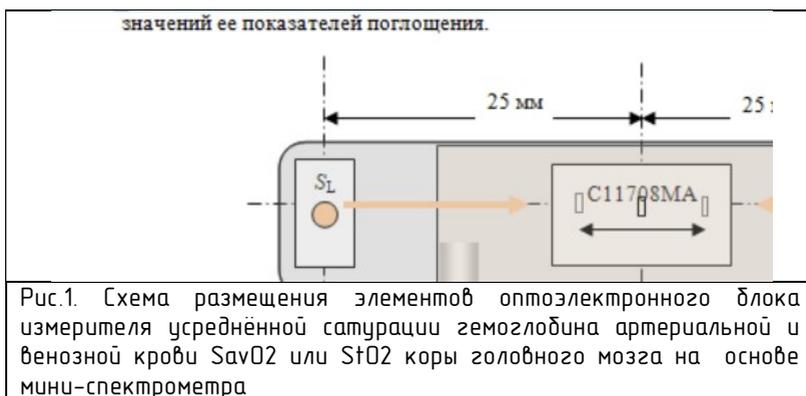
Разработан измеритель сатурации артериальной и венозной крови (SavO<sub>2</sub> или StO<sub>2</sub>) коры головного мозга, основанный на использовании спектральных измерений. Для определения спектрального показателя поглощения коры головного мозга требуется применение спектроскопии диффузного отражения с пространственным разрешением. В настоящее время корпорация Hamamatsu освоила производство миниатюрных мини-спектрометров, которые могут быть использованы при решении рассматриваемой проблемы. Производится мини-спектрометр C11708MA, который имеет объем всего несколько см<sup>3</sup> и регистрирует спектры в диапазоне от 580 до 1100 нм. Предлагается схема измерителя SavO<sub>2</sub> или StO<sub>2</sub>, использующего этот спектрометр, которая приведена на рис. 1.

В этой схеме приходится вместо светодиодов использовать два оптоволоконных световода, которые подводят широкополосное излучение двух галогенных ламп к точкам его ввода в голову. Спектрометр имеет компактную схему управления, выполненную на основе микропроцессора STM32, который через USB интерфейс подключается к ноутбуку.

Поскольку в этой схеме используется геометрия измерений, соответствующая спектроскопии диффузного отражения с пространственным разрешением, изменение расстояния  $\rho_k$  между излучателями и центром входной щели C11708MA осуществляется с помощью перемещения корпуса C11708MA миниатюрным шаговым двигателем вдоль кожи головы на расстояние  $\pm 5$  мм от центрального положения. Это обеспечивает регистрацию

семейства спектров диффузного отражения  $V_{mL}(\lambda, \rho_k)$  и  $V_{mR}(\lambda, \rho_k)$ , которые далее используются для расчётов  $\bar{\mu}_{\text{effL}}(\lambda_i)$  и  $\bar{\mu}_{\text{effR}}(\lambda_i)$ , а потом усреднённых зависимостей  $\bar{\mu}_{\text{eff}}(\lambda_i)$ ,  $\mu'_s(\lambda)$  и  $\mu_a(\lambda)$ .

Проведя градуировку измерителя с использованием эталонного белого референсного отражателя (регистрируемых спектров диффузного отражения  $V_{mL}(\lambda, \rho_k)$  и  $V_{mR}(\lambda, \rho_k)$ , где  $L$  и  $R$  расстояния между источниками излучения  $S_L$ ,  $S_R$  и входной щелью спектрометра), с использованием (1) определяются спектральные показатели поглощения излучения  $\mu_a(\lambda)$  коры головного мозга. Далее решается обратная задача по восстановлению структурно морфологических параметров (СМП) — ткани из найденных спектральных значений её показателей поглощения.



Приведены результаты экспериментальных измерений оптических характеристик тканей в районе гипотенора левой руки испытуемых (показателей ослабления  $\mu_{\text{eff}}(\lambda)$  и разделения их на показатели поглощения и рассеяния  $\mu_a(\lambda)$  и  $\mu'_s(\lambda)$ , показывающие практически полное совпадение с результатами широко используемого метода самокалибровки, основанного на амплитудных и частотных измерениях.

### Список литературы

1. Розаткин Д. А. Физические основы оптической оксиметрии // Медицинская физика, №2, 2012. с.97.

2. Лысенко С. А. Методы оптической диагностики биологических объектов. Минск: БГУ, 2014. 232 с.
3. Фираго В. А., Шулико К. И. Способ определения спектральных показателей приведенного рассеяния и поглощения излучения мелкодисперсными материалами и устройство для его осуществления. Положительное решение о выдаче евразийского патента по евразийской заявке № 202292115 на изобретение от 30 июня 2022.
4. Hueber D. M., Fantini S, Cerussi A. E, Barbieri B. B. New optical probe designs for absolute (selfcalibrating) NIR tissue hemoglobin measurements. In Optical Tomography and Spectroscopy of Tissue III; International Society for Optics and Photonics: San Jose, CA, USA, 1999; Volume 3597, pp. 618–631.

### **Venous blood saturation meter in the cerebral cortex**

Firago V. A., Kugeiko M. M.

*Belarusian State University*

*4, Nezavisimosti Ave., Minsk, 220030, Belarus.*

The technique of determination of arterial and venous blood saturation in the cerebral cortex based on diffuse reflection spectroscopy with spatial resolution is considered, which allows effectively separating the attenuation index  $\mu_{\text{eff}}(\lambda)$  into attenuation index  $\mu_a(\lambda)$  and scattering index  $\mu'_s(\lambda)$ . A measurement device for venous blood saturation in the cerebral cortex has been developed. Cerebral oximetry is one of the few monitoring methods that visualise the oxygen status of the brain and remains the only non-invasive method for assessing tissue oxygen saturation. Cerebral oximetry allows assessment of the oxidative status (haemoglobin oxygen saturation) of cerebral blood vessels. Since cerebral oximetry does not measure the partial tension of oxygen in brain tissue, it is most accurate to speak not about tissue oxygen saturation, but about blood saturation, i.e. the degree (percentage) of oxygen saturation of haemoglobin in the microcirculatory channel of the tissue. However, it is known that 98% of oxygen is transported in the haemoglobin-bound state, so we can conditionally talk about measuring tissue oxygen saturation, and not only cerebral tissue.

Oximetry methods are based on the ability of haemoglobin to absorb near-infrared light (NIR light). By measuring light reflected from tissues, in particular the brain, in the para-infrared range (the biological spectroscopic interval in which Hb and HbO<sub>2</sub> can be

distinguished and measured is in the wavelength range 660–940 nm), it is possible to detect the quantitative content of oxyhaemoglobin and deoxyhaemoglobin, and to express their ratio by the value of haemoglobin oxygen saturation, which characterises the processes of oxygen delivery and consumption in brain tissue.

If the medium is multicomponent, and it contains not one, but a whole set of substances, and each substance makes its separate contribution to the total absorption of radiation by the medium (biotissue) at the selected wavelength  $\lambda$ , then in this case the absorption index  $\mu_a(\lambda)$  of the biotissue will already represent not a simple, but rather complex function – the sum of contributions from the absorption of light by each individual component of the medium. It is not possible to extract from here each separate one according to the results of measurements (calculations) of only one  $\mu_a(\lambda)$  at one wavelength. It is necessary to already have a certain set (array) of measurement data, for example, at different wavelengths  $\lambda_i$  [1]. Tissue oximeters, unlike pulse oximeters, rely directly on the solution of the system of equations for spectral refractive indices. It should also be noted that the known methods of analysing spectral, spatial profiles of diffuse reflectance (DR) of biotissues [2] either do not provide the accuracy necessary for practice or require large computational costs and therefore exclude the possibility of rapid quantitative interpretation of experimental data. When the diffusion approximation is used to increase the operability of calculations, it is possible to determine the spectral attenuation index  $\mu_{\text{eff}}(\lambda) = \{3\mu_a(\lambda)[\mu'_s(\lambda) + \mu_a(\lambda)]\}^{1/2}$  unambiguously enough. Therefore, in order to determine Hb and HbO<sub>2</sub>, it is necessary to solve the problem of dividing  $\mu_{\text{eff}}(\lambda)$  into two components  $\mu_a(\lambda)$  and  $\mu'_s(\lambda)$ .

Below we consider a technique for determining the spectral indices  $\mu'_s(\lambda)$  and  $\mu_a(\lambda)$  based on spatially resolved diffuse reflectance spectroscopy and a diffusion approximation model that takes into account the loss of part of the radiation through the interface [3]. In this method, the assumption is made that the spectral index of reduced scattering  $\mu'_s(\lambda)$  varies smoothly with wavelength and is described by a stepped hyperbolic or stepped exponential law. Then in the fitting process (when solving the system of nonlinear equations by the unconstrained Levenberg–Marquardt method) a smooth dependence  $\mu'_s(\lambda)$  is found that minimises on average (over the whole spectrum range used) the mismatch between the

experimentally measured dependences of the local reflection coefficient  $R_m(\lambda, \rho_k)$  and the varying calculated  $R(\lambda, \rho_k)$  in the form of

$$\begin{aligned}
 & f_{res}[\lambda_i, \mu'_{sL}(\lambda_0), m_{\lambda L}^*, \mu'_{sR}(\lambda_0), m_{\lambda R}^*] = \\
 = & \sum_{k=1}^5 \left\{ \left[ \frac{R[\mu'_{sL}(\lambda_i), \mu_{aL}^*(\lambda_i), \rho_k]}{R_{mL}(\lambda_i, \rho_k)} - 1 \right]^2 + \right. \\
 & \left. + \left[ \frac{R[\mu'_{sR}(\lambda_i), \mu_{aR}^*(\lambda_i), \rho_{k+5}]}{R_{mR}(\lambda_i, \rho_{k+5})} - 1 \right] \right\}. \quad (1)
 \end{aligned}$$

Moreover, taking into account the loss of a part of radiation through the interface between the media allows us to use the measurements of  $R_m(\lambda, \rho_k)$  at much smaller (practically 5 times) distances – between the emitting and receiving probes than in the case of the double-tilt calibration-free method with high-frequency modulation FD and using only the diffusion Green's function in the equations [4].

An arterial and venous blood saturation (SavO2 or StO2) meter of the cerebral cortex based on the use of spectral measurements has been developed. The determination of the spectral absorption index of the cerebral cortex requires the use of diffuse reflectance spectroscopy with spatial resolution. At present, Hamamatsu Corporation has mastered the production of miniature mini-spectrometers that can be used in solving the problem under consideration. The mini-spectrometer C11708MA, which has a volume of only a few cm<sup>3</sup> and records spectra in the range from 580 to 1100 nm, is produced. A schematic of a SavO2 or StO2 meter utilising this spectrometer is proposed and shown in Figure 1.

In this scheme it is necessary to use two fibre optic light guides instead of LEDs, which bring the broadband radiation of two halogen lamps to the points of its input into the head. The spectrometer has a compact control circuit made on the basis of STM32 microprocessor, which is connected to a laptop via USB interface.

Because this scheme uses a measurement geometry consistent with spatially resolved diffuse reflectance spectroscopy, the distance  $\rho_k$  between the emitters and the centre of the C11708MA entrance slit is varied by moving the C11708MA housing by a miniature stepper motor along the scalp within  $\pm 5$  mm of the centre position. This provides a family of diffuse reflectance spectra  $V_{mL}(\lambda, \rho_k)$  and

$V_{mR}(\lambda_i, \rho_k)$ , which are then used to calculate  $\bar{\mu}_{\text{effL}}(\lambda_i)$  and  $\bar{\mu}_{\text{effR}}(\lambda_i)$ , and then the averaged dependencies  $\bar{\mu}_{\text{eff}}(\lambda_i)$ ,  $\mu'_s(\lambda)$  and  $\mu_a(\lambda)$ . Having calibrated the meter using a reference white reference reflector (recorded diffuse reflectance spectra  $V_{mL}(\lambda_i, \rho_k)$  and  $V_{mR}(\lambda_i, \rho_k)$ , where  $L$  and  $R$  are the distances between the radiation sources  $S_L$ ,  $S_R$  and the entrance slit of the spectrometer), the spectral absorption indices of radiation  $\mu_a(\lambda)$  of the cerebral cortex are determined using (1). Then, the inverse problem is solved to recover the structural morphological parameters (SMP) – of the tissue from the found spectral values of its absorption indices.

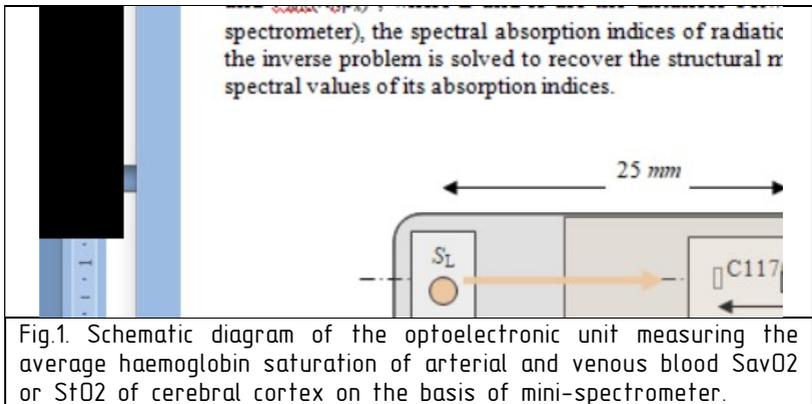


Fig.1. Schematic diagram of the optoelectronic unit measuring the average haemoglobin saturation of arterial and venous blood SavO<sub>2</sub> or StO<sub>2</sub> of cerebral cortex on the basis of mini-spectrometer.

The results of experimental measurements of optical characteristics of tissues in the hypotenor region of the left hand of the tested (attenuation indices  $\mu_{\text{eff}}(\lambda)$  and their division into absorption and scattering indices  $\mu_a(\lambda)$  and  $\mu'_s(\lambda)$ ), are presented, showing almost complete coincidence with the results of the widely used method of self-calibration based on amplitude and frequency measurements.

УДК 577.344.2+53.047  
ГРНТИ 29.33.47+31.27.37  
ВАК 1.3.19+1.5.4

**Активность антиоксидантных ферментов и интенсивность процессов ПОЛ в печени крыс при действии лазерного излучения в сочетании с фенольными соединениями лекарственных растений в опытах *in vitro***

\* Орёл Н. М., Лисенкова А. М., Абакуничик Д. В., Артемук Я. Н., Семченко А. Ю.

*Белорусский государственный университет*  
*220030, Беларусь, г. Минск, проспект Независимости, 4*  
e-mail: [oryoln47@tut.by](mailto:oryoln47@tut.by), [lisenkova@bsu.by](mailto:lisenkova@bsu.by)

Установлено, что лазерное излучение, генерируемое аппаратом «Витязь», существенно ускоряет процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) в гомогенате печени крыс и может быть использовано для моделирования свободнорадикальных процессов в опытах *in vitro*. Фенольные соединения Крапивы двудомной, Ромашки аптечной и Шалфея лекарственного модифицируют активность супероксиддисмутазы и каталазы, и достоверно нормализуют процессы ПОЛ, инициированные лазерным излучением. Известно, что низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) определенных режимов и длин волн способно активировать процессы ПОЛ, и это его действие мы использовали для разработки модели интенсификации свободнорадикальных процессов в печени крыс для изучения на этом фоне антиоксидантных свойств фенольных соединений (ФС) Крапивы двудомной (*Urtica dioica*), Ромашки аптечной (*Matricaria chamomilla*), Шалфея лекарственного (*Salvia officinalis*) в опытах *in vitro*.

Работа выполнена на гомогенате печени беспородных дельх крыс самок, массой 150–180 г, находившихся на стандартном рационе вибария. Все эксперименты проводили в соответствии с требованиями гуманной работы с лабораторными животными.

Облучение 10 % гомогената осуществляли с помощью аппарата квантовой терапии «Витязь», как описано [1], время воздействия увеличили до 9 мин и проводили в автоматическом режиме: 3 мин облучение, 10 с – пауза и так еще 2 раза. Извлечение фенольных соединений (ФС) из сухого растительного сырья, определение активности супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (Кат) и концентрацию продуктов тиобарбитуровой кислоты (ТБК-продукты) проводили как описано [1]. Определение концентрации

ФС в водном экстракте проводили методом [2]. В гомогенат печени вносили водную фракцию ФС в дозе 0,05 мкг/мл, как отдельно, так и после воздействия НИЛИ. Контролем служили показатели в интактном гомогенате.

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что воздействие на гомогенат НИЛИ достоверно на 25,4 % понижает активность СОД, на 121,3 % повышает ее у Кат, а также на 164,7 % увеличивает концентрацию ТБК-активных продуктов.

ФС крапивы, ромашки и шалфея не изменяют активность СОД, и в среднем на 60–70 % снижают концентрацию ТБК-активных продуктов. ФС крапивы и шалфея не изменяют, а ромашки уменьшают активность Кат на 27,4 % по отношению к контролю. Сочетание облучения и внесения ФС крапивы нормализуют активность СОД. ФС ромашки в тех же условиях опыта снижают ее активность на 35,2 % по отношению к контролю, и незначительно на 13,2 % – по отношению к изменениям, установленным при действии НИЛИ. ФС шалфея не приводят к нормализации активности СОД при сочетании с действием НИЛИ, так как она остаётся ниже контрольных значений на 21,8 % и практически не изменяется по отношению к уровню сдвигов, установленных при лазерном воздействии.

Исследование эффектов влияния ФС крапивы при совместном действии с НИЛИ на активность Кат показало достоверное ее снижение на 54,7 % по отношению к показателю, полученному после облучения интактного гомогената, а по отношению к активности фермента в контроле она определяется выше в среднем на 66 %. ФС ромашки в сочетании с НИЛИ также вызывают достоверное снижение на 64,2 % активности фермента по сравнению с изменением под воздействием лазера, а по отношению к уровню контроля ее активность определяется выше на 57,1 %. Аналогичная направленность изменений установлена при совместном действии НИЛИ и ФС шалфея, так как активность Кат определяется на 72,2 % выше контрольного уровня. Однако по отношению к ее сдвигам, вызванным отдельным действием фенолов и НИЛИ, она понижается в среднем на 42,3 и 49,1 % соответственно. Крапива, ромашка и шалфей содержат достаточно специфичный спектр ФС [3,4,5], что может объяснять как качественные, так и количественные различия в изменениях исследуемых показателей антиоксидантной системы в гомогенате печени крыс при их действии и в сочетании с лазерным излучением.

Фенолы крапивы, добавленные в гомогенат печени после воздействия излучения, понижают уровень ТБК-активных продуктов на 20,1 % несмотря на то, что внесение этих же ФС в интактный гомогенат вызывает интенсификацию процессов ПОЛ на 46,4 %. Фракция ромашки при её добавлении в сочетании с НИЛИ снижает на 191,3 % уровень ТБК-активных продуктов по сравнению с установленным после облучения. Добавление в гомогенат фенолов шалфея в сочетании с НИЛИ приводит к уменьшению концентрации ТБК-активных продуктов на 177,4 % при расчёте к показателям, установленным при лазерном облучении.

На основании изложенного можно заключить, что воздействие на гомогенат печени НИЛИ изменяет активность антиоксидантных ферментов и достоверно увеличивает концентрацию ТБК-активных продуктов, что свидетельствует об активации процессов ПОЛ лазерным излучением используемых режимов и длин волн и может быть использовано для моделирования свободнорадикальных процессов в опытах *in vitro*.

НИЛИ при совместном воздействии с ФС Крапивы двудомной нормализует активность СОД, при сочетании с фенолами Шалфея лекарственного – не изменяет, а Ромашки аптечной усиливает отрицательный эффект лазерного облучения на изучаемый показатель.

Изучаемые фенольные фракции оказывают достоверную тенденцию к нормализации изменений активности Кат, вызванных НИЛИ, однако уровень сдвигов при совместном действии поддерживается достоверно выше контрольных значений.

ФС исследуемых растений эффективно нормализуют процессы ПОЛ в гомогенате печени крыс, инициированные лазерным излучением, о чем свидетельствует существенное понижение концентрации ТБК активных продуктов при совместном их действии с НИЛИ по отношению к эффекту, вызванному действием лазерного излучения.

### Список литературы

1. Орёл Н. М. Состояние антиоксидантной активности и процессов перекисного окисления липидов в печени крыс при действии лазерного излучения в сочетании с фенолами растительного происхождения в *опытах in vitro* / Н. М. Орёл, А. М. Лисенкова, А. М. Братченко, Д. А. Жолудева // Лазерно-информационные технологии. – 2022. Труды XXX Междунар. конф. Новороссийск, Краснодарский край 12–17 сентября 2022 г. С.–36–38.

2. Денисенко Т. А. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу / Т. А. Денисенко, А. Б. Вишник, Л. П. Цыганок // Аналитика и контроль. – 2015. – Т. 19, № 4. – С. 373-380.
3. Тринеева О. В. Состав метаболома крапивы двудомной, произрастающей на территории центрального черноземья (обзор) / О. В. Тринеева, А. И. Сливкин, Е. Ф. Сафонова // Химия растительного сырья. – 2022. – № 2. – С. 5-18.
4. Косман В. М. Сравнительное изучение содержания флавоноидов и кумаринов в некоторых препаратах ромашки аптечной / В. М. Косман, О. Н. Пожарицкая, А. Н. Шиков, В. Г. Макаров // Химия растительного сырья. – 2015. – №1. – С. 107-112.
5. Рядоконь Л. П. Идентификация и определение биологически активных веществ шалфея лекарственного *Salvia officinalis* L., полученных в условиях субкритической экстракции / Л. П. Рядоконь, В. В. Милевская, Н. В. Киселева, Э. А. Темердашев // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 22-30.

**Activity of antioxidant enzymes and intensity of LP processes in the liver of rats under the action of laser radiation in combination with phenolic compounds of medicinal plants in experiments *in vitro***

Oryol N. M., Lisenkova A. M, Abakunchik D. V., Artemuk Ya. N., Semchenko A. Yu.

*Belarusian State University*

*220030, Belarus, Minsk, Independence Avenue, 4*

It has been established that laser radiation generated by the Vityaz apparatus significantly accelerates the processes of lipid peroxidation (LP) in rat liver homogenate and can be used to model free radical processes in experiments *in vitro*. Phenolic compounds of *Urtica dioica*, *Matricaria chamomilla* and *Salvia officinalis* modify the activity of superoxide dismutase and catalase, and significantly normalize LP processes initiated by laser radiation.

УДК 535.31  
ГРНТИ 29.31.01  
ВАК 01.04.05

### **Оптические системы формирования лазерного излучения с большими углами расходимости**

<sup>1</sup> Шепелев А. Е., <sup>1</sup> Антипов А. А., <sup>1</sup> Путилов А. Г. <sup>2</sup> Солохин С. А.,  
<sup>2</sup> Тарасова А. А.

<sup>1</sup> *Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, 140700, Россия, Московская обл., г. Шатура, ул. Святоозерская 1*  
<sup>2</sup> *ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева», 601910, Россия, Владимирская обл., г. Ковров, ул. Маяковского 19*

email: [\\*ae\\_shepelev@mail.ru](mailto:ae_shepelev@mail.ru), [antiplit@yandex.ru](mailto:antiplit@yandex.ru),  
[putilov.iplit@yandex.ru](mailto:putilov.iplit@yandex.ru), [solokhins@gmail.com](mailto:solokhins@gmail.com), [naskatar@list.ru](mailto:naskatar@list.ru)

Для эффективного применения лазеров, генерирующих излучение с большими углами расходимости, необходимо использовать оптическую систему, позволяющую формировать коллимированное излучение с минимально возможным астигматизмом пучка. В рамках настоящей работы представлен обзор и анализ способов уменьшения астигматичности пучка и коллимации излучения диодных и квантово-каскадных лазеров. Для преобразования формы пучка излучения возможно использование пары анаморфных призм. Получить круговую форму пучка с гауссовым распределением интенсивности и коррекцией астигматизма можно, если использовать одномодовый световод. Один из простых способов коллимации излучения ККЛ основан на использовании однолинзовой оптической системы или системы состоящей из двух и более линз. При этом могут быть применены сферические, асферические или аксиконовые линзы [1,2].

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 22-22-20092 (<https://rscf.ru/project/22-22-20092>).

### **Список литературы**

1. Демкин В., Демкин А., Шадрин М., Будагов Ю. Лазерные опорные системы // Фотоника, № 3, 2012. С. 38-44.
2. Шепелев А. Е., Путилов А. Г., Антипов А. А., Ангелуц А. А. Формирование излучения квантового-каскадного лазера среднего ИК диапазона // Квантовая электроника, №9, 2022. С. 779-782.

### **Optical systems for the formation of laser radiation with large divergence angles**

<sup>1\*</sup> Shepelev A. E., <sup>1</sup> Antipov A. A., <sup>1</sup> Putilov A. G., <sup>2</sup> Solokhin S. A.,  
<sup>2</sup> Tarasova A. A.

<sup>1</sup> *Institute on Laser and Information Technologies of Russian Academy of Sciences — Branch of Federal Scientific Research Center “Crystallography and Photonics” of Russian Academy of Sciences, 140700, Russia, Moscow region, Shatura, Svyatoozerskaya 1*  
<sup>2</sup> *Kovrov State Technological Academy named after V.A. Degtyarev, 601910, Russia, Vladimir region, Kovrov, Mayakovskogo 19*

For the efficient use of lasers generating radiation with large divergence angles, it is necessary to use an optical system that makes it possible to form collimated radiation with the lowest possible beam astigmatism. In the framework of this work, we present a review and analysis of ways to reduce beam astigmatism and collimation of radiation from diode and quantum-cascade lasers. To transform the shape of the radiation beam, it is possible to use a pair of anamorphic prisms. It is possible to obtain a circular beam shape with a Gaussian intensity distribution and astigmatism correction if a single-mode fiber is used. One of the simple ways of collimating QCL radiation is based on the use of a single-lens optical system or a system consisting of two or more lenses. In this case, spherical, aspherical, or axicon lenses can be used [1, 2]. The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-22-20092 (<https://rscf.ru/project/22-22-20092>).

УДК 621.391.64  
ГРНТИ 49.46.29  
ВАК 2.2.6

### **Некоторые аспекты архитектуры терминалов лазерной связи для низкоорбитальной спутниковой группировки**

\* Баскакова А. В., Кузнецов С. Н., Поляков С. Ю., Приходько К. И., Широбакин С. Е.

*Акционерное общество «Мостком»*

*390000, Россия, г. Рязань, ул. Урицкого, 35, помещение Н7.*

email: info@mостком.ru, \* anna\_bas97@mail.ru, ksn@mостком.ru, s\_pol@mостком.ru, p.r.k.i.2016@mail.ru, shirobakinse@mостком.ru

В марте 2023 года Агентство космического развития (SDA) США выпустило стандарт, содержащий спецификации функциональной совместимости для терминалов систем лазерной оптической связи [1]. Стандарт объединяет требования к терминалам, предназначенным как для наземных, так и для воздушных и космических носителей.

Согласно стандарту SDA время вхождения в связь составляет не более 100 с. В терминалах не предусмотрены маяки. Поиск удаленного абонента осуществляется путем сканирования пространства узким пучком информационного канала. В отечественных разработках [2, 3, 4] наличие маяков считается обязательным.

В статье приведена принципиальная оптическая схема отечественного терминала лазерной связи, обеспечивающая время нахождения удаленного терминала за время не более 1 с. Также в статье приведены данные экспериментальных исследований на макетах различных узлов терминала.

Согласно стандарту SDA время восстановления связи не должно превышать 100 с. Маяковая система позволяет в случае прерывания связи, восстановить её в течение 1 с за счёт большого угла расходимости маяка. Это особенно важно при установлении связи между космическим аппаратом и наземным терминалом, а также при передаче квантовых ключей. Время, в течение которого возможна передача данных с низкоорбитального спутника на Землю даже при прохождении его через зенит, составляет 200 с, а в иных случаях – 100 с и меньше.

Показано, что отечественные решения позволяют передать максимальный объём данных. Так как разработкой терминалов

лазерной связи занимается целый ряд отечественных организаций, очень актуальной стала задача разработки Российского стандарта в данной области.

### Список литературы

1. Optical Communications Terminal (OCT) Standard Version 3.1.0. Date:03/31/2023. DocumentID: 9100-001-08
2. Артемов А. Г. Компьютерное моделирование системы наведения взаимодействующих терминалов лазерной космической связи: автореф. дис. канд. техн. наук. // М.: ФГУП «НИИ прецизионного приборостроения» федерального космического агентства, 2006. □ 22 с.
3. Баскакова А. В., Кузнецов С. Н., Широбакин С. Е. Конструирование атермальных оптических систем для беспроводной лазерной связи // Лазеры. Измерения. Информация. 2022. Т. №02. №03(07). С. 9-19.
4. Боев А. А., Керносов М. Ю., Кузнецов С. Н., Паршин А. А., Поляков С. Ю., Широбакин С. Е. Волоконно-оптический дефлектор для управления направлением лазерного излучения // ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 2021. Труды XXIX Международной Конференции г. Новороссийск, Краснодарский край 13–18 сентября 2021 г. С. 80–82.

### **Some aspects of the architecture of laser communication terminals for a low-orbit satellite constellation**

\* Baskakova A. V., Kuznecov S. N., Polyakov S. Yu., Prihod'ko K. I., Shirobakin S. E.  
*JSC «Mostcom», 390000, Russia, Ryazan, Uritskogo Str. 35.*

In March 2023, the U.S. Space Development Agency (SDA) issued a standard containing interoperability specifications for laser optical communication system terminals [1]. The standard combines the requirements for terminals designed for both ground, air and space carriers.

According to the SDA standard, the connection time is no more than 100 seconds. There are no beacons provided in the terminals. The search for a remote terminal is carried out by scanning the space with a narrow beam of the information channel. In domestic developments [2, 3, 4], the presence of beacons is considered mandatory.

The article presents the basic optical scheme of the domestic laser communication terminal, which provides the time of the remote

terminal for a period of no more than 1 s. The article also presents data from experimental studies on layouts of various terminal nodes.

According to the SDA standard, the communication establishment time should not exceed 100 s. The beacon-based system allows, in the case of a communication interruption, to reestablish it within 1 s due to the large beacon divergence angle. This is especially important when establishing communication between a spacecraft and a ground terminal, as well as when transmitting quantum keys. The time during which it is possible to transmit data from a low-orbit satellite to Earth, even when it passes through the zenith, is 200 seconds, and in other cases – 100 seconds or less.

It is shown that domestic solutions allow transmitting the maximum amount of data. Since a number of organizations are engaged in the development of laser communication terminals, the task of developing a Russian standard in this area has become very relevant.

УДК 528.029.672+629.7.067+631.559.2

ГРНТИ 29.33.43

ВАК 2.2.6.

### **Применение мультиспектрального лазерного излучателя в качестве нелетального средства деорнитизации**

<sup>1</sup> Каменский А. А., <sup>2</sup> Ознев Б. И., <sup>2\*</sup> Пителин Н. О., <sup>2</sup> Трофимов И. М.,  
<sup>2</sup> Широбакин С. Е.

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1

<sup>2</sup> Акционерное общество «Мостком», 390000, Россия, г. Рязань, ул. Урицкого, д. 35, помещение Н7

email: [develop@mocskom.ru](mailto:develop@mocskom.ru)

\* [n.pitelin@mocskom.ru](mailto:n.pitelin@mocskom.ru), [shirobakinse@yandex.ru](mailto:shirobakinse@yandex.ru),

Проблема контроля птиц имеет существенное значение в связи с рядом негативных последствий их присутствия в различных сферах деятельности человека. Для каждого направления такие последствия специфичны: так, в сельском хозяйстве птицы наносят значительный урон урожаю отдельных культур ежегодно [1], на территории промышленных объектов пернатые могут портить механизмы и оборудование, в аэропортах блокируют взлет и посадку летательных аппаратов [2]. Говоря о возобновляемых источниках энергии, стоит отметить, что птицы покрывают поверхность солнечных панелей своим помётом, снижая общую производительность панели.

На сегодняшний момент существует несколько видов отпугивателей птиц, различающихся по принципу действия. Можно выделить ультразвуковые, биоакустические, звуковые, визуальные, а также лазерные устройства-репеллененты. По мнению некоторых исследователей [3], именно лазерные отпугиватели являются наиболее эффективными. Птицы по природе своей – визуалы, поэтому по большей части они реагируют на опасность, когда она появляется в поле их зрения. Лазерный пучок в данном случае воспринимается глазом пернатых, как гигантский объект, несущий потенциальную угрозу.

Исследования, проведённые сотрудниками АО «Мостком» и подтверждённые зарубежными коллегами [4], показали, что птицы в большей степени пугаются именно зелёного и ультрафиолетового лазера. Птицы имеют четыре вида световых

рецепторов – кроме красного, зелёного и синего у птиц имеется ультрафиолетовый рецептор, который позволяет им видеть длины волн до 270 нм.

Исходя из данных наблюдений, был разработан тестовый образец устройства для отпугивания птиц на основе трёхлучевого излучателя (630 нм, 50 мВт; 532 нм, 50 мВт; 405 нм, 50 мВт). Аппарат имеет стохастически изменяемую частоту модуляции излучения в пределах 30–50 Гц. Прибор имеет малый вес, размеры и потребляемую мощность. Предварительно проанализированы преимущества в сравнении с другими методами отпугивания птиц. Проведены кратковременные тестирования на промышленных объектах г. Рязани. Запланированы тестирования пилотного образца на одном из сельскохозяйственных участков Краснодарского края.

#### **Список литературы**

1. Rebecca Nelson Brown, David H. Brown. Robotic laser scarecrows: A tool for controlling bird damage in sweet corn, // Crop Protection, Volume 146, 2021, 105652, ISSN 0261-2194,
2. Решенкин А. С., Псардиева Н. Н. Методы и средства отпугивания птиц в условиях взлета и посадки самолетов // Молодой исследователь Дона. 2021. №1 (28).
3. Elbers, A.R.W., Gonzales, J.L. Efficacy of an automated laser for reducing wild bird visits to the free range area of a poultry farm. Sci Rep 11, 12779 (2021).
4. А. В. Мацюра. Эффективность лазерных отпугивателей для контроля численности грачей и голубей // Ukrainian Journal of Ecology. 2018. №2.
5. A-TOM500 Series Laser Bird Deterrent Product Description and Competitive Positioning

#### **Application of Multispectral Laser Emitter as Non-lethal Deterrent**

<sup>1</sup>Kamensky A. A., <sup>2</sup>Ognev B. I., <sup>2\*</sup>Pitelin N. O., <sup>2</sup>Trofimov I. M.,  
<sup>2</sup>Shirobakin S. E.

<sup>1</sup>Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin  
390005, Ryazan, Gagarina str, 59/1

<sup>2</sup>Joint Stock Company "Mostcom"  
390000, Russia, Ryazan, Uritskogo Str., Building 35, building N7

The bird control problem is of significant importance due to a range of negative consequences of their presence in various areas of human activity. The specific repercussions vary for each sector: in

agriculture, birds cause significant damage to crop yields each year [1]; at industrial sites, they can damage machinery and equipment, while at airports they obstruct the take-off and landing of aircraft [2]. When it comes to renewable energy sources, it should be noted that birds can cover the surface of solar panels with their droppings, reducing overall panel productivity.

Currently, there are several types of bird deterrents available, differing in their operating principles. These include ultrasonic, bioacoustic, sonic, visual, and laser repellent devices. According to several researchers [3], laser deterrents are considered the most effective. Birds are primarily visual creatures, and they mostly react to threats that appear within their field of vision.

Research conducted by the employees of "Mostcom" and confirmed by international colleagues [4] has shown that birds are most scared off by green and ultraviolet lasers. Birds have four types of light receptors – in addition to red, green, and blue, they also have an ultraviolet receptor that enables them to perceive wavelengths up to 270 nm.

Based on these observations, a prototype device for bird repellent was developed using a three-beam emitter (630 nm, 50 mW; 532 nm, 50 mW; 405 nm, 50 mW). The device has a stochastically modulated emission frequency ranging from 30 to 50 Hz. The device is lightweight, compact, and has low power consumption. Preliminary analysis has identified advantages compared to other bird deterrent methods. Short-term testing has been conducted at industrial sites in Ryazan. Plans are underway to test a pilot model on one of the agricultural areas in the Krasnodar region.

УДК 621.391.64  
ГРНТИ 49.46.29  
ВАК 05.12.20

### **Оценка возможности реализации системы беспроводной оптической связи с односторонним приёмопередатчиком**

<sup>1\*</sup> Боев А. А., <sup>1</sup> Керносков М. Ю., <sup>1</sup> Кузнецов С. Н., <sup>2</sup> Миронов Ю. Б.,  
<sup>1</sup> Паршин А. А.

<sup>1</sup> Акционерное общество «Мостком», 390000, Россия, г. Рязань, ул. Урицкого, 35, помещение Н7

<sup>2</sup> Московский технический университет связи и информатики,  
111024, Россия, г. Москва, ул. Авиапаторная 8а  
email: \* [msi@ya.ru](mailto:msi@ya.ru), [mkern@ya.ru](mailto:mkern@ya.ru), [ksn@mостком.ru](mailto:ksn@mостком.ru),  
[i.b.mironov@mtuci.ru](mailto:i.b.mironov@mtuci.ru), [paqa@yandex.ru](mailto:paqa@yandex.ru)

Возможности атмосферных оптических линий связи (АОЛС) ввиду использования пучков излучения с очень узкими диаграммами направленности определяются точностью наведения терминалов друг на друга. В АОЛС с приемом излучения на торец оптического волокна, погрешности наведения терминалов с использованием прецизионных двигателей, приводят к необходимости использования многомодового волокна.

В работе представлены результаты экспериментальных измерений параметров АОЛС с односторонним волокном в роли приемопередатчика. Приведены оценки угловых характеристик терминалов для разных уровней турбулентности на экспериментальной трассе, нестабильности сигнала в разное время суток, а также возможности её компенсации с помощью оптического дефлектора.

Для проведения измерений использовалось экспериментальное оборудование АОЛС-КРК, созданное в рамках совместной работы с МТУСИ и QRate по исследованию возможности использования АОЛС для создания квантовых каналов связи [1].

С использованием методики, приведённой в [2], были собраны данные о работе системы в разное время суток – уровень мощности на приемниках терминалов, отклонения оси диаграммы направленности (ОДН) излучения при включенной системе автонаведения и без него. Анализ этой информации позволил оценить уровень турбулентности на трассе и его влияние на стабильность каналов, корреляцию между уровнем мощности

излучения и отклонением ОДН пучка, построить модель зависимости мощности излучения от отклонения ОДН.

Была проведена оценка возможности использования оптического дефлектора (ОД) для компенсации влияния турбулентности путем экспериментального измерения положения ОДН, задаваемого дефлектором, при воздействии возмущений определенных экспериментально.

Анализ работы АОЛС-КРК на одномодовом волокне показал:

- существенные колебания принимаемого сигнала, обусловлены вариациями углов входа излучения в оптическую систему;
- колебания существенно зависят от условий на трассе и могут приводить к более чем 20 дБ потере уровня сигнала;
- зафиксированные отклонения могут быть эффективно отработаны ОД, снижающим уровень потерь для наилучших условий более чем на 10 дБ.

#### Список литературы

1. Bolotov D. V., Kazantsev S. Y., Pchelkina N. V., Kuznetsov S. N. and Kernosov M. Y. "Modular Facility of Quantum Key Distribution in a Free Space," *2023 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF)*, St. Petersburg, Russian Federation, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/WECONF57201.2023.10148017.
2. Керносов М. Ю. и др. Снижение уровня ошибок при передаче высокочастотных оптических сигналов в условиях турбулентной атмосферы за счет использования статистики уровня приемного сигнала // Фотоника. 2020. — Т. 14. — №. 5. — С. 424-437. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2020.14.5.424.436

#### **Evaluation of the wireless optical communication system with a single-mode transceiver implementing possibility**

<sup>1\*</sup> Boev A. A., <sup>1</sup> Kernosov M. Yu., <sup>1</sup> Kuznetsov S. N., <sup>2</sup> Mironov Yu. B.,  
<sup>1</sup> Parshin A. A.

<sup>1</sup> Joint Stock Company "Mostcom"

390000, Russia, Ryazan, Uritskogo str., 35, building N7

<sup>2</sup> Moscow Technical University of Communications and Informatics  
8a Aviamotornaya str., Moscow, 111024, Russia

The capabilities of free-space optical communications (FSOC) due to the use of very narrow laser beams are determined by the accuracy of pointing terminals at each other. In FSOC with the reception of radiation at the end of an optical fiber, errors in the

guidance of terminals using precision motors lead to the need to use multimode fiber.

The paper presents the results of experimental measurements of FSOC parameters with a single-mode fiber as a transceiver. Estimates of the angular characteristics of terminals for different levels of turbulence on the experimental route, signal instability at different times of the day, as well as the possibility of its compensation using an optical deflector are given.

Experimental equipment FSOC-QKD was used for measurements, created as part of a joint work with MTUCI and QRate to investigate the possibility of using FSOC to create quantum communication channels [1].

Using the techniques given in [2], data were collected on the operation of the system at different times of the day – the power level at the terminal receivers, deviations of the radiation pattern axis (RPA) with and without the auto-guidance system turned on. The analysis of this information made it possible to assess the level of turbulence on the route and its effect on the stability of the channels, the correlation between the level of radiation power and the deviation of the single beam, to build a model of the dependence of the radiation power on the deviation of the single beam.

An assessment was made of the possibility of using an optical deflector (OD) to compensate for the influence of turbulence by experimentally measuring the position of the OD set by the deflector when exposed to disturbances determined experimentally.

An analysis of the FSOC-QKD operation on a single-mode fiber showed:

- significant fluctuations in the received signal are caused by variations in the angles of radiation entry into the optical system;
- fluctuations significantly depend on the conditions on the track and can lead to more than 20 dB of signal level loss;
- fixed deviations can be effectively worked out by OD, which reduces the level of losses for the worst conditions by more than 10 dB.

УДК 621.391.64  
ГРНТИ 49.46.29  
ВАК 05.12.20

### **Вопросы архитектуры оборудования беспроводной оптической связи для соединения подвижных объектов**

Боев А. А., Каменский А. А., Пителин Н. О., Поляков С. Ю.

*Акционерное общество «Мостком»*

*390000, Россия, г. Рязань, ул. Урицкого, д. 35, помещение Н7*

email: [mocskom@mail.ru](mailto:mocskom@mail.ru), \* [n.pitelin@mocskom.ru](mailto:n.pitelin@mocskom.ru), [s\\_pol@mocskom.ru](mailto:s_pol@mocskom.ru)

Применение оптоволоконных соединений для организации связи имеет ряд устоявшихся преимуществ: высокая пропускная способность, недорогая стоимость подключения, стабильное соединение стационарных объектов. Вместе с тем, имеются и существенные недостатки – к примеру, проводные соединения влекут за собой гораздо большие канальные потери, чем любая беспроводная система. К тому же оптоволоконные соединения непригодны для организации связи между движущимися объектами, в то время как объемы беспроводного трафика растут с каждым днем, появляются новые задачи и сценарии по передаче данных в мобильных соединениях [1]. Лазерная оптическая связь в качестве беспроводного решения для таких сценариев является наиболее оптимальной по ряду параметров – как ввиду возможности передачи больших объемов информации в сравнении с другими решениями в сегменте [2], так и благодаря высокой степени конфиденциальности канала и защищенности соединения.

На сегодняшний день поставлена и реализуется задача по повышению степени автономности лазерной связи на мобильных объектах. Для этого впервые в мировой практике разрабатывается алгоритм автопоиска абонентов, наведения друг на друга и стабилизации линии визирования без применения радиоэлектронных средств, что сможет стать одним из аргументов в пользу выбора именно оптических систем связи [3]. Для достижения задачи были рассмотрены различные компоновочные решения. В результате проведенных расчетов и анализа была выбрана архитектура оборудования, основанная на системе рефракционного типа с разделением функций передачи информационного сигнала (информационный канал) и обеспечения процедур поиска, захвата и сопровождения абонента по разным рабочим длинам волн (служебный канал). Такой выбор обусловлен

возможностью увеличения бюджета линии за счёт автономности функций информационного и служебного каналов, а также возможности гибкой конфигурации каждого канала в зависимости от условий использования.

Конечное изделие – терминал мобильной оптической связи – включает в себя следующие функциональные блоки: средства формирования информационного канала, средства поиска захвата и сопровождения, формирующая оптическая система и модуль управления и контроля. Приведена структурная схема терминала, состоящего из двух частей: приемо-передающего модуля, в котором расположены основные модули, отвечающие за работу изделия, и головки визирной, которая принимает участие в контуре поиска, захвата и сопровождения цели, обеспечивает зону сопровождения абонента в заданных пределах. Все компоненты входящие в структуру терминала мобильной оптической связи выполняются на 12 печатных платах и включают в себя 3 кристалла FPGA и 10 микропроцессоров. Спецификация выходных параметров оборудования представлена в двух вариантах, отличающихся скоростью передачи и дальностью связи.

Представленная архитектура построения оптического беспроводного оборудования для организации связи между подвижными абонентами имеет большие возможности по его модернизации и расширению сфер применения, формируя вместе с тем задел для дальнейших научных изысканий.

### **Список литературы**

1. Горячев А. А., Пителин Н. О. Технология беспроводной оптической связи и ее применение в вооруженных силах. // Новый оборонный заказ. Стратегии, № 1 (66), 2021 г., Санкт-Петербург.
2. Horst Y., Bitachon B. I., Kulmer L. et al. Tbit/s line-rate satellite feeder links enabled by coherent modulation and full-adaptive optics. *Light Sci Appl* 12, 153 (2023).
3. Приходько К. И., Кузнецов С. Н., Поляков С. Ю. Алгоритм поиска, захвата и удержания маяка удаленного терминала в беспроводных оптических линиях связи // ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – 2022 Труды XXX Международной Конференции г. Новороссийск, Краснодарский край 12-17 сентября 2022 г. С. 58-60.

### **Architecture issues of wireless optical communication equipment for connecting mobile objects**

Boev A. A., Kamensky A. A. Pitelin N. O., Polyakov S. Yu.  
*Mostcom Joint Stock Company*  
*390000, Russia, Ryazan, Uritskogo str., 35, building N7*

The use of fiber-optic connections for communication has a number of well-known advantages: high throughput, inexpensive connection cost, stable connection of stationary objects. At the same time, there are also significant disadvantages – for example, wired connections entail much greater channel losses than any wireless system. In addition, fiber-optic connections are unsuitable for organizing communication between moving objects, while the volume of wireless traffic is growing every day, new tasks and scenarios for data transmission in mobile connections are emerging [1]. Laser optical communication as a wireless solution for such scenarios is the most optimal in a number of parameters – both due to the possibility of transmitting large amounts of information in comparison with other solutions in the segment [2], and due to the high degree of channel confidentiality and connection security.

To date, the task of increasing the degree of autonomy of laser communication on mobile objects has been set and is being implemented. For this purpose, for the first time in world practice, an algorithm is being developed for auto-searching of subscribers, pointing at each other and stabilizing the line of sight without the use of radio-electronic means, which can become one of the arguments in favor of choosing optical communication systems [3].

To achieve the task, various composite solutions were considered. As a result of the calculations and analysis, an equipment architecture based on a refractive type system with the separation of the functions of transmitting an information signal (information channel) and providing the procedures for searching, capturing and tracking the subscriber at different operating wavelengths (service channel) was selected. This choice is due to the possibility of increasing the budget of the line due to the autonomy of the functions of the information and service channels, as well as the possibility of flexible configuration of each channel depending on the conditions of use.

The final product – a mobile optical communication terminal – includes the following functional blocks: means of forming an information channel, means of capturing and accompanying search, a forming optical system and a control module. The structural scheme

of the terminal consisting of two parts is given: the receiving and transmitting module, in which the main modules responsible for the operation of the product are located, and the guidance head, which takes part in the search, capture and tracking of the target, provides the subscriber tracking zone within the specified limits. All components included in the structure of the mobile optical communication terminal are made on 12 printed circuit boards and include 3 FPGA crystals and 10 microprocessors. The specification of the output parameters of the equipment is presented in two versions, differing in transmission speed and communication range. The presented architecture for the construction of optical wireless equipment for the organization of communication between mobile subscribers has great opportunities for its modernization and expansion of applications, at the same time forming a foundation for further scientific research.

УДК 621.37.037  
ГРНТИ 47.49.02  
ВАК 2.2.13

### **Пространственно-временная обработка сигнала удалённого маяка в задачах наведения терминалов атмосферной оптической лазерной связи**

\* Приходько К. И., Кузнецов С. Н.

*Акционерное общество «Мостком»*

*390000, Россия, г. Рязань, ул. Урицкого, д. 35, помещение Н7*

email: [p.k.i.2016@mail.ru](mailto:p.k.i.2016@mail.ru), [ksn@mостком.ru](mailto:ksn@mостком.ru)

С каждым годом всё больше растёт интерес к атмосферным оптическим линиям связи (АОЛС), основными преимуществами которых по сравнению с традиционной радиосвязью являются увеличенная пропускная способность, возможность работы в режиме радиомолчания, а также применение в системах квантовой раздачи ключей. Применение подобных систем для связи с мобильными объектами требует высокой скорости системы наведения, которая совмещает оптические оси передатчика и приёмника лазерного излучения. В работе рассматривается система АОЛС, которая для наведения использует служебный канал – отдельный лазерный канал (маяк), работающий на отличной от информационного канала длине волны и модулированный по амплитуде некоторым полезным сигналом. На приёмной стороне датчиком положения пятна излучения маяка удалённого терминала служит матрица фотодиодов. Задачей каждого из терминалов является удержание пятна маяка в заданной области поля изображения фотоприёмной матрицы. Таким образом, первостепенной задачей системы наведения является обнаружение пространственно-временного сигнала пятна удалённого терминала на фоне помех. Основным источником помех в рассматриваемой системе являются дробовые шумы матрицы, вызванные фоновой засветкой, а также случайные флуктуации амплитуды сигнала и фона, вызванные турбулентностью атмосферы и представляющие собой мультипликативную помеху. В связи с тем, что помеха не коррелирована во времени и пространстве, был разработан алгоритм обнаружения близкий к оптимальному, в котором обработка полезного сигнала разделена на пространственную и временную [1]. Пространственная обработка представляет собой нелинейную фильтрацию изображения, подобную хорошо известным

алгоритмам бинаризации изображений, после которой на поле изображения остаются только объекты, близкие по форме искомому пятну. Временная обработка производит временную фильтрацию серий кадров, прошедших пространственную обработку и после которой для каждого пикселя выносятся решение о его принадлежности цели. В качестве критерия обнаружения в работе используется критерий Неймана-Пирсона [2] с глобальным порогом для всего поля изображения. Описанный алгоритм реализован на ПЛИС с использованием в качестве оптического сенсора фотоприёмной матрицы с разрешением 1024x1024 пикселей и размером пиксела 5,5 мкм. В работе приводятся характеристики обнаружения, построенные на основе имитационного моделирования, а также натурного эксперимента. Произведено сравнение с аналогичными алгоритмами поиска удалённого абонента [3, 4], для каждого из которого выигрыш в отношении сигнал-шум составил более 3 дБ.

#### **Список литературы**

1. Паршин Ю. Н. Пространственно-временная обработка сигналов и компенсация помех: учеб. Пособие / Ю. Н. Паршин. – Москва: КУРС, 2021. – 200 с.
2. Репин В. Г., Тартаковский Г. П. Статистический синтез при априорной неопределённости и адаптация информационных систем / М.: Советское радио, 1977. 432 с.
3. Приходько К. И. Обнаружение сигнала на изображении в задачах поиска удалённого абонента в беспроводных оптических линиях связи // V Международный технический форум СТНО-2022. Сборник трудов. 2022.Т.1. с. 118–121.
4. А. А. Боев, С. Н. Кузнецов, Б. Ю. Огнев, К. И. Приходько. Высокоскоростной алгоритм работы датчика оси диаграммы направленности в лазерных системах связи // Лазерно-информационные технологии: труды XXIX Международной конференции / ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова». – Новороссийск: НФ ФГБОУ ВО «БГТУ», 2021. –252 с.

#### **Space-time signal processing of a remote optical beacon in the tasks of guidance terminals of free space optics systems**

\* Prikhodko K. I., Kuznetsov S. N.  
*JSC MOSTCOM, Ryazan, Russia*

Every year, interest in free space optics (FSO) systems is growing

more and more, the main advantages of which, compared with traditional radio communications, are increased bandwidth, the ability to work in radio silence mode, as well as the use in quantum key distribution systems. The use of such systems for communication with mobile objects requires a high-speed guidance system that combines the optical axes of the transmitter and receiver of laser radiation. The work considers the FSD system, which uses a service channel for guidance – a separate laser channel (beacon) operating at a wavelength different from the information channel and modulated in amplitude by some useful signal. On the receiving side, the sensor for the position of the radiation spot of the beacon of the remote terminal is a matrix photodetector sensor. The task of each of the terminals is to hold the beacon's spot in a given area of the image field of the photodetector matrix. Thus, the primary task of the guidance system is to detect the space-time signal of the remote terminal spot against the background of clutter. The main source of clutter in the system under consideration are matrix shot noise caused by background illumination, as well as random fluctuations in the amplitude of the signal and background caused by atmospheric turbulence and representing a multiplicative interference. Considering that the clutter is not correlated in time and space, a detection algorithm close to optimal was developed, in which the processing of the useful signal is divided into spatial and temporal [1]. Spatial processing is a nonlinear image filtering, similar to well-known image binarization algorithms, after which only objects similar to the desired spot remain in the image field. Temporary processing performs temporary filtering of the frames series that have undergone spatial processing, after which a decision for each pixel about its belonging to the target is made. The Neyman-Pearson lemma [2] with a global threshold for the entire image field is used as a detection criterion in the work. The described algorithm is implemented on the FPGA, and the 1024x1024 pixels photodetector matrix with 5.5  $\mu\text{m}$  pixel size as an optical sensor. The paper presents the detection characteristics built on the basis of simulation modeling, as well as a full-scale experiment. A comparison was made with similar algorithms for searching for a remote terminal [3, 4], for each of which the gain in signal-to-noise ratio was more than 3 dB.

УДК 535.92+621.395.7  
ГРНТИ 49.44.31  
ВАК 05.12.13

### **Оценка целесообразности использования атмосферной оптической связи на объектах использования атомной энергии**

<sup>1\*</sup> Казанцев С. Ю., <sup>2</sup> Кузнецов С. Н., <sup>3</sup> Максимов А. Ю.,

<sup>1</sup> Пчелкина Н. В.

<sup>1</sup> *Московский технический университет связи и информатики,  
111024, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная в/д*

<sup>2</sup> АО МОСТКОМ, Рязань, Россия

<sup>3</sup> АО «Прорыв», г. Москва, Россия,

email: \* [s.i.kazantsev@mtuci.ru](mailto:s.i.kazantsev@mtuci.ru), [ksn@mостком.ru](mailto:ksn@mостком.ru),  
[mayu@proryv2020.ru](mailto:mayu@proryv2020.ru), [n.v.pchelkina@mtuci.ru](mailto:n.v.pchelkina@mtuci.ru)

Проведён анализ возможностей использования на объектах использования атомной энергии (ОИАЭ) систем беспроводной связи на основе атмосферных оптических линий связи. Показано, что современные терминалы атмосферной связи российских фирм позволяют реализовать высокоскоростной обмен данными внутри периметра АЭС, а также обеспечить внешний резервный канал связи, защищённый по технологии квантового распределения ключей [1, 2]. На основе подхода [3] предложена методика для оценки целесообразности использования атмосферной оптической связи на ОИАЭ в районе размещения Курской АЭС. Показана высокая перспективность применения атмосферной лазерной связи, в том числе защищённой по технологии КРК на АЭС, расположенных в центральном и южных районах России.

### **Список литературы**

1. Боев А. А. и др. Возможность построения модульной системы квантового распределения ключей в атмосфере // Письма в ЖТФ, – 2022. – Т. 48. – №. 15. – С. 15–18. EDN: MPMYRN
2. Bolotov D. V. et al. Modular Facility of Quantum Key Distribution in a Free Space //2023 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). – IEEE, 2023. – pp. 1–5.
3. Пронин А. А. и др. Исследование возможностей применения атмосферных оптических линий связи в регионах России // Наука, техника, педагогика в высшей школе: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, 2023. – С. 569–575. – EDN IKOPIF.

### **Evaluation of the feasibility of using atmospheric optical communication at nuclear facilities**

<sup>1</sup> Kazantsev S. Y., <sup>2</sup> Kuznetsov S. N., <sup>3</sup> Maksimov A. Y.,  
<sup>1</sup> Pchelkina N. V.

<sup>1</sup> *Moscow Technical University of Communications and Informatics,  
111024, Russia, Moscow, str. Aviamotornaya 8a*

<sup>2</sup> JSC MOSTCOM, Ryazan, Russia

<sup>3</sup> JSC Proryv, Moscow, Russia

An analysis of the possibilities of using wireless communication systems based on atmospheric optical communication lines at nuclear facilities (NF) has been carried out. It is shown that modern atmospheric communication terminals of Russian companies make it possible to implement high-speed data exchange within the NPP perimeter, as well as to provide an external backup communication channel protected by quantum key distribution technology (QKD) [1, 2]. Based on the approach [3], a methodology was proposed for assessing the feasibility of using atmospheric optical communication at nuclear facilities in the area where the Kursk NPP is located. High prospects are shown for the use of atmospheric laser communications, including those protected by the QKD technology, at nuclear power plants located in the central and southern regions of Russia.

УДК 615.849.19  
ГРНТИ 29.33.47+31.27.37  
ВАК 1.3.19+1.5.4

### **Фитолазерофорез – интенсивно развивающийся метод лазеротерапии**

\* Лисенкова А. М., Орёл Н. М., Железнякова Т. А.  
*Белорусский государственный университет*  
220030, Беларусь, г. Минск, проспект Независимости, 4  
email: [lisenkova@bsu.by](mailto:lisenkova@bsu.by), [oryol@bsu.by](mailto:oryol@bsu.by), [t.zhe@inbox.ru](mailto:t.zhe@inbox.ru)

Использование достижений фундаментальных наук в медицинской практике привело к появлению новых эффективных немедикаментозных способов лечения и реабилитации заболеваний внутренних органов [1]. Среди них интенсивно развивается лазерофорез (ЛФ) и его разновидность – фитолазерофорез (ФЛФ). ФЛФ – способ введения сложных биологически активных веществ растительного происхождения во внутренние среды организма при помощи лазерного излучения низкой интенсивности (НИЛИ). При этом НИЛИ оказывает также самостоятельное положительное воздействие на организм, активируя трансмембранный механизм переноса биологически активных веществ, проявляется биостимулирующее действие НИЛИ, повышается активность ферментов, происходит усиление кислородного обмена, увеличение поглощения кислорода тканями организма, активизируются окислительно-восстановительные процессы [2, 3]. ФЛФ отличается неинвазивностью, отсутствием химических препаратов при минимальных дозах дешёвых растительных препаратов и НИЛИ, безвредностью и возможностью системного подхода к лечению пациентов, что особенно важно для детей и лиц преклонного возраста. Число фитопрепаратов, применяемых при ЛФ постоянно растёт.

В течение ряда лет в Белорусском государственном университете разрабатываются инновационные методики ЛФ и аппаратура увеличения биодоступности лекарственных препаратов с биологически активными веществами для нормализации нарушений метаболизма при различных патологиях [2–4]. Исследования воздействия НИЛИ в сочетании с введением адаптогенов лактоферрина и масла семян расторопши, а также водных экстрактов растений отечественной флоры – Пижмы обыкновенной, Цмина песчаного, Девясила высокого, обладающих желчегонным, гипогликемическим, антибактериальным,

антиоксидантным действием подтверждают эффективность данной методики введения фитопрепаратов [3].

Новые исследования сочетанного воздействия НИЛИ с экстрактами фенолов Брусники обыкновенной и Бессмертника показывают возможность усиления антиоксидантной системы ряда ферментов, причём эффективность экстракта Брусники оказывается существенно выше, чем Бессмертника. Проведенные исследования показывают эффективность комплексного использования лазерного воздействия в сочетании с биологически активными фитопрепаратами. Понимание механизмов ФЛФ на клеточном и тканевом уровнях позволяет формулировать и требования к физическим факторам, обеспечивающим максимально эффективное проведение процедуры ЛФ [5]. Истинные возможности ФЛФ еще далеко не изучены.

Результаты работ [3, 4] могут шире использоваться в клинической практике для разработки технологии регуляции процессов обмена веществ в органах и тканях и совершенствования способов биохимического контроля и лечения при различных патологиях. Фитолазерофорез активно внедряется в ведущие клиники России при лечении хронических заболеваний органов дыхания, остеохондроза, заболевании суставов, простатита, ДЦП, ИБС, ЖКТ, нервных болезней, грыжи, синусита, заболеваний периферических сосудов и других заболеваний [5]. Представляется актуальным проведение дальнейших научных исследований в области разработки новых технологий ФЛФ, и их широкое внедрение в медицинскую практику Республики Беларусь и стран Содружества не только в области косметологии. При этом необходимо активное сотрудничество специалистов различных областей естественных наук и медицины.

### **Список литературы**

1. Улащик В. С. Трансдермальное введение лекарственных веществ и физические факторы. Традиции и инновации. Минск, «Беларуская навука», 2017. – 266 с.
2. А. М. Лисенкова, М. М. Кузейко, Т. А. Железнякова, Н. М. Орёл. Возможные способы повышения эффективности лазерофореза Труды XXIX Междунар. конференции Лазерно-информационные технологии – 2021 г. Новороссийск, Краснодарский край, 13 – 18 сентября 2021 г. – С.27-29
3. Орёл Н. М. Состояние антиоксидантной активности и процессов перекисного окисления липидов в печени крыс при действии лазерного излучения в сочетании с фенолами растительного

происхождения в *опытах invitro* /Н.М. Орёл, А.М. Лисенкова, А.М. Братченя, Д.А. Жолудева //Лазерно-информационные технологии. –2022. Труды XXX Междунар. конф. Новороссийск, Краснодарский край 12–17 сентября 2022 г. – С. 36–38.

4. Железнякова Т. А. Влияние параметров излучения и оптических свойств биологических тканей на процесс лазерофореза. Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук Минск, 2017. – 44 с.

5. А. А. Хадарцев, В. Г. Купеев, С. В. Москвин. Фитолазерофорез.– М.–Тверь: Издательство «Триада». – 2016. –96 с.

### **Phytolaserophoresis is an intensively developing method of laser therapy**

\* Lisenkova A. M., Oryol N. M., Zheleznyakova T. A.  
*Belarusian State University*  
*220030 Belarus, Minsk, Independence Avenue, 4*

The intensively developing method of phytolaserophoresis is considered. The influence of various herbal remedies and low-intensity laser radiation on the activity of antioxidant enzymes and lipid peroxidation and other processes important for the normalization of metabolic disorders in various pathologies is analyzed. The conducted studies show the effectiveness of the complex use of laser exposure in combination with biologically active herbal remedies.

УДК 535.92+621.382

ГРНТИ 49.44.31

ВАК 05.12.13

### **Воздействие атмосферных разрядов на квантовоераспределение ключей по оптическому волокну**

Болотов Д. В., Бушуев Э. В., Грычкин С. Е., Казанцев С.Ю.,  
Казиева Т. В., Колесников О. В., Строзанова Е. П.

*Московский технический университет связи и информатики,  
111024, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная*

email: [d.v.bolotov@mtuci.ru](mailto:d.v.bolotov@mtuci.ru), [e.y.bushuev@mtuci.ru](mailto:e.y.bushuev@mtuci.ru),

[s.e.grychkin@mtuci.ru](mailto:s.e.grychkin@mtuci.ru), [s.i.kazantsev@mtuci.ru](mailto:s.i.kazantsev@mtuci.ru), [t.v.kazieva@mtuci.ru](mailto:t.v.kazieva@mtuci.ru),

[o.v.kolesnikov@mtuci.ru](mailto:o.v.kolesnikov@mtuci.ru), [e.p.stroganova@mtuci.ru](mailto:e.p.stroganova@mtuci.ru)

Использование различных методов уплотнения для передачи данных в ВОЛС и применение технологии КРК выявило значительную чувствительность канала связи к воздействию атмосферных разрядов [1]. В докладе представлены результаты исследования влияния электромагнитных полей, на оптический кабель, соединяющий две установки КРК. Представлено описание экспериментальных стендов, созданных в МТУСИ, и данные о влиянии импульсных электромагнитных полей, близких к тем, что регистрировались в [2], на изменении поляризации излучения, длину квантового ключа и QBER квантового канала связи. Показана более высокая устойчивость к влиянию сильного магнитного поля системы КРК с фазовым кодированием, чем системы с КРК на поляризационном кодировании.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФ № 23-79-10223.

### **Список литературы**

1. Болотов Д. В. Защита волоконно-оптических линий связи от воздействий атмосферных разрядов / Болотов Д. В., Казанцев С. Ю., Колесников О. В., Комаров О. А. // XII международная конференция по фотонике и информационной оптике. – 2023. – С. 494–495. – EDN GOAXWV.

2. Kazieva T. V. et al. Laboratory Setup for Studying the Effect of Atmospheric Discharges on Communication Lines Protected by Quantum Key Distribution Technology // 2023 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). – IEEE, 2023. – pp. 1–4., doi: 10.1109/WECONF57201.2023.10147989.

**The effect of atmospheric discharges on the quantum keys  
distribution through an optical fiber**

Bolotov D. V., Bushuev E. V., Grychkin S. E., Kazantsev S. Yu.,  
Kazieva T. V., Kolesnikov O. V., Stroganova E. P.

*Moscow Technical University of Communications and Informatics*

The use of various multiplexing methods for data transmission in fiber optic network and the use of QKD technology revealed a significant sensitivity of the communication channel to the effects of atmospheric discharges[1].The report presents the results of a study of the influence of electromagnetic fields on an optical cable connecting two QKD installations.A description of the experimental stands created at MTUCI is presented as well as and data on the influence of pulsed electromagnetic fields close to those described in [2], on the change in laser emission polarization, the length of the quantum key and QBER of the quantum communication channel are presented.A higher resistance to the influence of a strong magnetic field of a phase-coded QKD system than systems with a polarization-coded QKD is shown.

The work was partially supported by the RNF grant No. 23-79-10223.

УДК 535.14, 535.232/.233

ГРНТИ 29.31.19

ВАК 1.3.14

**О механизме генерации направленного широкополосного  
суперконтинуума возникающего при абберационном  
распространении в воздухе фемтосекундного лазерного излучения  
с центральной длиной волны 940 нм**

<sup>1,2\*</sup> Прокопьев В. Е., <sup>2</sup> Лубенко Д. М.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный  
университет, 634050, Россия, г. Томск, ул. Ленина 36

<sup>2</sup>Институт сильноточной электроники Сибирского отделения  
Российской академии наук, 634055, Россия, г. Томск, пр-т.  
Академический 2/3

email: \* prokop@ogl.hcei.tsc.ru, lubenkodm@gmail.com

В работе исследуются физические причины, механизмы и условия образования устойчивого, направленного видимого суперконтинуума (СК) возникающего при абберационном распространении в воздухе сфокусированного инфракрасного фемтосекундного лазерного излучения с центральной длиной волны 940 нм.

Известно, что при осесимметричном распространении пучка накачки, длиннофокусной фокусировке и определённой мощности возникает одиночный филамент, являющийся источником направленного СК. Однако при внесении в пучок накачки фазовых искажений, появляется абберация, приводящая к возникновению двух симметричных относительно оси лазерного излучения ярко светящихся пучков света с малой расходимостью [2]. В отличие от осесимметричного пучка СК распространяющиеся по оси лазерного излучения, пучки СК во втором случае являются более устойчивыми и стабильными.

Обнаружено, что трансформация исходного спектра лазерного излучения происходит по ходу распространения как в области филамента, так и в областях близких к последней. А наиболее существенное последовательное уширение спектра от ИК области  $\lambda_n \approx 940$  нм вплоть до 350 нм происходит в постфиламентационном канале (ПФК), который возникает в результате самоканализации излучения в следствии баланса Керровской самофокусировки и дифракционной расходимости. Экспериментально измеренная концентрация электронов в этой области ПФК не превышает величину  $\sim 10^{13}$  см<sup>-3</sup> и не может

объяснить значительное уширение спектра в антистоксовую сторону в результате фазовой самомодуляции (ФСМ).

В сообщении проведён сравнительный анализ полученных экспериментальных данных и различных механизмов возникновения направленного СК в прозрачных диэлектриках, в микроструктурированных и полых фотонно-кристаллических волокнах и газах. Показано, что основным механизмом возникновения направленного осевого и приосевого СК в воздухе являются генерация вынужденного стоксового вращательного комбинационного (рамановского) рассеяния (ВСВКР) первого и второго порядка запускающего каскадный четырёхфотонный параметрический процесс (КЧФПП) в антистоксовой области спектра [3]. При этом на первой стадии спектрального уширения является результатом совместного действия стоксового ВКР на вращательных переходах молекул воздуха и параметрического четырёхволнового смешения с незначительным вкладом в уширение ФСМ импульса накачки. Первая часть процесса уширения спектра реализуется уже в областях фокусировки и филамента, а значительное антистоксово уширение вплоть до частот 350 нм возникает в области ПФК на расстоянии  $\sim 100$  см от области фокусировки. Физической причиной существования ЧФПП в наших условиях является: 1) нелинейная восприимчивость третьего порядка воздуха  $\chi^{(3)}$  и 2) последовательное уширение спектра в антистоксову область при КЧФПП, которая объясняется распространением света в оптическом световоде, при самоанализации излучения в воздухе в ПФК. Численное моделирование характеристик направленного СК в рамках предложенного механизма хорошо объясняет и другие экспериментально полученные результаты.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ FWRM-2021-0014.

### **Список литературы**

1. N. G. Ivanov, V. F. Losev, V. E. Prokop'ev, K. A. Sitnik Generation of a highly directional supercontinuum in the visible spectrum range // Optics Communications 387 (2017) 322–327.
2. D. M. Lubenko, V. E. Prokopev. Generation of Broadband Radiation During Filamentation of a Femtosecond Laser Pulse in the Atmosphere // Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics 2022, 15(6), 718–723.

**On the mechanism of generation of a directional broadband supercontinuum of femtosecond laser radiation with a central wavelength of 940 nm arising during aberrational propagation in air**

<sup>1,2</sup> Prokoviev V. E., <sup>2</sup> Lubenko D. M.

<sup>1</sup> *National Research Tomsk State University, 634050, Russia, Tomsk, str. Lenina 36*

<sup>2</sup> *Institute of High-Current Electronics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, pr. Academic 2/3*

The paper investigates the physical causes, mechanisms and conditions for the formation of a stable, directional visible supercontinuum (SC) arising from the aberrational propagation of focused infrared femtosecond laser radiation in air with a central wavelength of 940 nm.

It is known that in the case of axisymmetric propagation of the pump beam, long-focus focusing, and a certain power, a single filament arises, which is the source of directional SC. However, when phase distortions are introduced into the pump beam, an aberration appears, leading to the appearance of two brightly luminous light beams with a small divergence, symmetric about the laser radiation axis [2]. In contrast to the axisymmetric SC beam propagating along the laser radiation axis, the SC beams in the second case are more stable and stable.

It is found that the transformation of the initial spectrum of laser radiation occurs in the course of propagation both in the region of the filament and in regions close to the latter. And the most significant sequential broadening of the spectrum from the IR region  $\lambda_0 \approx 940$  nm up to 350 nm occurs in the post-filamentation channel (PFC), which occurs as a result of self-channeling of radiation as a result of the balance of Kerr self-focusing and diffraction divergence. The experimentally measured electron density in this PFC region does not exceed  $\sim 10^{13}$  cm<sup>-3</sup> and cannot explain the significant broadening of the spectrum towards the anti-Stokes side as a result of self-phase modulation (SPM).

In the communication, a comparative analysis of the obtained experimental data and various mechanisms of the appearance of directional SC in transparent dielectrics, in microstructured and hollow photonic-crystal fibers and gases is carried out. It has been shown that the main mechanism for the occurrence of directed axial and paraxial SC in air is the generation of stimulated Stokes rotational Raman (Raman) scattering (FSRS) of the first and second order triggering a cascade four-photon parametric process (FFPPP)

in the anti-Stokes region of the spectrum [3]. In this case, at the first stage, the spectral broadening is the result of the joint action of Stokes SRS on rotational transitions of air molecules and parametric four-wave mixing with an insignificant contribution to the broadening of the SPM of the pump pulse. The first part of the spectrum broadening process is realized already in the focusing and filament regions, and a significant anti-Stokes broadening up to frequencies of 350 nm occurs in the PFC region at a distance of  $\sim 100$  cm from the focusing region. air  $\chi(3)$  and 2) the consistent broadening of the spectrum into the anti-Stokes region in the case of the QFSPP, which is explained by the propagation of light in the optical fiber, with self-channeling of radiation in the air in the PFC. Numerical simulation of the characteristics of directional SC within the framework of the proposed mechanism well explains other experimental results.

The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FWRM-2021-0014.

УДК 621.375  
ГРНТИ 68.35.01  
ВАК 4.3.2

### **Об использовании полупроводникового лазера в агротехнологиях**

<sup>1\*</sup> Юран С. И., <sup>2</sup> Зарипов М. Р., <sup>1</sup> Вершинин М. Н.

<sup>1</sup> *Ижевская сельскохозяйственная академия*  
426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая 11

<sup>2</sup> *Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН,*  
426067, Россия, г. Ижевск, ул. Им. Татьяны Барамзиной 34

email: [yuran-49@yandex.ru](mailto:yuran-49@yandex.ru), [zaripov.istu@gmail.com](mailto:zaripov.istu@gmail.com),  
[verchinin777@mail.ru](mailto:verchinin777@mail.ru)

Облучение растений лазерным излучением стимулирует рост и развитие растений, усиливается толерантность к различным неблагоприятным воздействиям окружающей среды. В большинстве научных работ, которые посвящены лазерной стимуляции, и в которых описывается стимулирующий эффект, используется газовый гелий-неоновый (He-Ne) лазер с длиной волны 632,8 нм. Фактором наибольшего распространения газовых лазеров является такой параметр лазерного излучения, как объем когерентности (ширина спектральной линии и длина когерентности). В работах, посвященных лазерной стимуляции упоминается, что стимулирующий эффект проявляется только в случае, когда растительная клетка полностью помещается в объеме когерентности лазерного излучения, т.е. вероятность получения стимулирующего эффекта от лазерного излучения больше.

Альтернативным источником лазерного излучения может стать и полупроводниковый лазер, но его использование затруднено тем, что объем когерентности излучения значительно меньше объема растительной клетки. Растительная клетка не помещается в объем когерентности лазерного излучения и не получает эффект стимуляции. Выходом из этой ситуации может стать использование монохроматоров или светофильтров с ширинами спектральной линии 10–30 нм. Предполагается, что использование светофильтров, совместно с мощным источником оптического излучения, позволит более эффективно облучать растительные клетки излучением со сравнительно большим объемом когерентности. Использование светофильтров может положительно повлиять на стимуляцию растительных клеток.

### **The use of a semiconductor laser in agricultural technologies**

<sup>1</sup>Yuran S. I., <sup>2</sup>Zaripov M. R., <sup>1</sup>Vershinin M. N.

<sup>1</sup>*Izhevsk State Agricultural Academy*

*426069, Russia, Izhevsk, Student Street, 11*

<sup>2</sup>*Udmurt Federal Research Center UB RAS*

*426067, Russia, Izhevsk, str. T. Baramzina, 34*

Laser radiation stimulates the growth and development of plants, increases tolerance to various adverse environmental influences. Numerous scientific articles on laser stimulation describe the stimulating effect when using a gas helium-neon (He-Ne) laser with a wavelength of 632.8 nm. The wide distribution of gas lasers is due to the volume of coherence (the width of the spectral line and the coherence length) of laser radiation. In articles about laser stimulation, the criterion for the manifestation of the effect is mentioned. It manifests itself when the plant cell is completely placed in the coherence volume of laser radiation. The semiconductor laser is an alternative source of laser radiation. The low use of a semiconductor laser is explained by the smaller volume of radiation coherence, which is less than the volume of a plant cell. The plant cell does not fit into the coherence volume of laser radiation and does not receive the stimulation effect. The solution is to use monochromators or light filters with spectral linewidths of 10–30 nm. The use of light filters and a powerful source of optical radiation will reliably irradiate plant cells with radiation with a large volume of coherence. The use of light filters can affect the stimulation of plant cells.

УДК 535.92+621.372.8.082.5  
ГРНТИ 49.44.31  
ВАК 05.12.13

### **Выбор оптимальной длины волны для квантового распределения ключей через ИСЗ**

\* Тимошенко А. С., Жуковский Д. Д., Казанцев С. Ю., Пчелкина Н. В.  
*Московский технический университет связи и информатики*  
*111024, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная*  
email: [sashat2000@mail.ru](mailto:sashat2000@mail.ru), [dan17zh@mail.ru](mailto:dan17zh@mail.ru), [s.i.kazantsev@mtuci.ru](mailto:s.i.kazantsev@mtuci.ru),  
[n.v.pchelkina@mtuci.ru](mailto:n.v.pchelkina@mtuci.ru)

Рассмотрены основные критерии, по которым выбирался спектральный диапазон для реализации технологии квантового распределения ключей (КРК) через искусственные спутники Земли (ИСЗ) [1]. Выполнен анализ ослабления излучения атмосферой Земли в разных спектральных диапазонах, а также фоновых засветок на приёмной аппаратуре систем КРК и показано, что излучение с длиной волны вблизи 850 нм имеет достаточно низкое поглощение в атмосфере, позволяет сформировать узкую диаграмму направленности при использовании на ИСЗ зеркала диаметром до 30 см. Показано, что важный фактор, по которому многие исследователи для спутникового КРК отдают предпочтение спектральному диапазону ближнего ИК спектра, связан с доступностью элементной базы для детектора одиночных фотонов, лазерных источников и наличием простых решений для реализации адаптивных оптических систем [3].

### **Список литературы**

1. Sidhu J. S. et al. Advances in space quantum communications // IET Quantum Communication. – 2021. – V. 2. – No. 4. – pp. 182–217.
2. Abasifard M. et al. The ideal wavelength for daylight free-space quantum key distribution // arXiv preprint arXiv:2303.02106. – 2023.
3. Rabenandrasana J. et al. Wavefront Control of Wide Aperture Laser Beams for Quantum Key Distribution Problems in Free Space // 2023 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). – IEEE, 2023. – pp. 1–8. doi: 10.1109/WECONF57201.2023.10147981.

### **Choice of the Optimal Wavelength for Quantum Key Distribution via artificial Earth satellites**

Timoshenko A. S., Zhukovsky D. D., Kazantsev S. Y., Pchelkina N. V.  
*Moscow Technical University of Communications and Informatics  
111024, Russia, Moscow, str. Aviamotornaya 8a*

The main criteria by which the spectral range for the implementation of quantum key distribution (QKD) technology via artificial earth satellites (AES) was chosen [1] are considered.

The analysis of the attenuation of radiation by the Earth's atmosphere in different spectral ranges was made, as well as background illumination on the receiving equipment of the SRC systems. Radiation with a wavelength near 850 nm was found to have rather a low absorption in the atmosphere. It makes possible to form a fairly narrow radiation pattern when using a mirror with a diameter of 30 cm on a satellite.

An important factor in which many researchers for satellite QKD prefer the spectral range of the near-IR spectrum is shown to be connected with the availability of the element base for the detector of single photons, laser sources and the availability of simple solutions for the implementation of adaptive optical systems [3].

УДК 530.145.6+530.145.7

ГРНТИ 29.29.39

ВАК 1.3.3

**Влияние параметров лазерного импульса на формирование  
квантовых вихрей, образующихся при надбарьерной ионизации  
двумерной квантовой системы**

<sup>1,2\*</sup> Ларионов Н. В., <sup>1</sup> Молчановский В. М.

<sup>1</sup> *Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, ул. Лоцманская, д. 3, Санкт-Петербург, 190121, Россия*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия.*

email: \*larionov.nickolay@gmail.com

Одним из нетривиальных эффектов, наблюдающихся при ионизации одиночных атомов, является возникновение квантовых вихрей [1-3]. Эти вихри представлены состояниями фотозлектрона, в которых ток вероятности демонстрирует спиралевидные структуры, в центрах которых плотность вероятности равна нулю.

В работах [4, 5] нами теоретически исследовались квантовые вихри, возникающие при надбарьерной ионизации двумерного водородоподобного атома сверхкоротким лазерным импульсом. Волновая функция фотозлектрона, найденная во втором порядке теории возмущений, позволила увидеть интерференционную природу квантовых вихрей. Результаты аналитического подхода подтвердились численными расчётами.

В упомянутых работах поле лазерного импульса однообразно моделировалось косинусоидальной зависимостью на временном интервале  $[0, T]$  ( $1 < T < 10$  а.е.), содержащем всего несколько периодов колебаний. При этом в момент включения импульса всегда задавалось максимальное значение амплитуды поля, сопоставимое с внутриатомным. Других вариаций воздействия лазерного импульса исследовано не было.

В данной работе, оставаясь в рамках упрощений, сделанных в [4, 5], мы исследуем влияние характера включения поля ионизирующего импульса на образование квантовых вихрей.

Уточняем пределы использования аналитического выражения для волновой функции фотозлектрона, полученной ранее в [4, 5].

### Список литературы

1. L. Ph. H. Schmidt, C. Gohl, D. Metz, H. Schmidt-Bocking, R. Dorner, S. Yu. Ovchinnikov, J. H. Macek, D. R. Schultz. "Vortices Associated with the Wave Function of a Single Electron Emitted in Slow Ion-Atom Collisions", *Phys. Rev. Lett.*, vol. 112, 083201, 2014.
2. F. CajiaoVülez. "Generation of quantum vortices in photodetachment: The role of the ground-state wave function", *Physical Review A*, vol. 104, 043116, 2021. DOI: 10.1103/PhysRevA.104.043116.
3. Lei Geng, F. CajiaoVülez, J. Z. Kamiński, Liang-You Peng, K. Krajewska. "Structured photoelectron distributions in photodetachment induced by trains of laser pulses: Vortices versus spirals", *Physical Review A*, vol. 104, 033111, 2021. DOI: 10.1103/PhysRevA.104.033111.
4. Ларионов Н. В., Овчинников С. Ю., Смирновский А. А., Шмидт А. А. «Применение теории возмущений к исследованию возникновения квантовых вихрей, образующихся при воздействии сверхкороткого импульса электромагнитного поля на атом», *Журнал технической физики*. 2018. Т. 88. № 11. С. 1621-1627.
5. Ларионов Н. В., Макаров Д. Н., Смирновский А. А., Овчинников С. Ю., «Образование квантовых вихрей при ионизации Атома Сверхкоротким лазерным импульсом: 2D- и 3D-СЛУЧАИ», *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. 2019. Т. 156. № 6 (12). С. 1035-1043.

### **Influence of laser pulse parameters on the formation of quantum vortices formed during over-barrier ionization of a two-dimensional quantum system**

<sup>1,2\*</sup> Larionov N. V., <sup>1</sup> Molchanovskiy V. M.

<sup>1</sup> *St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg*

<sup>2</sup> *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
St. Petersburg*

One of the nontrivial effects observed during the ionization of single atoms is the appearance of quantum vortices [1-3]. These vortices are represented by photoelectron states in which the probability current exhibits spiral structures whose centers are zeros of probability density.

In [4,5], we theoretically investigated quantum vortices arising from the over-barrier ionization of a two-dimensional hydrogen-like atom by an ultrashort laser pulse. The photoelectron wave function, found in the second order of perturbation theory, allowed us to see the interference nature of quantum vortices. The results of the analytical approach were confirmed by numerical calculations. In the mentioned works, the laser pulse field was monotonously modeled by a cosine dependence on a time interval  $[0, T]$  ( $1 < T < 10$  a.u.) containing only a few oscillation periods. At the same time, at the moment of switching on the pulse, the maximum value of the field amplitude was always set, comparable to the intraatomic one. No other variations of the effect of the laser pulse have been investigated.

In this paper, remaining within the framework of the simplifications made in [4, 5], we investigate the influence of the nature of the inclusion of the ionizing pulse field on the formation of quantum vortices. We clarify the limits of using an analytical expression for the photoelectron wave function obtained earlier in [4, 5].

УДК 618.38:616-079  
ГРНТИ 760000  
ВАК 3.2.3

### **Лазерные технологии, как альтернативный метод диагностики в акушерско-гинекологической и неонатологической работе**

<sup>1</sup> Куликова И. А., <sup>1</sup> Плотникова Е. Ю., <sup>2</sup> Мурашкина Т. И.,  
<sup>2</sup> Бадеев В. А., <sup>1\*</sup> Васильев Ю. А., <sup>2</sup> Бадеева Е. А., <sup>1</sup> Павлюченко И. И.,  
<sup>3</sup> Истомина Т. В.

<sup>1</sup> Кубанский государственный медицинский университет  
350063, Россия, г. Краснодар, ул. им. Митрофана Седина 4

<sup>2</sup> Пензенский государственный университет  
440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная 40

<sup>3</sup> ФГАОУ НИУ «Московский энергетический институт»

email: [dockulikowa@yandex.ru](mailto:dockulikowa@yandex.ru), [cat\\_roll@yandex.ru](mailto:cat_roll@yandex.ru),  
[timurashkina@mail.ru](mailto:timurashkina@mail.ru), [badeeva\\_elen@mail.ru](mailto:badeeva_elen@mail.ru), [yurii-59@mail.ru](mailto:yurii-59@mail.ru),  
[inter-dekanat@mail.ru](mailto:inter-dekanat@mail.ru), [istom@mail.ru](mailto:istom@mail.ru)

Пуповина (пупочный канатик, *funiculus umbilicalis*) — упругий тяж, соединяющий плод с плацентой, формирующийся синхронно с ростом плаценты из брюшного стебелька (амниотической ножки). Длина пуповины увеличивается в процессе внутриутробного развития эмбриона и плода и при рождении достигает 50...70 см и более. Средний диаметр пуповины до 30..32 недели беременности увеличивается равномерно и линейно, со срока 34...35 недель диаметр пуповины прогрессивно уменьшается и на момент рождения составляет около 15,5...20 мм. Начиная с девятой недели пуповина приобретает спиралевидный ход.

Во втором триместре пуповина имеет сложившуюся, типичную структуру канатика, покрытого однослойным призматическим эпителием (амниотической оболочкой), образованным основанием амниона, со стромой (вартоновым студнем). В толще пуповины (вартоновом студне) проходят две артерии и одна вена и рудименты желточного пузырька и аллантоиса — частично редуцированные экстраэмбриональные протоки: желточный проток и урахус.

Пупочные артерии отходят от внутренних подвздошных артерий. Несут кровь плода, насыщенную углекислым газом и продуктами обмена веществ, к плаценте. После рождения запустевают и превращаются в пупочные складки. Пупочные вены (первоначально парные, затем правая облитерируется). Несут кровь от плаценты, обогащенную кислородом и питательными веществами. Объем

крови, отекающей по пупочным артериям, равен объёму крови, притекающей по пупочной вене, и составляет к 40-й неделе — 240 мл/мин. По желточному потоку запасённые в яйцеклетке питательные вещества из желточного мешка попадают в эмбриональный кишечник. Облитерация желточного протока завершается примерно к десятой неделе беременности: он запусневает и рассасывается. Урахус (аллантоисный проток) — проток, соединяющий дно мочевого пузыря и плаценту служащий для выведения продуктов метаболизма. Облитерация аллантоисного протока завершается примерно к 5...6 месяцу беременности. Ко времени рождения ребёнка он превращается в срединную пупочную связку. Вартонов студень — студенистая или слизистая соединительная ткань, образующая главную массу пупочного канатика, представленная мукоцитами (больше напоминающими фибробласты), которые продуцируют компоненты межклеточного вещества, содержащего много гиалуроновой кислоты и мало коллагеновых волокон.

С началом родовой деятельности начинается и атрофия пуповины, которая завершается в ближайшие часы после рождения. В норме, после рождения ребёнка кровоток по сосудам пуповины сохраняется в течение 5...20 минут. На данный момент сразу после рождения ребёнка пуповина пересекает между зажимами. При этом, материал, изъятый в результате перерезания пуповины не отправляется на гистологическое исследование, а кровь из пупочной вены используется только лишь для определения группы крови и резус-фактора новорождённого.

Авторы считают возможным создание доступного для практического применения и не оказывающего отрицательного воздействия на новорождённого лазерного измерительного устройства, оценивающего значение давления, сатурации и температуры в сосудах пуповины, которое позволит контролировать в динамике отклонения перечисленных показателей от нормы, что может иметь в дальнейшем важное исследовательское и диагностическое значение.

### **Список литературы**

1. Кузнецов С. Л., Мушамбаров Н. Н. Гистология, цитология и эмбриология. 3-е изд., испр. и доп. М.: ООО «Издательство „Медицинское информационное агентство“», 2016. С. 599-600.
2. Радзинский В. Е., Фукс А. М. Акушерство / 2-е издание, 2021. С. 58-60.

### **Laser technologies as an alternative diagnostic method in obstetric-gynecological and neonatology work**

- <sup>1</sup> Kulikova I. A., <sup>1</sup> Plotnikova E. Yu., <sup>2</sup> Murashkina T. I., <sup>2</sup> Badeev V. A.,  
<sup>1\*</sup> Vasiliev Yu. A., <sup>2</sup> Badeeva E. A., <sup>1</sup> Pavlyuchenko I. I., <sup>3</sup> Istomina T. V.  
<sup>1</sup> *Kuban State Medical University, 4 Mitrofan Sedin str., Krasnodar, 350063, Russia*  
<sup>2</sup> *Penza State University, 40 Krasnaya str., Penza, 440026, Russia*  
<sup>3</sup> *FSAQU NRU "Moscow Power Engineering Institute"*

The umbilical cord (umbilical cord, funiculus umbilicalis) is an elastic cord connecting the fetus to the placenta, formed synchronously with the growth of the placenta from the abdominal stalk (amniotic pedicle). The length of the umbilical cord increases during the intrauterine development of the embryo and fetus and reaches 50–70 cm or more at birth. The average diameter of the umbilical cord increases evenly and linearly until 30...32 weeks of pregnancy, from the period of 34...35 weeks, the diameter of the umbilical cord progressively decreases and at the time of birth is about 15.5...20 mm. Starting from week 9, the umbilical cord acquires a spiral course.

In the second trimester, the umbilical cord has a developed, typical structure of a rope covered with a single-layer prismatic epithelium (amniotic membrane) formed by the base of the amnion, with a stroma (wharton jelly). In the thickness of the umbilical cord (wharton jelly) there are two arteries and one vein and rudiments of the yolk bladder and allantois – partially reduced extraembryonic ducts: the yolk duct and urachus.

The umbilical arteries branch off from the internal iliac arteries. They carry fetal blood saturated with carbon dioxide and metabolic products to the placenta. After birth, they become desolate and turn into umbilical folds. Umbilical veins (initially paired, then the right one is obliterated). They carry blood from the placenta, enriched with oxygen and nutrients. The volume of blood flowing through the umbilical arteries is equal to the volume of blood flowing through the umbilical vein, and by the 40th week is 240 ml/min. Through the yolk duct, the nutrients stored in the egg from the yolk sac enter the embryonic intestine. The obliteration of the yolk duct is completed by about 10 weeks of pregnancy: it becomes desolate and resolves. Urachus (allantois duct) is a duct connecting the bottom of the bladder and the placenta and serving to remove metabolic products. Obliteration of the allantois duct is completed by about 5...6 months of pregnancy. By the time the baby

is born, it turns into a median umbilical ligament. Varton's jelly is a gelatinous or mucous connective tissue that forms the main mass of the umbilical cord, represented by mucocytes (more like fibroblasts) that produce components of an intercellular substance containing a lot of hyaluronic acid and few collagen fibers.

With the onset of labor, umbilical cord atrophy also begins, which ends in the next few hours after birth. Normally, after the birth of a child, blood flow through the umbilical cord vessels persists for 5...20 minutes. At the moment, immediately after the birth of the child, the umbilical cord intersects between the clamps. At the same time, the material removed as a result of cutting the umbilical cord is not sent for histological examination, and blood from the umbilical vein is used only to determine the blood type and Rh factor of the newborn.

The authors consider it possible to create a laser measuring device that is accessible for practical use and does not have a negative impact on the newborn, assessing the value of pressure, saturation and temperature in the umbilical cord vessels, which will allow monitoring the dynamics of deviations of these indicators from the norm, which may have important research and diagnostic value in the future.

УДК 53.535  
ГРНТИ 29.33  
ВАК 1.3.19

### **Новый метод решения уравнения Гельмгольца для расчёта энергетических характеристик He-Ne лазера**

Кожевников В. А., \* Привалов В. Е.

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.*

email: \* vaevpriv@yandex.ru, moraval@mail.ru

Решение уравнения Гельмгольца играет важную роль при расчёте энергетических характеристик He-Ne лазера. Среднее по поперечному сечению активного элемента усиление He-Ne лазера пропорционально интегралу от решения соответствующего уравнения Гельмгольца [1], а распределение инверсии населенностей активной среды, используемое при расчёте выходной мощности He-Ne лазера, также соответствует решению подобного уравнения [2].

В работе [1] предложен метод нахождения приближённого решения однородной задачи Дирихле для уравнения Гельмгольца в полярной системе координат в виде разложения по произведениям функций Бесселя (от радиальной переменной) и тригонометрических функций (от угловой переменной). В данной работе мы предлагаем новый метод нахождения приближённого решения однородной задачи Дирихле для уравнения Гельмгольца в декартовой системе координат в виде разложения по произведениям тригонометрических функций (от декартовых координат). Алгоритм метода во многом аналогичен методу в [1], но запись приближённого решения в подобном виде (без функций Бесселя) во многих случаях удобнее для анализа.

#### **Список литературы**

1. Кожевников В. А., Привалов В. Е. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2018. – Т. 11. № 2. – С. 84–95.
2. Кожевников В. А., Привалов В. Е., Фотиади А. Э. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2021. – Т. 14. № 3. – С. 133–145.

## **A new method for solving the Helmholtz equation for calculating the energy characteristics of a He-Ne laser**

Kozhevnikov V. A., \* Privalov V. E.

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University  
195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya, 29.*

The solution of the Helmholtz equation plays an important role in calculating the energy characteristics of a He-Ne laser. The gain of the He-Ne laser averaged over the cross section of the active element is proportional to the integral of the solution of the corresponding Helmholtz equation [1], and the population inversion distribution of the active medium, which is used to calculate the output power of a He-Ne laser, also corresponds to the solution of a similar equation [2].

In [1], a method was proposed for finding an approximate solution of the homogeneous Dirichlet problem for the Helmholtz equation in a polar coordinate system in the form of an expansion in terms of products of Bessel functions (of a radial variable) and trigonometric functions (of an angular variable). In this paper, we propose a new method for finding an approximate solution of the homogeneous Dirichlet problem for the Helmholtz equation in the Cartesian coordinate system in the form of an expansion in terms of products of trigonometric functions (from Cartesian coordinates). The algorithm of the method is in many respects similar to the method in [1], but writing the approximate solution in this form (without Bessel functions) is in many cases more convenient for analysis.

УДК 621.373.826

ГРНТИ 29.33.15

ВАК 01.04.05

**Энергетические и спектроскопические исследования генерации на  
электронных переходах атома и иона бария при возбуждении  
высоковольтным импульсным разрядом**

\* Васильева А. В., Прокопьев В. Е., Реймер И. В., Солдатов А. Н.,  
Шумейко А. С.

*Томский государственный университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 36*

email: \* [anita\\_tomsk@mail.ru](mailto:anita_tomsk@mail.ru), [prokop@oql.hcei.tsc.ru](mailto:prokop@oql.hcei.tsc.ru), [reimer@mail.ru](mailto:reimer@mail.ru)

Представлены результаты экспериментальных исследований генерационных характеристик лазера на электронных переходах атома и иона бария при возбуждении рабочей смеси паров бария в смеси с инертным газом гелием высоковольтным импульсным разрядом. Предложена конструкция газоразрядной кюветы, которая позволяет увеличить срок службы активной среды вплоть до 500 часов. Представлены обзорные спектры излучения рабочей среды в УФ, видимой и ближней инфракрасной (ИК) областях от 200 до 1200 нм, а также спектр излучения плазмы разряда в ультрафиолетовой области 330 ч 430 нм со спектральным разрешением 0,025 нм. Получена генерация излучения на двух известных красных линиях 614,2 нм и 649,7 нм и ИК линиях в диапазоне 1,13 ч 2,92 мкм, а также слабое усиление на двух рекомбинационных УФ линиях 389,1 нм и 413,2 нм в послесвечении разряда.

Полученные в работе результаты, позволяют сделать вывод о перспективности использования рабочей среды на парах бария в смеси с гелием для получения эффективной генерации в широком спектральном диапазоне от ближнего ультрафиолета 389,1 нм и 413,2 нм до средней инфракрасной области спектра до 3 мкм.

**Список литературы**

1. Солдатов А. Н. и др. Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция. Под. ред. Солдатов А. Н., Латуша Е. Л.–Томск: ТМЛ-Пресс,–526 с.
2. Иванов И. Г., Латуш Е., Сэм М. Ф. Ионные лазеры на парах металлов. – М.: Энергоиздат, 1990.

**Energy and spectroscopic studies of generation on electronic transitions of a barium atom and ion upon excitation by a high-voltage pulsed discharge**

Vasil'eva A. V., Prokopiev V. E., Reimer I. V., Soldatov A. N.,  
Shumeyko A. S.

*Tomsk State University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Ave. 36*

The results of experimental studies of the generation characteristics of a laser based on electronic transitions of a barium atom and ion upon excitation of a working mixture of barium vapor mixed with an inert gas helium by a high-voltage pulsed discharge are presented. A design of a gas-discharge cell is proposed, which makes it possible to increase the service life of the active medium up to 500 hours. Review spectra of the radiation of the working medium in the UV, visible and near infrared (IR) regions from 200 to 1200 nm, as well as the radiation spectrum of the discharge plasma in the ultraviolet region 330 ч 430 nm with a spectral resolution of 0.025 nm are presented. Generation of radiation was obtained on two known red lines 614.2 nm and 649.7 nm and IR lines in the range 1.13 ч 2.92  $\mu\text{m}$ , as well as weak amplification on two recombination UV lines 389.1 nm and 413.2 nm in the afterglow of the discharge.

The results obtained in the work allow us to conclude that it is promising to use a working medium on barium vapor mixed with helium to obtain efficient generation in a wide spectral range from the near ultraviolet 389.1 nm and 413.2 nm to the mid-infrared region of the spectrum up to 3  $\mu\text{m}$ .

УДК 535.376  
ГРНТИ 29.31.21  
ВАК 1.3.6

### **Испытания устройства с программным управлением анодирования металлов по их электролюминесценции**

\* Бойченко А. П., Лифиренко В. А.

*Кубанский государственный университет  
350040, Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149  
e-mail: bojchenco@yandex.ru*

Формирование оксид-барьерных наноструктур на поверхности металлов путем их анодирования в различных электролитах является в настоящее время наиболее распространенной технологией, широко используемой во многих отраслях промышленности [1, 2]. В 2019 году была предложена не только новая возможность реализации этой технологии в химически чистой воде разноизотопного состава и некоторых неводных электролитах, но и обнаружено явление электролюминесценции (ЭЛ), сопровождающей процесс анодирования [3] для очень многих металлов: Mg, Al, In, Ga, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, W, Er, Lu, а так же Si. Преимущественно проведенные на Al исследования показали формирование на его поверхности оксида металла ( $Al_2O_3$ ), не уступающего по своей нанопористой структуре, сформированной классическим путем в растворах электролитов [2]. Тогда же была впервые продемонстрирована возможность управления анодно-электролизным процессом формирования  $Al_2O_3$  по генерируемой им ЭЛ [4, 5] с помощью специально разработанного для этого устройства, названного нами «Гальваностат» (ГС). Настоящая работа посвящена результатам его испытаний по анодированию Al при фиксированном уровне светимости ЭЛ ( $3,0 \pm 0,3 \cdot 10^{-5}$  лм/м<sup>2</sup> в дистиллированной воде (ДВ) за время 360 с.

Исследования проводились на ранее описанной установке [3] при температуре ДВ  $298,0 \pm 0,5$  К с регистрацией плотности тока (Л), протекающего через оптико-электролизную ячейку, и кинетики светимости ЭЛ (Л) образующегося  $Al_2O_3$ . Структура последнего визуализировалась на растровом электронном микроскопе (РЭМ) с увеличением изображений до 15000 раз. По РЭМ-изображениям была установлена идентичность оксидной пленки, формирующейся в тех же условиях, но при потенциостатическом режиме анодирования металла [3]. Пленка содержала нанопоры диаметром порядка 50 нм со всеми

геометрическими элементами, характерными для названного режима анодирования. Вместе с тем, кинетика изменения / существенно отличалась от таковой, поскольку в ходе роста  $Al_2O_3$  ГС производилась его регулировка так, чтобы за время анодирования металла обеспечивать постоянным уровень светимости ЭЛ. Вследствие этого кинетика тока носила ступенчатый характер до разгорания люминесценции к 250 с анодирования с момента ее возникновения со 16 с. После этого / приняла параболическую форму изменения, что по нашим предположениям соответствовало режиму формирования вышеописанной наноструктуры  $Al_2O_3$ . Таким образом, экспериментально установлено, что при обеспечивающем ГС управлении тока в зависимости от заданного оператором кинетики или уровня / возможно получать оксид той же структуры, что и при неуправляемом токе в потенциостатическом режиме. Описанный режим также дает возможность управлять и самой структурой формирующихся оксидных пленок металлов по заданной программе.

### Список литературы

1. Zaffora A, Franco F., Quarto F., Santamaria M. Optimization of anodizing process of tantalum for  $Ta_2O_5$ -based capacitors // J. Solid State Electrochemistry. 2020. V. 24. pp. 2953–2962
2. Martinez-Viademonte M.P., Abrahami S.T., Hack T. et al. A review on anodizing of aerospace aluminum alloys for corrosion protection // Coatings. 2020. V. 10. 30 p.
3. Овеченко Д. С. Электролюминесценция нанопористого оксида алюминия при его анодно-электролизном формировании в химически чистой воде и некоторых неводных электролитах. Дисс. ... канд. физ-мат наук. Краснодар: КубГУ, 2022. 130 с.
4. Овеченко Д. С., Бойченко А. П. Управление электролизным формированием оксидов металлов по их электролюминесценции // X Международная конференция по фотонике и информационной оптике: Сб. научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2021. С. 209–210.
5. Чернов Д. В., Бойченко А. П. Программно-аппаратное управление анодированием металлов по их электролюминесценции // XII Международная конференция по фотонике и информационной оптике: Сб. научных трудов. М.: НИЯУМИФИ, 2023. С. 248–249.

## **Tests of a device with program control for anodizing metals by their electroluminescence**

Boychenko A. P., Lifirenko V. A.

*Kuban State University, 350040, Russia, Krasnodar,  
str. Stavropolskaya, 149.*

The formation of oxide-barrier nanostructures on the surface of metals by anodizing them in various electrolytes is currently the most common technology widely used in many industries [1, 2]. In 2019, not only was a new possibility of implementing this technology in chemically pure water of different isotopic composition and some non-aqueous electrolytes was proposed, but also the phenomenon of electroluminescence (EL) accompanying the anodizing process [3] was discovered for many metals: Mg, Al, In, Ga, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, W, Er, Lu, as well as Si. Studies carried out mainly on Al showed the formation of a metal oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) on its surface, which is not inferior in its nanoporous structure, formed in the classical way in electrolyte solutions [2]. At the same time, the possibility of controlling the anodic electrolysis process of the formation of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  according to the EL generated by it [4, 5] was demonstrated for the first time using a device specially designed for this purpose, which we called «Galvanostat» (GS). This paper is devoted to the results of its tests on Al anodizing at a fixed EL luminosity level ( $3.0 \pm 0.3 \cdot 10^{-5} \text{ lm/m}^2$  in distilled water (DW) for 360 s.

The studies were carried out on a previously described setup [3] at a DW temperature of  $298.0 \pm 0.5 \text{ K}$  with registration of the current density ( $J$ ) flowing through the optoelectrolysis cell and the EL luminosity kinetics ( $I$ ) of the resulting  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . The structure of the latter was visualized on a scanning electron microscope (SEM) with image magnification up to 15,000 times. According to SEM images, the identity of the oxide film formed under the same conditions, but under the potentiostatic mode of metal anodization, was established [3]. The film contained nanopores about 50 nm in diameter with all geometric elements characteristic of the named anodization mode. At the same time, the kinetics of the change in  $J$  differed significantly from that, since during the growth of the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  GS, it was adjusted so that the EL luminosity level was maintained constant during the anodizing of the metal. As a result, the current kinetics had a stepwise character until the luminescence intensified by 250 s of anodization from the moment of its occurrence from 163 s. After that,  $J$  took a parabolic form of change, which, according to our assumptions, corresponded to the

mode of formation of the above-described  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanostructure. Thus, it has been experimentally established that with the current control providing the GS, depending on the kinetics or level / specified by the operator, it is possible to obtain an oxide of the same structure as with an uncontrolled current in the potentiostatic mode. The described mode also makes it possible to control the very structure of the formed metal oxide films according to a given program.

УДК 535.34  
ГРНТИ 29.31.27+29.33.18  
ВАК 1.3.6+1.3.19

### **Параметры лазерной абляции для кристаллических световодов ИК-диапазона**

\*Шеманин В. Г., Мкртычев О. В.

*Новороссийский филиал БГТУ им. В. Г. Шухова  
353919, Россия, г. Новороссийск, Мысхакское шоссе 75,  
email: \*shemanin-v-g@nb-bstu.ru, mkrtychev-o-v@nb-bstu.ru)*

В продолжение работы по изучению оптической прочности кристаллов оптических световодов [1–6], были получены значения пороговой энергии при лазерной абляции кристаллов  $AgI_x$  и  $AgBr_y$  для оптических световодов ИК-спектра с покрытиями из теллура и без покрытий под действием импульсного излучения YAG-Nd лазера с длительностями 20 нс и 300 мкс.

Описание лазерной абляционной станции подробно рассмотрено в [1, 4]. Процедура обработки результатов измерений дана в [4, 5].

По результатам измерений средние значения по результатам экспериментов:

- для наносекундной длительности импульсов:
- без покрытия  $1,09 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$ ;
- с покрытием  $1,82 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$ ;
- для макросекундной длительности импульсов:
- без покрытия  $25,16 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$ ;
- с покрытием  $32,59 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$ .

Таким образом, полученные новые данные позволяют управлять оптической прочностью таких световодов за счет изменения химического состава материала волокна.

### **Список литературы**

1. Atkarskaya A. B., Mkrtychev O. V., Privalov V. E., Shemanin V. G. Laser ablation of the glass nanocomposites studies. // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2014. V.23. P. 265–70.
2. Zhukova L. V., Korsakov A. S., L'vov A. E., Salimgareev D. D. Waveduide fibers for the middle IR spectrum. Ekaterinburg: UMC UPI Publ. 2016. 247 p.
3. Shemanin V. G., Mkrtychev O. V. The optical strength of the glass nanocomposites at laser ablation / Journal of Physics: Conference Series. 2015. T. 653. № 1. С. 012012.

4. Мкртычев О. В., Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. Лазерная абляция нанокompозитов / Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. 2015. № 1 (213). С. 128–135.
5. Привалов В. Е., Шеманин В. Г., Мкртычев О. В. Метод оценки оптической прочности облучаемой поверхности при лазерной абляции / Измерительная техника. 2018. № 7. С. 34–37.
6. Мкртычев О. В., Шеманин В. Г. Лазерное абляционное разрушение нанопленок на поверхности стеклянных образцов / Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 2. С. 5–10.

### **Laser ablation parameters for crystalline optical fibers in the IR range**

\* Shemanin V. G., Mkrtychev O. V.

*Novorossiysk branch of BSTU named after V. G. Shukhov, 353919,  
Russia, Novorossiysk, Myskhakskoe shosse 75,*

In continuation of the work on the study of the optical strength of optical fiber crystals [1–6], the values of the threshold energy during laser ablation of AgIx and AgBr<sub>y</sub> crystals were obtained for IR optical fibers with and without coatings of thallium under the action of pulsed radiation from a YAG-Nd laser with durations of 20 ns and 300 μs.

The description of the laser ablation station is considered in detail in [1, 4]. The procedure for processing the measurement results is given in [4, 5].

According to the results of measurements, the average values according to the results of experiments:

- for nanosecond pulse duration:
  - uncoated  $1.09 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ ;
  - coated  $1.82 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ ;
- for macrosecond pulse duration:
  - uncoated  $25.16 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ ;
  - coated  $32.59 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ .

Thus, the new data obtained make it possible to control the optical strength of such fibers by changing the chemical composition of the fiber material.

УДК 535-1+535.8+535-7  
ГРНТИ 29.31.26  
ВАК 01.04.05

### **Электрические свойства оптических материалов на основе галогенидов серебра и одновалентного таллия**

Пестерева П. В., Южакова А. А., Южаков И. В., Салимгареев Д. Д.,  
Львов А. Е., Шмыгалева А. С., Жукова Л. В.  
*Уральский федеральный университет*  
620002, Екатеринбург, ул. Мира 19  
email: [l.v.zhukova@urfu.ru](mailto:l.v.zhukova@urfu.ru)

Исследование электрических свойств является важным этапом при разработке новых инфракрасных материалов. Ранее проводились исследования суперионной проводимости монокристаллов на основе галогенидов серебра при повышении температуры с сохранением характерных для ионных проводников вольт-амперных характеристик [1]. В связи с этим большой интерес представляет исследование электрических свойств монокристаллов и оптической керамики систем  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{AgI}$ ,  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  и  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$  с использованием двухэлектродного метода с обратимыми электродами [3].

Для всех исследуемых образцов анион йода влияет на достижение высоких значений суперионной проводимости в диапазоне температур от 298 до 473–493 К (в зависимости от системы и состава) при давлении 1 атм. Полученные результаты проводимости важны для прикладного применения разработанных материалов, в особенности связанных с высокими температурными режимами и присутствием прямого контакта с электрическим током.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, <https://rscf.ru/project/21-73-10108/>.

#### **Список литературы**

1. Yuzhakova A. Thermally stimulated ionic conductivity study of the  $\text{AgCl} - \text{AgBr}$ ,  $\text{AgBr} - \text{AgI}$ ,  $\text{AgBr} - \text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  crystals systems / Yuzhakova A., Salimgareev D., Turabi A., Korsakov A., Zhukova L. // Optics and Laser Technology. – 2021. – № 139.–106995.
2. Иванов-Шиц А. К. Ионика твердого тела / Иванов-Шиц А.К., Муруни В. // СПб. : Изд-во С.-Петербур. гос. ун-та. – 2000. –№ 1. – С. 615.

**Electrical properties of optical materials based on silver and univalent thallium halides**

Pestereva P. V., Yuzhakova A. A., Yuzhakov I. B., Salimgareev D. D.,  
L'vov A. E., Shmygalev A. S., \* Zhukova L. V.

*Ural Federal University named after the First President of Russia  
B. N. Yeltsin, 620002, Russia, Ekaterinburg, 19 Mira Str.*

The investigation of electrical properties is an important step in the development of new infrared materials. Earlier studies of superionic conductivity of single crystals based on silver halides at increasing temperature with preservation of volt-ampere characteristics characteristic of ionic conductors were carried out [1]. In this connection, the study of electrical properties of single crystals and optical ceramics of the systems  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}\text{-AgI}$ ,  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}\text{-TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$  and  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}\text{-TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$  using the two-electrode method with reversible electrodes [3] is of great interest. For all investigated samples, the iodine anion influences the achievement of high values of superionic conductivity in the temperature range from 298 to 473–493 K (depending on the system and composition) at a pressure of 1 atm. The obtained conductivity results are important for the application of the developed materials, especially those related to high temperature conditions and the presence of direct contact with electric current. This work was supported by the Russian Science Foundation (No. 21-73-10108), <https://rscf.ru/en/project/21-73-10108/>.

УДК 535-1+535.8+535-7

ГРНТИ 29.31.26

ВАК 01.04.05

### Функциональные свойства монокристаллов и керамики системы

#### $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{AgI}$

Салимгареев Д. Д., Шатунова Д. В., Южакова А. А., Львов А. Е.,  
Пестерева П. В., Жукова Л. В.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента  
России Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира 19*  
email: [l.v.zhukova@urfu.ru](mailto:l.v.zhukova@urfu.ru)

Исследование оптических свойств материалов является важным разделом материаловедения. Ранее авторами работы [1] были разработаны монокристаллы и двухфазная керамика системы  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{AgI}$ . Для этих материалов были исследованы функциональные свойства на поликристаллических пластинах, изготовленных методом горячего прессования [1]. Установлено, что исследуемые материалы прозрачны в видимой и ИК областях от 0,49 до 54 мкм. Показатель преломления как монокристаллов, так и двухфазной керамики лежит в диапазоне 2,431–2,516 при длине волны коротковолнового края поглощения, а в диапазоне длин волн от 2,0 до 14,0 мкм – от 2,107 до 2,436. Показатель преломления в ИК области снижается по мере увеличения длины волны и растет с повышением доли AgI в  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ . Все исследуемые образцы обладают минимальным коэффициентом экстинкции ( $0,06-6,67 \cdot 10^{-4}$ ), что указывает на низкие оптические потери в оптических материалах. Наконец, как монокристаллы, так и оптическая керамика показали тенденцию к повышению фотостойкости с увеличением содержания AgI в твердом растворе  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ . Это открывает высокие перспективы применения данных материалов в волоконной оптике и фотонике для медицинских технологий, термографии и оптоэлектроники. Работа выполнена в рамках соглашения с Министерством науки и высшего образования № 075-03-2023-006 от 16.01.2023 (номер темы FEUZ-2023-0021)

### Список литературы

1. Salimgareev D. Synthesis and study of single crystals and optical ceramics based on the  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{AgI}$  system // Applied Materials Today. – 2023. – Vol. 32. – P. 101809.

## Functional properties of single crystals and ceramics of the system

### $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}\text{-AgI}$

Salimgareev D. D., Shatunova D. V., Yuzhakova A. A., L'vov A. E,  
Pestereva P. V., \* Zhukova L. V.

*Ural Federal University named after the first President of Russia  
B. N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, str. Mira, 19*

The investigation of optical properties of materials is an important section of materials science. Previously, the authors of [1] developed single crystals and two-phase ceramics of the  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}\text{-AgI}$  system. For these materials the functional properties were investigated on polycrystalline plates produced by hot pressing [1]. It was found that the investigated materials are transparent in the visible and IR regions from 0.49 to 54  $\mu\text{m}$ . The refractive index of both single crystals and two-phase ceramics lies in the range of 2.431–2.516 at the wavelength of the short-wave absorption edge, and in the wavelength range from 2.0 to 14.0  $\mu\text{m}$  – from 2.107 to 2.436. The refractive index in the IR region decreases with increasing wavelength and increases with increasing AgI fraction in  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ . All the studied samples possess the minimum extinction coefficient ( $0.06\text{--}6.67\cdot 10^{-4}$ ), indicating low optical losses in the optical materials. Finally, both single crystals and optical ceramics showed a tendency to increase photostability with increasing AgI content in  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  solid solution. This opens high prospects for the application of these materials in fiber optics and photonics for medical technologies, thermography and optoelectronics.

The work was carried out under the agreement with the Ministry of Science and Higher Education No. 075-03-2023-006 dated 16.01.2023 (topic number FEUZ-2023-0021).

УДК 535.8+535-14+535-15+535.323

ГРНТИ 29.31.21

ВАК 01.04.05

### **Пропускание материалов системы $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ —AgI в ТГц диапазоне**

Львов А. Е., Южакова А. А., Салимгареев Д. Д., Пестерева П. В,  
Шатунова Д. В, Корсаков А. С, Жукова Л. В.

*Уральский Федеральный университет имени первого президента  
России Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19*

email: [l.v.zhukova@urfu.ru](mailto:l.v.zhukova@urfu.ru)

Ранее [1] была исследована фазовая диаграмма этой системы  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$  — AgI. Исследование свойств оптических материалов на основе этой системы показало конкурентоспособные характеристики монокристаллов и керамики в сравнении с существующими галогенидными твердыми растворами. Образцы системы  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$  — AgI также прозрачны в двух областях: от 0,5 до 54,0 мкм с прозрачностью до 72–75 %, а в диапазоне 300...1500 мкм — до 55–8 % в зависимости от состава. Подобно смещению коротковолнового края (в видимом диапазоне) в область более длинных волн с увеличением доли AgI в  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ , в низкочастотной области также наблюдается смещение от 300 (для 4 мол. % AgI в  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ ) до 540 мкм (33 мол. % AgI в  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ ). Поскольку размер зерна [1] в керамической структуре много меньше длины волны излучения в низкочастотной ТГц области, пропускание всех образцов равномерно возрастает с ростом длины волны, в отличие от зависимостей в ИК. С увеличением длины волны от 300 до 500 мкм коэффициент затухания уменьшается от 1,8 до 0,04. Это позволяет применять материалы как в видимой и ИК области, так и в ТГц области.

Исследование выполнено при финансовой поддержке программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

### **Список литературы**

1. D. Salimgareev, A. Lvov, A. Yuzhakova, D. Shatunova, P. Pestereva, I. Yuzhakov, A. Korsakov, L. Zhukova, Synthesis and study of single crystals and optical ceramics based on the  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$  — AgI system. Appl. Mat. Tod. — 2023. — Vol. 32. — 101809.

### **Transmission of $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ –AgI system materials in the THz range**

L'vov A. E., Yuzhakova A. A., Salimgareev D. D., Pestereva P. V,  
Shatunova D. V, Korsakov A. S, \* Zhukova L. V.

*Ural Federal University named after the first President of Russia  
B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, str. Mira, 19*

Previously [1], the phase diagram of this  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  – AgI system was studied. The study of the properties of optical materials based on this system has shown the competitive characteristics of single crystals and ceramics in comparison with existing halide solid solutions. Samples of the  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  – AgI system are also transparent in two areas: from 0.5 to 54.0  $\mu\text{m}$  with a transparency of up to 72–75%, and in the range of 300...1500  $\mu\text{m}$  – up to 55...80 %, depending on the composition. Similar to the shift of the short-wavelength edge (in the visible range) to longer wavelengths with an increase in the proportion of AgI in  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ , a shift from 300 (for 4 mol. % AgI in  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ ) to 540  $\mu\text{m}$  (33 mol. % AgI in  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ ) is also observed in the low-frequency region. Since the grain size [1] in the ceramic structure is much smaller than the radiation wavelength in the low-frequency THz region, the transmission of all samples increases uniformly with increasing wavelength, in contrast to the dependences in the IR. As the wavelength increases from 300 to 500  $\mu\text{m}$ , the attenuation coefficient decreases from 1.8 to 0.04. This makes it possible to use materials both in the visible and IR regions, and in the THz region.

The study was carried out with the financial support of the program of strategic academic leadership "Priority 2030".

УДК 535.015+535-2+535-1

ГРНТИ 29.31.15

ВАК 01.04.05

### **Получение спектров сцинтилляции хлорида неодима в матрицах галогенидов серебра**

Кучеренко Ф. М., Воробьева Д. А., Жукова Л. В., Корсаков А. С.,  
Салимгареев Д. Д., Львов А. Е.

*Уральский федеральный университет им. первого Президента  
России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, ул. Мира 19, 620002*

email: [l.v.zhukova@urfu.ru](mailto:l.v.zhukova@urfu.ru)

Легирование хлоридами редкоземельных металлов подгруппы Лантана световодов из твердых растворов галогенидов серебра представляет собой одно из перспективных решений для создания волоконных лазеров. Была проведена работа по получению сцинтилляционных спектров хлоридов неодима с помощью высокоточного ускорителя электронов типа РАДАН-220 [1].

В ходе работы была изготовлена серия образцов керамики галогенидов серебра с различным содержанием редкоземельного элемента, методом Бриджмена, с последующим горячим прессованием при 200 °С [2]. Матрица получена методом термозонной кристаллизации, легирующая добавка – хлорид неодима (III). Образцы представляют собой тонкие плоскопараллельные пластины с толщиной 400 мкм. Было подтверждено наличие сцинтилляции на примере образца:  $\text{AgBr}_{0.8}\text{I}_{0.2}:\text{NdCl}_3(5\%w)$ , на длинах волн 616, 654, 717, 782 нм.

Работа выполнена в рамках соглашения с Министерством науки и высшего образования № 075-03-2023-006 от 16.01.2023 (номер темы FEUZ-2023-0021)

### **Список литературы**

1. Shpak V. G. 40 year anniversary of the RADAN systems – compact pulsed power sources for various investigations / Shpak V. G., Shunailov S. A., Yalandin M. I. // J. Phys Conf. Ser. – 2021. – № 2064 – 012002
2. Zhukova, L Optical properties of the AgBr – AgI system crystals. / Salimgareev, D.; Lvov, A.; Zhukova, L. // Optics and Laser Technology. – 2022. – №149. – 107825.

### **Obtaining scintillation spectra of neodymium chloride in silver halide matrices**

Kucherenko F. M., Vorobyova D. A., Zhukova L. V., Korsakov A. S.,  
Salimgareev D. D., L'vov A. E.

*Ural Federal University named after the first President of Russia  
B.N.Yeltsin, Ekaterinburg, 19, Mira Str., 620002*

Doping with chlorides of rare-earth metals of the Lanthanum subgroup of silver halide solid solution light guides is one of the promising solutions for the creation of fiber lasers. Work was carried out to obtain scintillation spectra of neodymium chlorides using a high-current electron gas pedal of the Radan-220 type [1].

In the course of work, a series of silver halide ceramic samples with different content of rare earth element were fabricated by the Bridgman method, followed by hot pressing at 200°C [2]. The matrix was obtained by thermal zone crystallization, doping additive - neodymium (III) chloride. The samples are thin plane-parallel plates with a thickness of 400 µm. The presence of scintillation was confirmed for the sample  $\text{AgBr}_{0.8}\text{I}_{0.2}:\text{NdCl}_3(5\%w)$ , at wavelengths of 616, 654, 717, 782 nm.

This work was performed under agreement with the Ministry of Science and Higher Education No. 075-03-2023-006 dated 16.01.2023 (topic number FEUZ-2023-0021)

УДК 535-1+535.8+535-7  
ГРНТИ 29.31.26  
ВАК 01.04.05

**Исследование оптических свойств монокристаллов и оптической керамики систем  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  и  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$**

Салимгареев Д. Д., Южакова А. А., Львов А. Е., Пестерева П. В.,  
Кондрашин В. М., Кабыкина Е. Ю., Жукова Л. В.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира 19*  
email: [l.v.zhukova@urfu.ru](mailto:l.v.zhukova@urfu.ru)

Создание новых оптических материалов для ИК оптики является актуальной задачей. Ранее, авторским коллективом были выращены монокристаллы и синтезирована оптическая керамика систем  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  и  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$  [1]. Исследование оптических свойств этих материалов показало, что монокристаллы системы  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  обладают спектральным диапазоном от 0,477 до 45,0...60,0 мкм (в зависимости от состава) с прозрачностью до 73 %. Оптическая керамика данной системы пропускает излучение от 0,474 до 60,0 мкм с прозрачностью до 50...55 % на длине волны 25 мкм. В системе  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$  область пропускания всех исследуемых материалов (монокристаллов и оптической керамики) лежит в диапазоне от 0,398...0,464 до 45,0...55,0 мкм с максимальным уровнем прозрачности до 79 %. На всех спектрах пропускания отсутствуют окна поглощения. Внедрение в кристаллическую решетку  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$  твердых растворов  $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  и  $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$  позволяет сместить дальневолновый край поглощения материалов в сторону больших длин волн. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, <https://rscf.ru/project/21-73-10108/>.

**Список литературы**

1. Львов А. Е. Исследование фазовой диаграммы систем  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$  и  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  для получения инфракрасной оптики / Львов А. Е., Салимгареев Д. Д., Южакова А. А., Жукова Л. В. // Лазерно-информационные технологии: труды XXX Международной научной конференции. – 2022. – С. 119–121.

**Investigation of optical properties of single crystals  
and optical ceramics of systems  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  and  
 $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$**

Salimgareev D. D., Yuzhakova A. A., L'vov A. E., Pestereva P. V,  
Kondrashin V. M, Kabykina E. Y., \* Zhukova L. V.

*Ural Federal University named after the first President of Russia  
B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, str. Mira, 19*

Creating new optical materials for IR optics is an urgent task. Previously, the authors have grown single crystals and synthesized optical ceramics of the systems  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  and  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$  [1]. The study of optical properties of these materials showed that single crystals of  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  system possess spectral range from 0.477 to 45.0...60.0  $\mu\text{m}$  (depending on the composition) with transparency up to 73 %. The optical ceramics of this system transmit radiation from 0.474 to 60.0  $\mu\text{m}$  with transparency up to 50...55 % at a wavelength of 25  $\mu\text{m}$ . In the system  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$  the transmittance region of all investigated materials (single crystals and optical ceramics) lies in the range from 0,398...0,464 to 45,0...55,0  $\mu\text{m}$  with maximum transparency up to 79 %. There are no absorption windows on all transmission spectra. The introduction of solid solutions  $\text{TiBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  and  $\text{TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$  into the crystal lattice of  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$  makes it possible to shift the far-wave absorption edge of the materials toward longer wavelengths.

This work was supported by the Russian Science Foundation (No. 21-73-10108), <https://rscf.ru/en/project/21-73-10108/>.

УДК 535-14+535-15

ГРНТИ 29.31.21

ВАК 01.04.05

**Исследование оптических свойств материалов систем  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ - $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$  и  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ - $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$  в диапазоне 0,2–1,0 ТГц**

Львов А. Е., Южакова А. А., Салимгареев Д. Д., Шукина А. А.,  
Барыкина С. Е., Южаков И. В., Кабыкина Е. Ю., Жукова Л. В.

*Уральский Федеральный университет имени первого президента  
России Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19*  
email: \* l.v.zhukova@urfu.ru

Терагерцовый (ТГц) диапазон спектра электромагнитных волн привлекателен для науки и технологий благодаря широким возможностям его применения в системах безопасности, медицинских технологиях и прочем. Число материалов, пригодных для изготовления пропускающей ТГц оптики, ограничено, и галогениды серебра и таллия (I) одни из немногих материалов прозрачных в этом диапазоне [1]. Исследование оптических свойств в ТГц спектральном диапазоне проводилось на ряде образцов монокристаллов и оптической керамики каждой из систем  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ - $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$  и  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ - $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$  на спектрометре СТД-21, источник излучения – лампа обратной волны (ЛОВ), детектор – ячейка Голея фирмы Tindex при разрешении съемки 0,0147 ТГц. Все образцы обеих систем прозрачны в низкочастотной ТГц области и достигают пропускания 90%. Однако пропускание образцов системы  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ - $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$  в 1,5–2 раза превышает пропускание образцов системы  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ - $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ . Образцы пропускают на частотах и менее 0,2 ТГц (1600 мкм). Пропускание образцов падает до 0 % в диапазоне 0,5...0,8 ТГц (350...600 мкм), и далее они начинают пропускать уже примерно от 5 ТГц. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, <https://rscf.ru/project/21-73-10108/>.

**Список литературы**

1. L. Zhukova, D. Salimgareev, A. Korsakov, N. Yudin, G. Komandin, I. Spektor, A. L'vov, A. Yuzhakova, The optical transparency investigation of crystals based on the AgHal-TlHal solid solutions systems in the terahertz range, Opt. Mat. 2021. V. 113. 110870.

**Investigation of the optical properties of materials of the  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}-\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$  and  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}-\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$  systems in the range of 0.2–1.0 THz**

L'vov A. E., Yuzhakova A. A., Salimgareev D. D., Schukina A. A.,  
Barykina S. E., Yuzhakov I. V., Kabykina E. Y., Zhukova L. V.  
*Ural Federal University named after the first President of Russia*  
*B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, str. Mira, 19*  
email: l.v.zhukova@urfu.ru

The terahertz (THz) range of the electromagnetic wave spectrum is attractive for science and technology due to its wide range of applications in security systems, medical technology, and more. The number of materials suitable for fabrication of transmissive THz optics is limited, and silver and thallium (I) halides are one of the few materials that are transparent in this range [1]. The study of optical properties in the THz spectral range was carried out on a number of samples of single crystals and optical ceramics of each of the systems  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}-\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$  and  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}-\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$  by a STD-21 spectrometer. The radiation sources were a backward wave oscillators (BWO), the detector was a Golay cell from Tidex with a shooting resolution of 0.0147 THz. All samples of both systems are transparent in the low-frequency THz region and achieve a transmission of 90 %. However, the transmission of samples of the system  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}-\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$  is 1.5...2 times higher than the transmission of samples of the system  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}-\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ . Samples are passed at frequencies and less than 0.2 THz (1600  $\mu\text{m}$ ). The transmission of the samples drops to 0% in the range of 0.5...0.8 THz (350...600  $\mu\text{m}$ ), and then they begin to transmit from approximately 5 THz.

This work was supported by the Russian Science Foundation (No. 21-73-10108), <https://rscf.ru/en/project/21-73-10108/>.

УДК 535-1+535.8+535-7

ГРНТИ 29.31.21

ВАК 01.04.05

**Инфракрасные световоды из монокристаллов и оптической керамики систем  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  и  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$**

Салимгареев Д. Д., Южакова А. А., Львов А. Е., Южаков И. В.,  
Корсаков А. С., Жукова Л. В.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира 19*  
email: \* l.v.zhukova@urfu.ru

Разработка материалов для изготовления инфракрасных световодов является весьма актуальной задачей развития современной оптической отрасли. Ранее авторским коллективом были проведены комплексные работы по разработке новых оптических материалов на основе монокристаллов и оптической керамики систем  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  и  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$  [1]. Были выращены монокристаллы и синтезирована оптическая керамика различных составов и исследованы их функциональные свойства. Из монокристаллов и оптической керамики методом экструзии были изготовлены инфракрасные световоды диаметром 525 мкм и длиной 2...3 м. Проведены исследования диапазона пропускания изготовленных световодов на ИК-Фурье спектрометре IRPrestige21 (Shimadzu). Установлено, что в зависимости от состава световоды прозрачны в спектральном диапазоне от 3...4 до 25...26 мкм без окон поглощения. Изготовленные световоды обладают высокой гибкостью, что позволяет применять их в качестве оптического кабеля в различных областях науки и техники, в том числе в условиях повышенного ионизирующего излучения.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, <https://rscf.ru/project/21-73-10108/>.

**Список литературы**

1. Львов А. Е. Исследование фазовой диаграммы систем  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$  и  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}-\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  для получения инфракрасной оптики / Львов А. Е., Салимгареев Д. Д., Южакова А. А., Жукова Л. В. // Лазерно-информационные технологии: труды XXX Международной научной конференции. 2022. С. 119-121.

**Infrared fiber-optic light guides from single crystals and optical ceramics systems  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  and  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$**

Salimgareev D. D., Yuzhakova A. A., L'vov A. E., Yuzhakov I. V.,  
Korsakov A. S., \* Zhukova L. V.

*Ural Federal University named after the first President of Russia  
B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, str. Mira, 19  
email: \* l.v.zhukova@urfu.ru*

The development of materials for the fabrication of infrared light guides is a very urgent task for the development of the modern optical industry. Previously, the authors' team carried out complex works on the development of new optical materials based on single crystals and optical ceramics of the systems  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$  and  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$  [1]. Single crystals and optical ceramics of different compositions were grown and their functional properties were investigated. Infrared light guides with a diameter of 525  $\mu\text{m}$  and a length of 2...3 m were fabricated from single crystals and optical ceramics by extrusion. The transmittance range of the fabricated light guides was investigated on IRPrestige21 FTIR spectrometer (Shimadzu). It was found that, depending on the composition, the light guides are transparent in the spectral range from 3...4 to 25...26 microns without absorption windows. The fabricated light guides have high flexibility, which allows their application as an optical cable in various fields of science and technology, including in conditions of increased ionizing radiation. This work was supported by the Russian Science Foundation (No. 21-73-10108), <https://rscf.ru/en/project/21-73-10108/>.

УДК 517.443+519.2:004+531.36

ГРНТИ 30.19.21

ВАК 05.13.01

**Влияние воздействия  $\beta$ -излучения на оптические материалы на основе твёрдых растворов системы  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-AgI}$**

\* Кондрашин В. М., Шатунова Д. В., Салимгареев Д. Д.,  
Южакова А. А., Львов А. Е., Корсаков А. С., Жукова Л. В.

*Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург*

E-mail: \* l.v.zhukova@urfu.ru

Оптические материалы на основе галогенидов таллия и серебра в зависимости от их состава пропускают в ИК-диапазоне от 0,4 до 60,0 мкм. Кроме того, эти материалы негигроскопичны и пластичны, что позволяет изготавливать из них ИК-световоды методом экструзии. В связи с этим галогенидосеребряные оптические материалы являются перспективными.

В рамках данной работы мы исследовали влияние  $\beta$ -излучения на уровень и диапазон пропускания монокристаллов и двухфазной керамики на основе системы  $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-AgI}$ . Выявлено, что у исследованных образцов в результате облучения максимальной накопленной дозой 800 кГр уровень пропускания уменьшается на 7...8 %. Вследствие этого можно утверждать, что материалы являются радиационно-стойкими и могут использоваться в условиях повышенного радиационного фона.

**Список литературы**

1 Salimgareev D., Yuzhakova A., L'vov A., Kondrashin V., Korsakov A., Zhukova L. Optical ceramics based on  $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}\text{-AgI}$  system transparent from visible to far IR region // Opt. Mat., 2022. V. 131. p. 112735.

2 Грозных М. В., Алимханов А. Т., Стурус А. Ю., Рябухин О. В. Разработка устройства непрерывного измерения энергии электронов ускорителя ЧЭЛР-10-10С для контроля процесса радиационной стерилизации // Тезисы докладов V Международной молодежной научной конференции, посвященной памяти Почетного профессора УрФУ В.С. Кортова, 14-18 мая 2018. С. 48-49

**Effect of  $\beta$ -radiation on optical materials based on solid solutions of  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}\text{-AgI}$  system**

\* Kondrashin V. M., Shatunova D. V., Salimgareev D. D.,  
Yuzhakova A. A., L'vov A. E., Korsakov A. S., Zhukova L. V.  
*Ural Federal University named after the First President of Russia*  
*B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia*  
E-mail: \* l.v.zhukova@urfu.ru

Optical materials based on thallium and silver halides are transmissible in the IR range from 0.4 to 60.0  $\mu\text{m}$  depending on their composition. In addition, these materials are non-hygroscopic and plastic, which allows to manufacture IR light guides from them by extrusion. In view of this, silver halide optical materials are promising.

In the framework of this work we studied the influence of  $\beta$ -radiation on the level and transmission range of single crystals and two-phase ceramics based on  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}\text{-AgI}$  system. It is revealed that the studied samples, as a result of irradiation with the maximum accumulated dose of 800 kGy, the transmittance level decreases by 7...8 %. As a consequence, it can be said that the materials are radiation-resistant and can be used in conditions of increased radiation background.

The study was carried out with the financial support of the program of strategic academic leadership "Priority 2030".

УДК 544.52+544.46+537.311.322  
ГРНТИ 31.15.28+31.15.29+29.33.47  
ВАК 1.4.4+1.3.6.

**Фотокаталитические и антибактериальные свойства металл-оксидных нанокомпозитов ZnO-Ag, полученных импульсной лазерной абляцией**

\* Фахрутдинова Е. Д., Волокитина А. В., Гончарова Д. А.,  
Светличный В. А.

*Национальный исследовательский Томский государственный  
университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т. Ленина 36*

email: \* [fakhrutdinovaed@gmail.com](mailto:fakhrutdinovaed@gmail.com), [nvv0404@gmail.com](mailto:nvv0404@gmail.com),  
[dg\\_va@list.ru](mailto:dg_va@list.ru), [v\\_svetlichnyi@bk.ru](mailto:v_svetlichnyi@bk.ru)

Необходимость создания новых эффективных фотокаталитических систем является актуальной задачей на сегодняшний день. Метод импульсной лазерной абляции (ИЛА) применяется как современный, недорогой, достаточно простой и экологичный метод получения сложных композитных наноматериалов. А сочетание ИЛА и дополнительного лазерного воздействия на получаемые коллоиды позволяют создать различные композитные материалы недоступные при стандартных химических синтезах. В работе нанокомпозиты (НК) на основе оксида цинка, допированные НЧ Ag, были получены методом ИЛА в воде при использовании Nd:YAG лазера (1064 нм, 20 Гц, 7 нс, 150 мДж). Полученные материалы были изучены методами рентгеновской дифракции, спектроскопией диффузного отражения и низкотемпературной адсорбцией азота. Фотокаталитическая активность НК тестировалась на модельном красителе родамине Б, феноле и антибиотике ванкомицине при возбуждении светодиодами с длинами волн 375 и 410 нм. Антибактериальная активность полученных материалов была исследована на *S.aureus*. В том числе изучалось влияние фотоактивации на увеличение антибактериальной активности. В результате было показано, что введение серебра, а также дополнительная лазерная обработка коллоидов при синтезе способствует увеличению фотокаталитической и антибактериальной активности НК. Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

### **Photocatalytic and Antibacterial Properties of ZnO-Ag Metal-Oxide Nanocomposites Obtained by Pulsed Laser Ablation**

\* Fakhrutdinova E. D., Volokitina A. V., Goncharova D. A.,  
Svetlichnyi V. A.

*National Research Tomsk State University,  
634050, Russia, Tomsk, Ave. Lenin 36*

The need to create new efficient photocatalytic systems is an urgent task today. The method of pulsed laser ablation (PLA) is used as a modern, inexpensive, rather simple and environmentally friendly method for obtaining complex composite nanomaterials. And the combination of PLA and additional laser treatment on the colloids makes it possible to create various composite materials that are not available with standard chemical syntheses. In this work, nanocomposites (NCs) based on zinc oxide doped with Ag NPs were obtained by PLA in water using a Nd:YAG laser (1064 nm, 20 Hz, 7 ns, 150 mJ). The materials were studied by X-ray diffraction, diffuse reflectance spectroscopy, and low-temperature nitrogen adsorption. The photocatalytic activity of NCs were tested on the model dye rhodamine B, phenol, and the antibiotic vancomycin under the LEDs irradiation with wavelengths of 375 and 410 nm. The antibacterial activity of the materials was tested on *S.aureus*. In particular, the effect of additional laser treatment to increase the antibacterial activity was studied. As a result, it was shown that the silver modification, as well as additional laser treatment of colloids during synthesis, increases the photocatalytic and antibacterial activity of NCs.

This study was supported by the Tomsk State University Development Programme (Priority-2030)

УДК 544.52+544.46+537.311.322  
ГРНТИ 31.15.28+31.15.29+29.33.47  
ВАК 1.4.4.+1.3.6

### **Лазерный синтез и модификация наночастиц темного TiO<sub>2</sub> для фотокаталитических применений**

\* Фахрутдинова Е. Д., Реутова О. А., Водянкина О. В.,  
Светличный В. А.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т. Ленина 36*

email: [fakhrutdinovaed@gmail.com](mailto:fakhrutdinovaed@gmail.com), [reutovaolesya@mail.ru](mailto:reutovaolesya@mail.ru),  
[vodyankina\\_o@mail.ru](mailto:vodyankina_o@mail.ru), [v\\_svetlichnyi@bk.ru](mailto:v_svetlichnyi@bk.ru)

Работа посвящена получению наночастиц (НЧ) темного диоксида титана, полученного импульсной лазерной абляцией (ИЛА) и модифицированию его Pt, Cu, Ni, Co для повышения эффективности процесса фотокаталитического получения водорода. Синтез материалов проводили ИЛА металлических мишеней в воде с применением Nd:YAG-лазера LS2131M-20 LOTISTII (1064 нм, 7 нс, 150 мДж, 20 Гц). Полученные при ИЛА коллоидные растворы высушивались до порошкового состояния и отжигались при температуре 400°C. Полученные нанопорошки были охарактеризованы методами просвечивающей электронной микроскопии, рентгеновской дифракции, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, низкотемпературной адсорбции азота и спектроскопии диффузного отражения. Фотокаталитическое получение водорода проводилось на установке с LED источниками излучения (375 нм и 410 нм) с хроматографической регистрацией водорода, выделяющегося при облучении водно-глицериновой среды в присутствии катализатора. Наибольшую фотокаталитическую активность проявляют НЧ, содержащие Pt и Cu, причем наноконпозиты с медью практически не уступают в квантовой эффективности Pt содержащим материалам, что связано с наиболее удачным переносом и разделением фотогенерированных носителей заряда. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант 19-73-30026.

## **Laser Synthesis and Modification of Dark TiO<sub>2</sub> Nanoparticles for Photocatalytic Applications**

\* Fakhrutdinova E. D., Reutova O. A., Vodyankina O. V.,  
Svetlichnyi V. A.

*National Research Tomsk State University,  
634050, Russia, Tomsk, Ave. Lenin 36*

The work is devoted to the preparation of nanoparticles (NPs) of dark titanium dioxide obtained by pulsed laser ablation (PLA) and its modification by Pt, Cu, Ni, Co to increase the efficiency of the process of photocatalytic hydrogen evolution reaction. Materials were synthesized by PLA of metal targets in water using an Nd:YAG laser LS2131M-20 LOTIS TII (1064 nm, 7 ns, 150 mJ, 20 Hz). The colloidal solutions obtained by PLA were dried to powders and annealed at a temperature of 400 °C. The resulting nanopowders were characterized by transmission electron microscopy, X-ray diffraction, X-ray photoelectron spectroscopy, low-temperature nitrogen adsorption, and diffuse reflection spectroscopy. Photocatalytic hydrogen production was carried out on a setup with LED radiation sources (375 nm and 410 nm) with chromatographic registration of hydrogen released during irradiation of an aqueous glycerol medium in the presence of a catalyst. The highest photocatalytic activity is exhibited by NPs containing Pt and Cu, and the nanocomposites with copper are practically not inferior in quantum efficiency to Pt containing materials, which is associated with the most successful transfer and separation of photogenerated charge carriers.

This work was supported by the Russian Science Foundation, grant 19-73-30026.

УДК 535.42, 519.2:004, 531.36

ГРНТИ 29.31.27

ВАК 01.04.05

### **Прямая лазерная запись дифракционных микроструктур на тонкой двуслойной плёнке $\alpha$ -Si/Cr**

\* Куц Р. И., Белоусов Д. А., Корольков В. П.

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН  
630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т Академика Коптюга1  
email: \*r.i.kuts@mail.ru*

В настоящее время для создания дифракционных оптических элементов достаточно широко используется технология лазерной термохимической записи на тонких плёнках хрома. Доклад посвящён исследованию нового метода прямой лазерной записи на двуслойной тонкой плёнке  $\alpha$ -Si/Cr. Тонкий слой кремния выступает как реагент для образования силицидов хрома [1]. Кремний также увеличивает коэффициент поглощения двуслойной плёнки на записываемой длине волны, для этого необходимо напылять плёнку кремния определённой толщины. Кроме того, показано, что добавление плёнки кремния позволяет *in-situ* контролировать формирование структур за счёт существенного изменения коэффициента отражения облучённой области двуслойной плёнки  $\alpha$ -Si/Cr. Проведён ряд экспериментов по лазерной записи дифракционных структур на плёнках с разной толщиной кремния в зависимости от мощности записывающего пучка. Определена оптимальная толщины плёнки кремния для формирования маски, устойчивой при обработке в жидкостных травителях. Показаны преимущества разрабатываемой технологии записи на двуслойной плёнке с точки зрения пространственного разрешения.

Работа выполнена за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 22-79-00049). В исследованиях использовано оборудование Центра коллективного пользования «Спектроскопия и оптика» ИАиЭ СО РАН.

#### **Список литературы**

1. D'Anna E. et al. Synthesis of chromium silicide with laser pulses // Applied Physics A. – 1990. – Т. 50. – С. 411-415.

### **Direct laser writing of diffractive microstructures on a thin bi-layer a-Si/Cr film**

\* Kuts R. I., Belousov D. A., Korol'kov V. P.  
*The Institute of Automation and Electrometry SB RAS,  
630090, Russia, Novosibirsk, Akademika Koptyug Ave. 1*

At present, the technology of laser thermochemical writing on thin chromium films is widely used to create diffractive optical elements. The report is devoted to the study of a new method of direct laser writing on a bi-layer thin a-Si/Cr film. A thin layer of silicon acts as a reagent for the formation of chromium silicides [1]. Silicon also increases the absorption coefficient of the bi-layer film at the writing wavelength, for this it is necessary to deposit a silicon film of a certain thickness. It is shown that the addition of a silicon film makes it possible to control the formation of structures in situ due to a significant change in the reflectance of the irradiated region of the a-Si/Cr bi-layer film. A number of experiments were carried out on laser writing of diffractive structures on films with different silicon thicknesses depending on the power of the writing beam. The optimal thickness of the silicon film for the formation of a mask that is stable when processed in liquid etchants has been determined. The advantages of the developed technology for writing on a bi-layer film in terms of spatial resolution are shown. This research was funded by Russian Science Foundation, grant No. 22-79-00049. The equipment of the Central Research Center "Spectroscopy and Optics" of the IA&E SB RAS and Core Facilities VTAN NSU were used in the research.

УДК 811.111  
ГРНТИ 20.51.23  
ВАК 2.3.4

### **Влияние информационных технологий и цифровизации на интернационализацию вузов**

<sup>1</sup> Ворообьев А. Е., <sup>2</sup> Дьяченко В. В., <sup>3</sup> Ворообьев К. А.

<sup>1</sup> Ферганский медицинский университет общественного здоровья, Республика Узбекистан,

<sup>2</sup> Новороссийский политехнический институт (филиал) КубГУ, Новороссийск, РФ

<sup>3</sup> РУДН, г. Москва, РФ

Наблюдаемая цифровая революция значительно меняет экономическую и социальную среду, в которой существуют и работают вузы, а также меняет сами университеты [1, 2]. Это обусловлено тем, что цифровые технологии создают принципиально новые возможности для обучения студентов по мере того, как они взаимодействуют в онлайн-цифровой среде [1, 2], а преподаватели меняют существующую образовательную практику за счёт использования гибридных курсов, персонализированного обучения, новых моделей сотрудничества, а также широкого спектра увлекательных инновационных стратегий и технологий обучения студентов [4, 5].

Это обстоятельство оказалось обязанным резкому развитию и усилению демографического фактора, а также эволюции международного рынка образовательных услуг, где ключевое влияние имеет появление и использование в учебном процессе новых технологий (включая AR/VR, искусственный интеллект, роботизацию и блокчейн).

Результаты исследований [7] выявляют достаточно высокую склонность студентов к обучению и работе в цифровой образовательной среде (с учетом дистанционных форм обучения). Так, было установлено, что студенты активно используют научные сети и мессенджеры в исследовательских целях (84 %), базы дистанционных технологий (48 %), мейнфреймы и данные (43 %).

Помимо развития технологий так называемого «иммерсивного» обучения (с использованием виртуальной и дополненной реальности, а также голосовых интерфейсов), автоматизации процессов обучения (с применением возможностей искусственного

интеллекта), сертификации (на основе блокчейн-технологий), к трендам развития современных систем обучения студентов необходимо отнести технологии инклюзивности и геймификации [6], а также персонализации учебного процесса и определенной социализации образовательных программ (включая объединение студентов по их основным интересам и профессиональным компетенциям, а также работе в общих информационных базах данных и выработке командного подхода к обучению и обмен пользовательским опытом).

Геймификация представляет собой довольно новую концепцию применения гейм-дизайнерского подхода к различным учебным заданиям, чтобы сделать их для студентов более интересными и увлекательными [10]. При этом геймификация создает целостную учебную атмосферу в образовательных технологиях, которая существенно повышает вовлеченность и мотивацию, напрямую влияющих на выработку основных компетенций, использующих их студентов. Кроме того, электронный формат обучения позволяет гораздо легче распространять и адаптировать необходимые учебные материалы [8], что существенно стимулирует развитие и передачу знаний, а также появление значительного количества новых образовательных программ, разработанных с учетом возможностей онлайн-образования и предполагающих гораздо меньшую продолжительность пребывания студентов в кампусе.

Популярными инструментами, например, являются службы связи в реальном времени WhatsApp, Facebook, Skype и Dgorbbox [9], которые предлагают простые в использовании функции для обмена файлами, видеотелефонии, общения в чатах и т.д. Актуален и тот факт, что большинство студентов уже пользовались популярными коммерческими сервисами ранее и продолжают пользоваться ими после окончания обучения. В результате, во-первых, им не нужно изучать и настраивать новую систему, а во-вторых, они могут рассчитывать на и без того большую пользовательскую базу, что значительно упрощает совместную работу и обмен данными.

При этом, возникшие в последнее время технические инновации в коммуникации (Интернет, мобильная связь и др.) и резкое увеличение объемов профильной информации также поблекли за собой дальнейшие кардинальные изменения в имеющихся подходах и возможностях получения высшего профессионального образования. В результате проявления этих особенностей среднегодовой темп роста мировой академической мобильности

студентов в настоящее время составляет почти 7 % (от их общей численности).

На современном этапе развития мировой образовательной среды использование программ национального виртуального учебного вуза на экспорт – это уже не дополнительный вектор развития конкретного вуза, а отдельная значимая составляющая развития содержания предоставляемых образовательных программ, управления вузом и различных аспектов самого процесса обучения [9]. Это позволяет совмещать цифровизацию образования студентов в различных конфигурациях, информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), в том числе – с использованием технологий искусственного интеллекта.

Одним из наиболее значительных изменений, связанных с использованием вузами технологий цифровизации, является возможность сбора и распространения значительного объема данных. Сбор данных об обширном международном профильном рынке образовательных услуг является весьма ценным источником информации для вузов, резко снижая имеющуюся трансграничную информационную асимметрию. Собранные, данные направляются на обработку специальными алгоритмами, с целью прогнозирования оценки текущего и будущего (перспективного) состояния международного рынка образовательных услуг.

Процесс принятия оптимальных решений также поддерживается более современными методами интеллектуального анализа больших данных (такими, как искусственный интеллект и машинное обучение). Эта инновационная технология, основанная на искусственном интеллекте и статистических подходах, помогает вузам моделировать и интерпретировать собранные данные, с последующим использованием полученных результатов в стратегических целях своего дальнейшего развития.

В результате цифровизация существенно облегчает приобретение необходимых знаний, а кроме того – стирает имеющиеся барьеры и границы, тем самым расширяет деловые связи, т.к. благодаря этой технологии облегчается возможность создания и обмена знаниями. Поэтому использование цифровых технологий позволяет вузам быстрее выйти на международный уровень. Другое дело, что все это снижает количество обучающихся в провинциальных вузах и филиалах. Поскольку упрощает получение образования вдалеках, может даже зарудежных престижных вузах. В перспективе это приведет к большей централизации образования, укрупнению и снижению

количества субъектов образовательной системы, но усилению интернационализации вузов.

В последнее время была разработана модель, которая подчеркивает ускоряющую роль цифровизации в международных деловых компетенциях и скорости интернационализации вузов. Стратегия развития информационного общества в России на 2017–2030 гг. требует, для поддержания конкурентоспособности российских вузов в мировом образовательном пространстве, довольно глубоких изменений во всех сферах жизни общества (в том числе и в высшей школе). Дорожная карта, разработанная в российских вузах для электронного обучения студентов, включает в себя 3 стратегические инициативы [13]:

- формирование и развитие инфраструктуры электронного обучения;
- реформирование образовательного процесса на основе технологий электронного обучения с упором на smart-образование [3];
- организация внешнего партнерства в области электронного обучения.

### Список литературы

1. Воробьев А. Е. Приоритетность рейтингов вузов – глобальный или национальный? // Университетское управление: практика и анализ № 6 (100) 2015. С. 18–28.
2. Воробьев А. Е., Ваккер О. В., Забусов В. В., Гулан Е. А. Высшее профессиональное образование в XXI веке // Под ред. член-корр. РАН Опарина В. Н. Норильск. НИИ. 2010. 289 с.
3. Воробьев А. Е., Щесняк К. Е., Щесняк Л. Е. Smart-университет. М., РЧДН. 2019. 282 с.
4. Дьяченко В. В., Дьяченко Л. Г. Роль мультимедийных технологий в высшем образовании на примере дисциплины Наука о Земле // Безопасность жизнедеятельности. 2003. № 9. С. 41–45.
5. Дьяченко В. В., Дьяченко Л. Г. Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине “Инженерная геология”: Регистрационное свидетельство обязательного федерального экземпляра электронного издания № 23646 / Номер государственной регистрации обязательного экземпляра электронного издания - 0321102574. – Краснодар: КубГУ, 2011. – 261 с. – EDN VKKPZD.

6. Мировой рынок онлайн-образования (аналитический обзор: история, тенденции, перспективы, прогнозы) // <https://habr.com/ru/articles/675612>.
7. Перевалов В. Д., Новгородцева А. Н., Сивкова Н. И., Корелин А. В., Корелина Е. В. Цифровизация Российской высшей школы: технологии образовательного процесса (опыт вузов УФО Российской Федерации) // Перспективы науки и образования. № 4 (46). 2020. С. 36-46. doi: 10.32744/pse.2020.4.3.
8. Роберт Кулен Для чего нужна интернационализация образования? // Международное высшее образование № 83. 2016. С. 8-10.
9. Anne Thoring, Dominik Rudolph, Raimund Vogl. Digitalization of higher education from a student's point of view//chrome-extension://efaidnbmnmbpccajpcgclefindmkaj/https://www.eunis.org/download/2017/EUNIS.
10. Educational Services Global Market Report 2023 – By Type // <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/educational-services-global-market-report>.
11. Elena Y. Barakina, Anna V. Popova, Svetlana S. Gorokhova, Angela S. Voskovskaya. Digital technologies and artificial intelligence technologies in education // European Journal of Contemporary Education. 10(2). 2021. С. 285-296.
12. Harpreet Kaur. Digitalization of education: Advantages and disadvantages // International Journal of applied research. SP4. 2019. pp. 286-288.
13. Higher education institutions in the digital economy era: digital transformation of higher education // <https://storyone.ru/ekonomika/2492-higher-education-institutions-in-the-digital-economy-era-digital-transformation-of-higher-education.html>.

### **The impact of information technology and digitalization on the internationalization of universities**

- <sup>1</sup> Vorob'yov A. E., <sup>2</sup> D'yachenko V. V., <sup>3</sup> Vorob'yov K. A.  
*<sup>1</sup> FERGANA Medical University of Public Health, Republic of Uzbekistan,*  
*<sup>2</sup> Novorossiyskiy Polytechnic Institute (branch) of KubSTU, Novorossiysk, Russia*  
*<sup>3</sup> RUDN, Moscow, Russia*

The observed digital revolution is significantly changing the economic and social environment in which universities exist and

operate, as well as changing universities themselves [1, 2]. This is due to the fact that digital technologies create fundamentally new opportunities for students to learn as they interact in an online digital environment [1, 2], and teachers are changing existing educational practices through the use of hybrid courses, personalized learning, new models of cooperation, as well as a wide range of exciting innovative strategies and technologies teaching students [4, 5].

This circumstance turned out to be due to the sharp development and strengthening of the demographic factor, as well as the evolution of the international educational services market, where the emergence and use of new technologies in the educational process (including AR/VR, artificial intelligence, robotics and blockchain) has a key influence.

Research results [7] reveal a fairly high propensity of students to study and work in a digital educational environment (taking into account distance learning). Thus, it was found that students actively use scientific networks and messengers for research purposes (84 %), remote technology databases (48 %), mainframes and data (43 %).

In addition to the development of so-called "immersive" learning technologies (using virtual and augmented reality, as well as voice interfaces), automation of learning processes (using artificial intelligence capabilities), certification (based on blockchain technologies), the trends in the development of modern student learning systems should include technologies of inclusiveness and gamification [6], as well as the personalization of the educational process and a certain socialization of educational programs (including the association of students according to their main interests and professional competencies, as well as working in common information databases and developing a team approach to training and sharing user experience).

Gamification is a fairly new concept of applying a game design approach to various educational tasks in order to make them more interesting and exciting for students [10]. At the same time, gamification creates a holistic learning atmosphere in educational technologies, which significantly increases the involvement and motivation that directly affect the development of the main competencies that students use. In addition, the e-learning format makes it much easier to distribute and adapt the necessary educational materials [8], which significantly stimulates the development and transfer of knowledge, as well as the emergence

of a significant number of new educational programs designed taking into account the possibilities of online education and assuming a much shorter duration of students' stay on campus.

Popular tools, for example, are the real-time communication services WhatsApp, Facebook, Skype and Dropbox [9], which offer easy-to-use functions for file sharing, video telephony, chatting, etc. It is also relevant that most students have already used popular commercial services before and will continue to use them after graduation. As a result, firstly, they do not need to study and configure a new system, and secondly, they can count on an already large user base, which greatly simplifies collaboration and data exchange.

At the same time, the recent technical innovations in communication (Internet, mobile communications, etc.) and a sharp increase in the volume of profile information have also led to further fundamental changes in existing approaches and opportunities for obtaining higher professional education. As a result of the manifestation of these features, the average annual growth rate of global academic mobility of students is currently almost 7 % (of their total number).

At the present stage of the development of the global educational environment, the use of programs of the national virtual educational institution for export is no longer an additional vector of development of a particular university, but a separate significant component of the development of the content of educational programs provided, university management and various aspects of the learning process itself [9]. This makes it possible to combine the digitalization of students' education in various configurations, information and communication technologies (ICT), including the use of artificial intelligence technologies.

One of the most significant changes associated with the use of digitalization technologies by universities is the possibility of collecting and distributing a significant amount of data. The collection of data on the extensive international specialized market of educational services is a very valuable source of information for universities, dramatically reducing the existing cross-border information asymmetry. The collected data is sent for processing by special algorithms in order to predict the assessment of the current and future (prospective) state of the international educational services market.

The process of making optimal decisions is also supported by more modern methods of big data mining (such as artificial intelligence

and machine learning). This innovative technology, based on artificial intelligence and statistical approaches, helps universities to model and interpret the collected data, with the subsequent use of the results obtained for strategic purposes of their further development.

As a result, digitalization significantly facilitates the acquisition of necessary knowledge, and in addition, erases existing barriers and boundaries, thereby expanding business ties, because thanks to this technology, the possibility of creating and sharing knowledge is facilitated. Therefore, the use of digital technologies allows universities to reach the international level faster. Another thing is that all this reduces the number of students in provincial universities and branches. Because it makes it easier to get an education in distant, maybe even foreign prestigious universities. In the future, this will lead to greater centralization of education, consolidation and reduction of the number of subjects of the educational system, but strengthening the internationalization of universities.

Recently, a model has been developed that emphasizes the accelerating role of digitalization in international business competencies and the speed of internationalization of universities. The strategy for the development of the information society in Russia for 2017–2030 requires, in order to maintain the competitiveness of Russian universities in the global educational space, quite profound changes in all spheres of society (including higher education). The roadmap developed in Russian universities for e-learning of students includes 3 strategic initiatives [13]:

- × formation and development of e-learning infrastructure;
- × reforming the educational process based on e-learning technologies with an emphasis on smart education [3];
- × organization of an external partnership in the field of e-learning.

УДК 004.932  
ГРНТИ 28.23.15  
ВАК 2.3.1

### **Учебный аппаратно-программный комплекс для обработки изображений**

\* Колачев И. О., Кочин Л. Б.

*Балтийский государственный технический университет  
«ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 190005, Россия, г. С.-Петербург,  
ул. 1-я Красноармейская, 1*

email: \* [kolachev\\_io@voenmeh.ru](mailto:kolachev_io@voenmeh.ru), [klen68@mail.ru](mailto:klen68@mail.ru)

Разработан учебный программно-аппаратный комплекс, позволяющий выполнять линейную и нелинейную обработку изображений, осуществлять гистограммные и спектральные преобразования. Разработанный программно-аппаратный комплекс предназначен для изучения различных видов обработки изображений. До начала работы с компьютерной программой обучающиеся знакомятся с краткими теоретическими сведениями об основных видах цифровой обработки изображений [1]. После этого следует цикл практических занятий с использованием созданного аппаратно-программного комплекса для закрепления полученных знаний и знакомства с различными видами двумерных линейных и нелинейных операций с изображениями. На заключительном этапе обучающие оформляют отчеты по выполненным работам и участвуют в итоговом коллоквиуме. Созданная нами компьютерная программа позволяет выполнять следующие виды обработки изображений [2]: аффинные операции, арифметические и логические операции, поточечные преобразования, линейную и нелинейную фильтрацию, гистограммные и спектральные преобразования (в базисах Фурье, Адамара, ДКП и др.) [3]. Кроме того, возможно формирование ряда тестовых изображений (градиент, полосы, сетка и др.), а также генерация двумерного шума. Предусмотрена возможность использования двух буферов для обработки исходных изображений и хранения результатов. Программа снабжена интуитивно понятным графическим интерфейсом, главное меню содержит все основные команды, в процессе работы появляются всплывающие окна и другие необходимые элементы интерфейса (подменю, кнопки и т.п.) позволяющие выполнять требуемые операции в процессе обработки изображений. В качестве исходных изображений могут использоваться файлы следующих

распространённых форматов: BMP, TIFF, JPG, GIF и PNG. Те же форматы предусмотрены для записи итогового графического файла. Минимальные требования к аппаратному обеспечению: персональный компьютер, процессор не менее 1 ГГц, оперативная память не менее 512 Мб, объём жёсткого диска не менее 4,5 Гб, ОС WindowsXP или выше, установленный .NET Framework 4 или новее [4].

### Список литературы

1. Кочин Л. Б., Романов Ю. Ф. Цифровая обработка изображений / учебное пособие. Балт. гос. техн. у-нм. 1999.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: "Техносфера", 2005.
3. Прэнтл Ч. Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 1982.
4. NET Framework system requirements // Microsoft [Электронный ресурс].2023. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/framework/get-started/system-requirements> (дата обращения 12.06.2023).

### Training computer aided system for image processing

\* Kolachev I. O., Kochin L. B.

*Baltic State Technical University "VOENMEH",  
190005, Russia, St. Petersburg, str. 1 Krasnoarmeyskaya 1*

A training computer aided system was developed that allows to perform linear and non-linear image processing, histogram and spectral transformations. The developed computer aided system is designed to study various types of image processing. Before the beginning of work with the computer program, the students get introduced with the brief theoretical information about the basic types of digital image processing [1]. This is followed by a practical training course using the created computer aided system to consolidate the knowledge and acquaintance with various kinds of two-dimensional linear and non-linear operations with images. At the final stage, the trainees prepare reports on their work and take part in the final colloquium. Developed by us computer program enables to perform the following types of image processing [2]: affine transformation, arithmetic and logical operations, stream transformations, linear and non-linear filtering, histogram and spectral transformations (in Fourier, Hadamard, DCT bases, etc.) [3]. It is also possible to generate a number of test image patterns (gradient, stripes, grid, etc.), and to generate two-

dimensional noise. There are two buffers for processing image and storing the results. The program has an easy-to-use graphical interface. The main menu contains all basic commands, while pop-up windows and other necessary interface elements (submenus, buttons, etc.) help perform the necessary operations during image processing. The following common formats can be used as source images: BMP, TIFF, JPG, GIF and PNG. The same formats are used to record the final image file. Minimum hardware requirements: PC, at least 1 GHz processor, 512 MB RAM, 4.5 GB hard drive space, Windows XP or newer, installed .NET Framework 4 or newer [4].

УДК 681.786.4  
ГРНТИ 59.31.29  
ВАК 2.2.11

### **Функция преобразования волоконно-оптического преобразователя угла наклона маятникового типа**

Кукушкин А. Н., Мурашкина Т. И., Бадеев В. А.  
*Пензенский государственный университет*  
440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная 40  
email: \*kukushkin.97@mail.ru, timurashkina@mail.ru,  
vladbadeev4464@gmail.com

При изменении угла наклона изменяется площадь отверстия в аттенуаторе, сформированном в теле маятника, через которое проходит свет от подводящего оптического волокна (ОВ) [1]. При отклонении маятника от вертикали на угол  $\varphi$  часть площади приемного торца отводящего ОВ затемняется, соответственно изменяется его освещенная площадь.

Математическая модель функции преобразования (ФП) волоконно-оптического преобразователя угла наклона (ВОПУН) представлена зависимостью напряжения фотоприемника от угла наклона  $U=f(\varphi)$  и множества внешних факторов:

$$U(\varphi) = \Phi_0 K_{ИС} K(\varphi) K_{СП} \eta(\lambda) S_V$$

где  $\Phi_0$  – поток, испускаемый источником излучения (ИИ);  $K_{ИС}$  – коэффициент передачи тракта «ИИ – входной торец подводящего ОВ (ПОВ)»;  $K(\varphi)$  – коэффициент передачи тракта “выходной торец ПОВ – зона преобразования – входной торец отводящего ОВ (ООВ) – приёмник излучения (ПИ)”;  $K_{СП}$  – коэффициент передачи тракта “выходной торец ООВ – ПИ”;  $\eta(\lambda)$  – коэффициент спектрального согласования элементов ВОПУН;  $S_V$  – вольтовая чувствительность ПИ. Чувствительность преобразования ВОПУН и вид ФП определяется коэффициентом  $K(\varphi)$ .

#### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке РФФИ и КНФ грант 22-15-20069.

#### **Список литературы**

1 Кукушкин А. Н., Мурашкина Т. И., Бадеев В. А. и др. Пат. РФ. Решение по заявке на изобретение № 2021133847 от 18.11.2021 Волоконно-оптический маятниковый датчик угла наклона

2 Кукушкин А. Н., Мурашкина Т. И. Разработка волоконно-оптического датчика больших угловых перемещений для стартовой площадки космодрома // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2021. Т. 2. С. 3-7.

### **The conversion function of the fiber-optic converter of the angle of inclination of the pendulum type**

\* Kukushkin A. N, Murashkina T. I., Badeev V. A.

*Penza State University, 40 Krasnaya str., Penza, 440026, Russia*

When the angle of inclination changes, the area of the hole in the attenuator formed in the body of the pendulum changes, through which the light from the incoming optical fiber (OF) passes [1]. When the pendulum deviates from the vertical by an angle  $\varphi$ , part of the area of the receiving end of the diverting S is shaded, its illuminated area changes accordingly.

The mathematical model of the conversion function (CF) of the fiber-optic tilt angle converter (FOTAC) is represented by the dependence of the photodetector voltage on the tilt angle  $U=f(\varphi)$  and a variety of external factors:

$$U(\varphi) = F_0 K_{IS} K(\varphi) K_{SP} \eta(\lambda) S_V$$

where  $F_0$  is the flux emitted by the radiation source (RS);  $K_{IS}$  is the transmission coefficient of the path "RS is the input end of the supply OF (SOF)";  $K(\varphi)$  is the function of the transmission coefficient of the path "output end OF – conversion zone – input end of the discharge OF (DOF) – radiation receiver (RR)";  $K_{SP}$  is the transmission coefficient of the path "output end of the OF DOF – PI";  $\eta(\lambda)$  is the spectral matching coefficient of the FOTAC elements;  $S_V$  is the volt sensitivity of the RR. The sensitivity of the FOTAC transformation and the type of AF is determined by the coefficient  $K(\varphi)$ .

### **Thanks**

The work was carried out with the support of the RNF and KNF grant No. 22-15-20069

УДК 616.37+004.932+004.89

ГРНТИ 28.23.15

ВАК 2.2.12

**Двумерное спектральное преобразование Чолша в задачах анализа  
ультразвуковых изображений внутренних органов человека**<sup>1</sup>\* Аль-Дарраджи Часиб Хасан, <sup>2</sup> Сухомлинов А. Ю.<sup>1</sup> *Университет Дияла, Баакубу, Республика Ирак*<sup>2</sup> *Юго-Западный Государственный Университет**305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94*

email: \* chasibaboody@gmail.com, ar.sykhomlinov@gmail.com

Ультразвуковые (УЗ) изображения относятся к сложным неструктурированным медицинским изображениям с большим уровнем помех с очень малым соотношением полезный сигнал/шум. Очень часто УЗ-сканеры формируют картину визуально на грани различимой и проводить диагностику становится возможным только врачам с огромным опытом чтения УЗ-картин. Основными задачами автоматизированных систем обработки медицинских изображений являются повышение соотношения сигнал/шум, поиск объектов на картинах и измерение характеристик объектов (количество объектов, размеры, яркость и т.п.). Для повышения соотношения сигнал/шум применяют фильтрацию частот и различные частотные преобразования. В том числе в двумерных сигналах, таких как изображения, используют частотные преобразования, такие как преобразование Фурье, Хартли, Чолша и т.п. Выполнение преобразования Фурье на ЭВМ связано с операциями с комплексными числами, что достаточно затратно с точки зрения памяти и вычислительных ресурсов. Преобразование Хартли уже проводится в области вещественных чисел, однако для вычисления ядра преобразования Хартли всё равно необходимо вычислять тригонометрические функции. Функции Чолша представляют собой последовательности единичных импульсов с единичной полярностью. Т.е. для вычисления преобразования Чолша нет нужды в вычислениях тригонометрических функций, что приводит к существенному увеличению быстродействия систем на их основе. Так, по нашим данным, вычисление двумерного преобразования Чолша в окне 8x8 пикселей на компьютере с процессором Celeron 2 ГГц занимает время менее микросекунды. Это означает, что если для каждого пикселя мегапиксельного изображения посчитать своё двумерное

преобразование Чолша, то суммарное время займёт менее секунды. Для принятия решений при обработке ультразвуковых изображений мы используем адаптированный подход, описанный в [1, 2], т.е. используем работу нейронной сети, на входы которой подаем значения частот преобразования Чолша, а с выхода снимаем числовые данные, соответствующие решениям о состоянии каждого пикселя. Состояние определяется такими термами, как степень эхогенности, а также наличие края объекта. Архитектура нейронной сети может быть упрощена до одного-двух нейронов и тогда процесс обучения такой сети сводится к правильному установлению уровней порогов. Испытания нейронной сети с настроенными порозами на модельных данных показали отличные результаты – состояния всех пикселей были распознаны верно. Результаты испытаний на реальных УЗ-снимках человека показали более скромный результат, который напрямую зависел от правильного выбора уровней порогов. Полученные результаты применения разработанного метода обработки УЗ-изображений были сравнены с известными методиками поиска краев на изображении: с оператором Собеля, Шарра, Превитта. С математической и практической точки зрения эти методики схожи с предложенным методом, но в них вместо пространственных функций Чолша применяются базисные ядра соответственно Собеля, Шарра, Превитта. Так как в предложенном методе присутствует нейронная сеть с пороговой обработкой, то можно сделать вывод, что разработанное решение включает в себя постобработку изображения, что приводит к получению более контрастных результатов.

#### **Список литературы**

1. Филлист С. А., Али Кассим К. Д., Кузьмин А. А., Шаталова О. В., Алябьев Е. А. Формирование признакового пространства для задач классификации сложноструктурируемых изображений на основе спектральных окон и нейросетевых структур. Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016;(4):56-68.
2. Кудрявцев П. С., Кузьмин А. А., Савинов Д. Ю., Филлист С. А., Шаталова О. В. Моделирование морфологических образований на рентгенограммах грудной клетки в интеллектуальных диагностических системах медицинского назначения.

Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии.  
2017;(3):109-120.

## **Two-Dimensional Walsh Spectral Transform in Human Ultrasound Image Analysis Problems**

<sup>1\*</sup> Al-Darraj Chasib Hasan, <sup>2</sup> Sukhomlinov A. Y.

<sup>1</sup> *Diyala University, Baakubu, Republic of Iraq*

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

*305040, Russia, Kursk, str. 50 years of October 94*

Ultrasound (US) images are complex unstructured medical images with a high level of interference with a very low signal-to-noise ratio. Very often, ultrasound scanners form a picture visually on the verge of being distinguishable, and only doctors with extensive experience in reading ultrasound pictures become able to carry out diagnostics. The main tasks of automated medical image processing systems are to increase the signal-to-noise ratio, search for objects in pictures and measure the characteristics of objects (number of objects, size, brightness, etc.). To increase the signal-to-noise ratio, frequency filtering and various frequency transformations are used. Image processing uses frequency transforms such as Fourier, Hartley, Walsh, and the like. The implementation of the Fourier transform on a computer is associated with operations with complex numbers, which is quite expensive in terms of memory and computing resources. The Hartley transform is already carried out in the domain of real numbers, however, to calculate the kernel of the Hartley transform, it is still necessary to calculate trigonometric functions. Walsh functions are sequences of unit pulses with unit polarity. Those to calculate the Walsh transform, there is no need to calculate trigonometric functions, which leads to a significant increase in the performance of systems based on them. Thus, according to our data, the calculation of the two-dimensional Walsh transform in a window of 8x8 pixels on a computer with a 2GHz Celeron processor takes less than a microsecond. This means that if for each pixel of a megapixel image we calculate our two-dimensional Walsh transform, then the total time will take less than a second. For decision making in the processing of ultrasound images, we use an adapted approach described in [1, 2], i.e. we use the work of a neural network, to the inputs of which we supply the values of the Walsh transform frequencies, and from the output we take numerical data corresponding to decisions about the state of each pixel. The state

is defined by such terms as the degree of echogenicity, as well as the presence of the edge of the object. The architecture of a neural network can be simplified to one or two neurons, and then the process of learning such a network is reduced to the correct setting of threshold levels. Tests of a neural network with configured thresholds on model data showed excellent results - the states of all pixels were recognized correctly. The test results on real ultrasound images of a person showed a more modest result, which directly depended on the correct choice of threshold levels. The results of the application of the developed method for processing ultrasonic images were compared with the known methods for searching for edges in the image: with the Sobel, Sharr, Prewitt operator. From a mathematical and practical point of view, these techniques are similar to the proposed method, but instead of the spatial Walsh functions, the Sobel, Scharr, and Prewitt basis kernels are used in them, respectively. Since the proposed method contains a neural network with thresholding, it can be concluded that the developed solution includes image post-processing, which leads to more contrasting results.

УДК 616.37+004.932+004.89  
ГРНТИ 28.23.15+28.23.37  
ВАК 2.2.12

### **Гибридный классификатор для системы дистанционного мониторинга функционального состояния органов дыхания**

Бутусов А. В.

*Юго-Западный Государственный Университет  
305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94  
email: mustang2004@vist.ru*

Интеллектуальные технологии мониторинга функционального состояния пациента позволяют выявить ошибки при постановке диагноза на начальной стадии заболевания, контролировать эффективность плана лечения; выявить побочные реакции на доклиническом уровне или обнаружить не совместимость или индивидуальную несовместимость назначенных препаратов; реализовать технологию «второе медицинское мнение» [1, 2]. Актуальной проблемой является оценка эффективности лечения патологии органов дыхания в форме внебольничной пневмонии (ВП). ВП требует особого внимания к эффективности плана лечения, так как в последнее время наблюдается быстрый рост резистентности микроорганизмов к антибактериальным препаратам, что усложняет течение самой инфекции и уменьшает эффективность терапии. Основным вопросом при мониторинге лечения пневмонии в домашних условиях является вопрос госпитализации: лечить амбулаторно или переводить в стационар.

Для дистанционного контроля степени тяжести ВП на основе интернет – технологий предложена структура гибридного классификатора (ГК), который построен по иерархическому принципу. На нижнем иерархическом уровне в качестве «слабых» классификаторов используют системы нечеткого логического вывода (СНЛВ). С каждой СНЛВ связан «свой» сегмент факторов риска (СФР). Выходы СНЛВ подключены к метаклассификатору – классификатору верхнего иерархического уровня, осуществляющему агрегацию их решений. Такая структура ГК позволяет лицу, принимающему решение (ЛПР), модифицировать структуру ГК в зависимости от доступности СФР, эпидемиологической ситуации или плана лечения, что позволяет реализовать принципы персонализированной медицины и адаптировать систему мониторинга под конкретного пациента.

В процессе исследования была разработана СНЛВ, основанная на алгоритме Мамдани-Ларсена. СНЛВ включает пять слоев и позволяет оценить степень тяжести ВП на шкале 0...1. В качестве СФР в этой системе использовалась шкалы риска ВП СРВ-65, которая предлагает анализ четырех факторов риска (ФР)  $x_1$ - нарушение сознания, обусловленное пневмонией;  $x_2$  - тахипноэ  $\geq 30$  в минуту;  $x_3$  - снижение систолического артериального давления (АД)  $< 90$  мм рт. ст. или диастолического АД  $\leq 60$  мм рт. ст.;  $x_4$  - возраст пациента  $\geq 65$  лет [3]. Эта шкала является шкалой интервального типа. Для перехода к абсолютной шкале степени тяжести ВП для каждого ФР были построены функции принадлежности и сформирована база решающих правил с соответствующими антецедентами и консеквентами.

Апробация ГК степени тяжести ВП проведена на экспериментальной группе из 200 пациентов, больных ВП различной степени тяжести. Осуществлено сопоставление результатов полученной модели тяжести ВП с результатами экспертного оценивания и результатами, полученными на известных регрессионных моделях. Модель классификатора на контрольной выборке продемонстрировала очень хорошую прогностическую способность (AUC=0,88), при чувствительности ДЧ=90%; специфичности ДС=86%. Показатели качества классификации синтезированного ГК позволяют рекомендовать его для телекоммуникационных систем дистанционного мониторинга степени тяжести ВП.

### Список литературы

1. Курочкин А. Г., Жилин В. В., Филист С. А., Суржикова С. А. Использование гибридных нейросетевых моделей для многоагентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков. Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — Астрахань: ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет». 2015; 3 (31): 85-95.
2. Жилин В. В., Филист С. А., Аль-Муаалем В. А. Гибридный способ классификации биосигналов на основе технологий нечеткой логики принятия решений и нейронных сетей. Биомедицинская радиоэлектроника. 2009; 5: 77-82.
3. Фисенко О. В., Синопальников А. И. Тяжелая внебольничная пневмония и шкалы оценки прогноза. Практическая пульмонология. 2014; 2: 20-26.

## **Hybrid classifier for the system of remote monitoring of the functional state of the respiratory system**

Butusov A. V.

*Southwestern State University, 305040, Russia, Kursk,  
str. 50 years of October 94email*

Intelligent technologies for monitoring the functional state of a patient make it possible to identify errors in the diagnosis at the initial stage of the disease, to control the effectiveness of the treatment plan; identify adverse reactions at the preclinical level or detect incompatibility or individual incompatibility of prescribed drugs; implement the “second medical opinion” technology [1, 2]. An urgent problem is to evaluate the effectiveness of the treatment of respiratory pathology in the form of community-acquired pneumonia (CAP). CAP requires special attention to the effectiveness of the treatment plan, since recently there has been a rapid increase in the resistance of microorganisms to antibacterial drugs, which complicates the course of the infection itself and reduces the effectiveness of therapy.

For remote monitoring of the severity of CAP based on Internet technologies, the structure of a hybrid classifier (HC) is proposed, which is built according to a hierarchical principle. At the lower hierarchical level, fuzzy inference systems (FIS) are used as “weak” classifiers. Each FIS is associated with its “own” segment of risk factors (SFR). The FIS outputs are connected to a metaclassifier – a classifier of the upper hierarchical level, which aggregates their solutions. Such a structure of the HC allows the decision maker (DM) to modify the HC structure depending on the availability of the SFR, the epidemiological situation or the treatment plan, which makes it possible to implement the principles of personalized medicine and adapt the monitoring system to a specific patient.

In the course of the research, a FIS based on the Mamdani-Larsen algorithm was developed. FIS includes five layers and allows assessing the severity of CAP on a scale of 0..1. As the SFR in this system, the CRB-65 CAP risk scale was used, which offers an analysis of four risk factors (FR) x1 - impairment of consciousness due to pneumonia; x2 - tachypnea  $\geq 30$  per minute; x3 - decrease in systolic blood pressure (BP)  $< 90$  mm Hg. Art. or diastolic BP  $\leq 60$  mm Hg. Art.; x4 - patient age  $\geq 65$  years [3]. This scale is an interval scale. To move to the absolute scale of the severity of the CAP, for each FR, membership functions were built and a base

of decision rules was formed with the corresponding antecedents and consequents.

Approbation of the HC of the severity of CAP was carried out on an experimental group of 200 patients with CAP of varying severity. The results of the obtained CAP severity model were compared with the results of expert evaluation and the results obtained on known regression models. The classifier model on the control sample showed a very good predictive ability (AUC = 0.88), with a sensitivity of DS = 90 %; specificity of DS<sub>p</sub> = 86 %. The quality indicators of the classification of the synthesized HC make it possible to recommend it for telecommunication systems for remote monitoring of the severity of CAP.

УДК 616.37+004.932+004.89

ГРНТИ 28.23.15+28.23.37

ВАК 2.3.1

### **Алгоритм управления беспилотным летательным аппаратом при экологическом мониторинге**

\* Горбачев И. Н., Зашкин Я. О., Рыбаков А. Ю.

*Юго-Западный Государственный Университет*

*305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94*

email: Gorbachev.agps@yandex.ru

С целью обнаружения источника возгорания на ранней стадии используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Индикатором пожароопасной ситуации является превышение концентрации вредных веществ, выделяемых в процессе горения [1, 2]. Минимальную площадку поверхности мониторинга, на которой осуществляется мониторинг, назовем пикселем. Градиент концентрации будем находить в окне из девяти пикселей. Для выделения перепадов определенной ориентации используются адаптированные девятиэлементные маски [3]. Относительно девятого элемента окна могут быть выбраны восемь альтернативных решений по выбору следующего пикселя – координаты БПЛА. Для выбора соответствующей альтернативы можем сформировать три правила. Первое правило основано на том, что движение БПЛА должно осуществляться в направлении градиента концентрации продуктов горения. Второе правило – БПЛА на каждом галсе должен пройти не менее трёх пикселей. Третье правило: при каждом прохождении нового пикселя проверяется возможность определения градиента в новом окне, и, если такое окно образовано, то определяется новая цель  $u$ , в соответствии с её координатами, корректируется план полёта. У БПЛА имеются три плана полёта. Первый план – план А, предусматривает облёт объекта мониторинга по галсам с измерением концентрации вредного вещества в каждом пикселе. При обнаружении пикселя с концентрацией вредного вещества выше порогового уровня осуществляется полет БПЛА по плану В, который предусматривает поиск координат источника возгорания в автономном режиме. После определения координат источника возгорания БПЛА совершает полет согласно плана С, который предусматривает возвращение БПЛА в исходную точку запуска. Перед составлением локального плана полета задается пороговая кратность определения этого пикселя в качестве цели. Если

кратность достигнет пороговой, то этот пиксель и является координатой источника возгорания и осуществляется переход на план С. Если пиксель — цель не достигнут, то в текущем пикселе предусмотрена коррекция полета, с формированием девятиэлементного окна и с последующими определениями градиентов и пикселя цели. В случае, если координаты предшествующего пикселя — цели и текущего, определенные в новом окне, совпадают, то полет выполняется по локальному плану В, если же это не так, то осуществляется построение нового локального плана В. Математическое моделирование алгоритма управления полетом БПЛА согласно предложенного метода было реализовано в пакет Matlab R2019b и показало устойчивость управления и высокую скорость достижения координат пикселя источника возгорания, превосходящую скорость достижения поставленной цели в 1,5...2 раза, в зависимости от расположения источника возгорания относительно направления облета контролируемой территории.

#### Список литературы

1. Филист С. А. Интеллектуальная система обработки изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов / С. А. Филист, Р. А. Томакова, Н. Г. Нефедов, Е. И. Пузырев, И. Н. Горбачев / Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. — 2022. — Т. 12, № 4. — С. 64–86.
2. Филист С. А. Автоматизированная система для классификации снимков видеопотоков / С. А. Филист, М. В. Шевцов, В. А. Белозеров [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. — 2021. — Т. 11, № 4. — С. 85–105.
3. Томакова Р. А. Метод и алгоритм автономного планирования траектории полета беспилотного летательного аппарата при мониторинге пожарной обстановки в целях раннего обнаружения источника возгорания / Р. А. Томакова, С. А. Филист, А. Н. Брежнева, И. Н. Горбачев, Я. О. Закин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. — 2023. — Т. 13, № 1. — С. 93–110.

## **Control algorithm for an unmanned aerial vehicle during environmental monitoring**

Gorbachev I. N., Zaikin Ya. O. Rybakov A. Yu.

*Southwestern State University*

*305040, Russia, Kursk, str. 50 years of October 94email*

Unmanned aerial vehicles (UAVs) are used to detect the source of ignition at an early stage. An indicator of a fire hazard situation is an excess of the concentration of harmful substances released during combustion [1, 2]. Let's call the minimum area of the monitoring surface on which monitoring is carried out a pixel. We will find the concentration gradient in a window of nine pixels. Adapted nine-element masks are used to highlight drops of a certain orientation [3]. Regarding the ninth element of the window, eight alternative solutions can be selected for choosing the next pixel - the coordinates of the UAV. To select the appropriate alternative, we can form three rules. The first rule is based on the fact that the movement of the UAV should be carried out in the direction of the concentration gradient of the combustion products. The second rule is that the UAV must pass at least three pixels on each tack. The third rule: each time a new pixel is passed, the possibility of determining the gradient in a new window is checked, and if such a window is formed, then a new target is determined and, in accordance with its coordinates, the flight plan is corrected. The UAV has three flight plans. The first plan, Plan A, provides for flying over the monitored object along the lines with the measurement of the concentration of a harmful substance in each pixel. When a pixel with a concentration of a harmful substance above the threshold level is detected, the UAV is flown according to plan B, which provides for the search for the coordinates of the ignition source in offline mode. After determining the coordinates of the ignition source, the UAV flies according to plan C, which provides for the return of the UAV to the initial launch point. Before drawing up a local flight plan, the threshold multiplicity of determining this pixel as a target is set. If the multiplicity reaches the threshold, then this pixel is the coordinate of the ignition source and the transition to plan C is carried out. If the target pixel is not reached, then the flight correction is provided for the current pixel, with the formation of a nine-element window and subsequent determinations of the gradients and the target pixel. If the coordinates of the previous pixel - the target and the current one, defined in the new window, coincide, then the flight is

performed according to the local plan B, if this is not the case, then a new local plan B is built. Mathematical modeling of the UAV flight control algorithm according to the proposed method was implemented in the Matlab R2019b package and showed control stability and a high speed of reaching the ignition source pixel coordinates, exceeding the speed of achieving the goal by 1.5...2 times, depending on the location of the ignition source relative to the flight direction monitored area.

УДК 616.37+004.932+004.89  
ГРНТИ 28.23.15+28.23.37  
ВАК 2.2.12

### **Метод контроля мышечной усталости оператора медицинского экзоскелета**

\* Ермаков Д. А., Карачевцев Р. А.

*Юго-Западный Государственный Университет  
305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94  
email: \* dmitriyermakov98@yandex.ru*

В представленном методе оценки усталости мышц используется поверхностная электромиограмма (пЭМГ). Для вычисления экзогенного момента сил робототехнического устройства предложен дешифратор пЭМГ, который учитывает степень мышечной усталости оператора. Путем дешифрации пЭМГ определяется ассистирующий момент на серводвигателе экзоскелета. Метод оценки мышечной усталости заключается в оценке показателя синхронности электромиосигналов на мышцах-синергистах и основан на гибридном подходе формирования модуля принятия решений, заключающийся в использовании двух классификаторов синхронности электромиосигналов пациента с мышцами-синергистов, принимающих участие в процедуре выполнения физического упражнения. Первый классификатор является обучаемым классификатором и для его обучения используется набор данных, полученный в результате тарирования пЭМГ. Для получения исходных данных для формирования дескрипторов в блоке нейросетевого классификатора используются спектральные коэффициенты RMS. Второй классификатор мышечного утомления построен на основе нечеткой логики принятия решений и использует два паттерна мышечной синергии, которые формируются посредством образования в каждом канале электромиосигнала частотного и амплитудного подканалов. В качестве информативных признаков во втором классификаторе используются показатели корреляции сигналов в частотных подканалах и показатели корреляции сигналов в амплитудных подканалах. По результатам классификации полученных паттернов синергии принимается решение о включении соответствующих серводвигателей робототехнического устройства с целью оказания помощи пользователю при выполнении физических упражнений. Проведены экспериментальные исследования зависимости электромиосигнала

от величины мышечного усилия и от его длительности, которые показали, что относительное изменение усредненного показателя RMS при статичной нагрузке может служить объективным показателем степени усталости мышцы. Так как пЭМГ отражает реакцию мышцы на предъявление нагрузки определенного уровня, то для контроля амплитуды и формы сил, действующих на исследуемую мышцу, а, следовательно, для формирования дескрипторов для первого канала и для формирования базы нечетких импликаций для второго канала, экспериментальным путем определить соответствие между приложенной нагрузкой на мышцы синергисты и параметрами пЭМГ. Разработанный метод позволяет управлять механическими моментами на серводвигателях робототехнического устройства адекватно тестовой мышечной нагрузке и функционального состояния мышц пользователя. Метод позволяет осуществлять индивидуальную настройку блока нейросетевого классификатора и блока нечеткого логического вывода с последующей агрегацией их решений и таким образом оптимизировать комбинированный режим работы экзоскелета.

#### **Список литературы**

1. Филист С. А., Петрунина Е. В., Трифонов А. А., Серебровский А. В. Кодовые образы сигналов электроэнцефалограммы для управления робототехническими устройствами посредством интерфейса мозг-компьютер. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал. 2019; 7(1): 67–79.
2. Трифонов А. А., Филист С. А., Кузьмин А. А., Жилин В. В., Петрунина Е. В. Двухуровневая нейросетевая модель дешифратора электромиосигнала в системе управления вертикализацией экзоскелета. Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2020; 4 (52): С.99–111.
3. Трифонов А. А., Петрунина Е. В., Филист С. А., Кузьмин А. А., Жилин В. В. Биотехническая система с виртуальной реальностью в реабилитационных комплексах с искусственными обратными связями. Известия ЮЗГУ. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019; 9(4): 46–66.

## **Method for controlling muscle fatigue of a medical exoskeleton operator**

Ermakov D. A., Karachevtsev R. A.

*Southwest State University*

*305040, Russia, Kursk, str. 50 years of October 94*

The presented method for assessing muscle fatigue uses a surface electromyogram (sEMG). To calculate the exogenous moment of forces of a robotic device, an sEMG decoder is proposed, which takes into account the degree of operator muscle fatigue. By deciphering the sEMG, the assisting moment on the servomotors of the exoskeleton is determined. The method for assessing muscle fatigue consists in assessing the indicator of synchronism of electromyosignals on synergistic muscles and is based on a hybrid approach to the formation of a decision-making module, which consists in using two classifiers of synchronism of the patient's electromyosignals from synergistic muscles participating in the procedure for performing physical exercise. The first classifier is a trainable classifier and for its training the data set obtained as a result of calibrating the sEMG is used. To obtain the initial data for the formation of descriptors in the block of the neural network classifier, the RMS spectral coefficients are used. The second classifier of muscle fatigue is built on the basis of fuzzy decision-making logic and uses two patterns of muscle synergy, which are formed by the formation of frequency and amplitude subchannels in each channel of the electromyosignal. As informative features in the second classifier, indicators of signal correlation in frequency subchannels and indicators of signal correlation in amplitude subchannels are used. Based on the results of the classification of the synergy patterns obtained, a decision is made to turn on the corresponding servomotors of the robotic device in order to assist the user in performing physical exercises. Experimental studies of the dependence of the electromyosignal on the magnitude of muscle effort and its duration were carried out, which showed that the relative change in the average RMS index under static load can serve as an objective indicator of the degree of muscle fatigue. Since sEMG reflects the reaction of a muscle to the presentation of a load of a certain level, in order to control the amplitude and shape of the forces acting on the muscle under study, and, consequently, to form descriptors for the first channel and to form a base of fuzzy implications for the second channel, experimentally determine the correspondence between applied load on synergist

muscles and sEMG parameters. The developed method makes it possible to control the mechanical moments on the servomotors of a robotic device adequately to the test muscle load and the functional state of the user's muscles. The method allows for individual adjustment of the neural network classifier block and the fuzzy inference block with subsequent aggregation of their solutions and thus optimize the combined operation mode of the robotic device.

УДК 616.37+004.932+004.89  
ГРНТИ 28.23.15+28.23.37  
ВАК 2.2.12

### **Метод оценки структуры нечётких данных в медицинских исследованиях**

*\* Лукаш О. Ю., Лях А. В., Фатнев Д. А.*

*Юго-Западный Государственный Университет  
305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94  
email: \* lukash.oyu@novomog.org*

Во многих лечебно-диагностических технологиях возможности современных компьютеров используются не в полной мере. Прежде всего, это диагностика, назначение лечебных мероприятий, прогнозирование течения заболеваний и их исходов. Можно отметить, что основными причинами недостаточно полного использования современных математических методов и компьютерных технологий в медицине являются сложности учёта и агрегации исходной нечёткой информации, представляющей собой опыт и знания специалистов – экспертов (врачей). Анализ распространённых методов оценки информативности экспериментальных данных показывает, что для получения надёжных оценок необходимо иметь выборки большого объёма, что не всегда достижимо. Это объясняется тем, что в задачах прогнозирования, ранней диагностики, оценки степени тяжести и динамики развития патологий современная медицинская наука не знает чётко установленных границ между здоровьем и предболезнью, между предболезнью и болезнью и др. Предложенный метод отличается учётом таких составляющих, как уровень репрезентативности, объём выборки, уровень доверия к выборке, уровень доверия к составу признаков и количество информативных признаков, которые агрегируются в нечёткие оценки уровней доверия к обучающим выборкам и пространству признаков. Это позволяет при синтезе соответствующих решающих правил учитывать роль обучающих выборок и информативных признаков в уровне доверия к получаемым математическим моделям, снижая риски от чрезмерного доверия к «машинным» заключениям. Предлагаемый метод базируется на использовании методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил, разработанной на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета, объединяющей опыт, знания и интуицию высококвалифицированных

клинцистов с методами искусственного интеллекта с различными модификациями нечёткой логики принятия решений [1,2]. Разработанный метод нечёткой оценки степени информативности производственных факторов риска характеризуется использованием различных критериев, позволяет с различных позиций произвести оценку информативности каждого из исследуемых признаков. Такой подход обеспечивает возможность проведения искомых оценок как при наличии обучающих выборок различного объёма, так и при их отсутствии. В ходе проводимых исследований решена задача разработки метода комплексной оценки уровня информативности классификационных признаков в условиях неполной и нечёткой структуры данных. Было показано, что для количественной оценки информативности каждого из признаков следует использовать несколько методов, описывающих различные свойства исследуемой структуры данных, а интегральный показатель информативности определять путём синтеза нечётких моделей в соответствии с общими рекомендациями методологии синтеза гибридных нечётких решающих правил. Для повышения точности моделей принятия решений предложен механизм их корректировки путём введения мер доверия к составу информативных признаков и объёму обучающей выборки [3].

### Список литературы

1. Корневский Н. А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем / Н.А. Корневский // Медицинская техника, 2015, №1 (289) С. 33–35.
2. Корневский Н. А., Родионова С. Н., Хрипина И. И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография / Старый Оскол: ТНТ, 2019. – 472 с.
3. Метод комплексной оценки уровня информативности классификационных признаков в условиях нечеткой структуры данных / Н. А. Корневский, В. Аксенов, С. Н. Родионова, С. Н. Гонтарев, Л. П. Лазурина, Р. И. Сафронов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12, № 3. С. 80–96. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-3-80-96>.

## **Method for assessing the structure of fuzzy data in medical research**

Lukash O. Yu., Lyakh A. V., Fatnev D. A.

*Southwest State University*

*305040, Russia, Kursk, str. 50 years of October 94*

In many medical and diagnostic technologies, the capabilities of modern computers are not fully used. First of all, it is diagnostics, appointment of therapeutic measures, prediction of the course of diseases and their outcomes. It can be noted that the main reasons for the insufficient use of modern mathematical methods and computer technologies in medicine are the difficulties in accounting and aggregating the initial fuzzy information, which is the experience and knowledge of specialists - experts (doctors). An analysis of common methods for assessing the information content of experimental data shows that in order to obtain reliable estimates, it is necessary to have large samples, which is not always achievable. This is explained by the fact that in the problems of forecasting, early diagnosis, assessment of the severity and dynamics of the development of pathology, modern medical science does not know clearly established boundaries between health and pre-disease, between pre-illness and illness, etc. The proposed method allows one to obtain an estimate of the level of confidence in training samples and feature space. It differs by taking into account such components as the level of representativeness, the sample size, the level of confidence in the sample, the level of confidence in the composition of features and the number of informative features, which are aggregated into fuzzy estimates of the levels of confidence in the training samples and feature space. This allows, when synthesizing the corresponding decision rules, to take into account the role of training samples and informative features in the level of confidence in the resulting mathematical models, reducing the risks of excessive confidence in "machine" conclusions. The proposed method is based on the use of the hybrid fuzzy decision rules synthesis methodology developed at the Department of Biomedical Engineering of Southwestern State University, which combines the experience, knowledge and intuition of highly qualified clinicians with artificial intelligence methods with various modifications of fuzzy decision logic [1, 2]. The developed method of fuzzy assessment of the degree of information content of production risk factors is characterized by the use of various criteria, which allows assessing the information content of each of

the studied features from different positions. This approach makes it possible to carry out the required estimates both in the presence of training samples of various sizes, and in their absence. In the course of the ongoing research, the problem of developing a method for a comprehensive assessment of the level of information content of classification features under conditions of incomplete and fuzzy data structure was solved. It was shown that to quantify the information content of each of the features, several methods should be used that describe various properties of the data structure under study, and the integral indicator of information content should be determined by synthesizing fuzzy models in accordance with the general recommendations of the methodology for synthesizing hybrid fuzzy decision rules. To improve the accuracy of decision-making models, a mechanism for their adjustment is proposed by introducing confidence measures to the composition of informative features and the size of the training sample [3].

УДК 616.37+004.932+004.89

ГРНТИ 28.23.15+28.23.37

ВАК 2.2.12

**Моделирование биоимпедансных цепей в системах интеллектуальной поддержки принятия клинических решений**

\* Серебровский А. В., Новоселов А. Ю., Шаталова О. В.

*Юго-Западный Государственный Университет**305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94*

email: mustang2004@vist.ru

Растущие потребности в точных, экономичных и неинвазивных системах для мониторинга клинического состояния и диагностики заболеваний ускорили исследовательские усилия по созданию новых методов и технологий для оценки состояния здоровья человека. Биоимпедансный анализ — это развивающийся метод в системах искусственного интеллекта мониторинга клинического состояния и диагностики заболеваний. Моделирование биоимпедансных цепей — эффективный метод, используемый в медицине и биологии для спектральной биоимпедансометрии различных типов биологических тканей [1]. Требование текущего мониторинга функционального состояния пациента — это результат постоянного увеличения продолжительности жизни, сопровождаемого потребностью в улучшении существующих систем здравоохранения и качества жизни. В современных условиях растет заинтересованность людей в постоянном мониторинге состояния своего здоровья, чтобы как можно раньше заметить любые отклонения от нормального функционирования организма и избежать дальнейшего ущерба своему здоровью [2, 3]. Для достижения этой цели используются методы биоимпедансных исследований как неинвазивные и требующие минимальных экономических затрат. Поэтому в области биоимпеданса ведутся активные исследования, поскольку необходимы более эффективные новые методы поиска дескрипторов для классификаторов медицинского риска [3]. Цель исследования состоит в том, чтобы обеспечить относительно удобное и простое построение моделей биоимпедансных диаграмм в среде Simulink, а также моделей этих импедансных диаграмм, максимально приближённых к исходным диаграммам и позволяющих формировать пространство информативных признаков для интеллектуальных агентов, осуществляющих контроль функционального состояния пациента. Таким образом, необходимо

решить прямую задачу – построить импедансную диаграмму двухполюсника, который моделирует импеданс диоматериала, и обратную задачу – получить вектор дескрипторов, адекватно отражающих функциональное состояние пациента по частотным отсчетам импедансной диаграммы. Для решения прямой задачи необходимо построить кроме модели диоимпеданса в виде пассивного или активного двухполюсника также модель измерительной цепи, позволяющей получить амплитудно-фазочастотную характеристики построенной модели диоимпеданса. Обратная задача позволяет по известному графику Коула найти параметры элементов модели Воита и построить модель Воита с полученными элементами, параметры которой используются в качестве дескрипторов для автономного интеллектуального агента. Исследования были выполнены в приложении Simulink в пакете Matlab 2018b.

### Список литературы

1. Мирошников А. В. Классификации биологических объектов на основе многомерного диоимпедансного анализа / А. В. Мирошников, О. В. Шаталова, Н. С. Стадниченко, Л. В. Шульга // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2020. Т. 10, № 3/4 (31). С. 29-49. URL: [https://swsu.ru/izvestiya/seriesivt/archiv/34\\_2020.pdf](https://swsu.ru/izvestiya/seriesivt/archiv/34_2020.pdf).
2. Мирошников А. В. Модели импеданса диоматериала для формирования дескрипторов в интеллектуальных системах диагностики инфекционных заболеваний / А. В. Мирошников, Н. С. Стадниченко, О. В. Шаталова, С. А. Филист // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8, № 4 (31). – С. 1-14. URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=864>. DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.018.
3. Мирошников А. В. Алгоритм оптимизации модели Воита в классификаторах функционального состояния живых систем / А. В. Мирошников, О. В. Шаталова, М. А. Ефремов, Н. С. Стадниченко, А. Ю. Новоселов, А. В. Павленко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2022. – Т.12, № 2. – С. 59-75.

## **Modeling of Bioimpedance Circuits in Intelligent Clinical Decision Support Systems**

Serebrovsky A. V., Novoselov A. Yu., Shatalova O. V.

*Southwestern State University*

*305040, Russia, Kursk, str. 50 years of October 94email*

The growing demand for accurate, economical and non-invasive systems for clinical monitoring and disease diagnosis has accelerated research efforts to create new methods and technologies for assessing human health. Bioimpedance analysis is a developing method in artificial intelligence systems for monitoring the clinical condition and diagnosing diseases. Modeling of bioimpedance circuits is an effective method used in medicine and biology for spectral bioimpedancemetry of various types of biological tissues [1]. The requirement for ongoing monitoring of the patient's functional state is the result of a continuous increase in life expectancy, accompanied by a need to improve existing health care systems and quality of life. In modern conditions, people are increasingly interested in constantly monitoring their health in order to notice any deviations from the normal functioning of the body as early as possible and avoid further damage to their health [2, 3]. To achieve this goal, bioimpedance research methods are used as non-invasive and requiring minimal economic costs. Therefore, active research is being carried out in the field of bioimpedance, since more efficient new methods for searching descriptors for medical risk classifiers are needed [3]. The purpose of the study is to provide a relatively convenient and simple construction of models of bioimpedance diagrams in the Simulink environment, as well as models of these impedance diagrams that are as close as possible to the original diagrams and allow the formation of a space of informative features for intelligent agents that control the functional state of the patient. Thus, it is necessary to solve the direct problem – to build an impedance diagram of a two-terminal network that models the impedance of a biomaterial, and the inverse problem – to obtain a vector of descriptors that adequately reflect the functional state of the patient according to the frequency readings of the impedance diagram. To solve the direct problem, it is necessary to construct, in addition to the bioimpedance model in the form of a passive or active two-terminal network, also a measuring circuit model that allows one to obtain the amplitude-phase-frequency characteristics of the constructed bioimpedance model. The inverse problem allows

using the well-known Cole graph to find the parameters of the Voight model elements and construct the Voight model with the obtained elements, the parameters of which are used as descriptors for an autonomous intelligent agent. The studies were performed in the Simulink application in the MATLAB 2018b package.

УДК 616.37+004.932+004.89  
ГРНТИ 28.23.15+28.23.37  
ВАК 2.2.12

### **Автоматизированная система мониторинга кардиореспираторного синхронизма**

Алави Хайдер Х.А., Песок В. В., Пшеничный А. Е.  
*Юго-Западный Государственный Университет*  
*305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94*  
email: book.hp.2015@gmail.com

Для восстановления правильного функционирования легких важен реабилитационный процесс, который носит индивидуальный характер и, следовательно, нуждается в мониторинге и коррекции. Для управления реабилитационным процессом необходим критерий его эффективности, в качестве которого выбран показатель кардиореспираторной синхронизации (КРС) [1]. Метод оценки КРС основан на определении корреляции спектра ритма дыхания (РД) и спектра поверхностной электромиограммы (ПЭМГ) дыхательных мышц  $x(t)$  [2]. Сигнал РД получаем из кардиосигнала  $y(t)$  (электрокардиосигнал, фотоплетизмосигнал и т.п.) путем определения его вейвлет-спектра. Таким образом, имеем два источника данных, которые разделены естественным образом и один из которых связан с сердечно-сосудистой системой, а другой — с системой дыхания. Из сигнала  $x(t)$  формируется двухканальный сигнал с помощью детектора амплитудной модуляции и детектора частотной модуляции. Два канала демодулированной ПЭМГ поступают на блок оконного преобразования Фурье (ОПФ), с которого, уже в виде двух спектров, поступают на блок взаимного спектрального анализа (ВСА). На вейвлет-плоскости сигнала  $y(t)$  выделяют строки, принадлежащие частотному диапазону РД, и на основе их анализа получают функции варибельности вейвлет-спектра РД по времени и по частоте. Таким образом,  $y(t)$  расщепляют на два канала, аналогично сигналу  $x(t)$ . После вычисления спектров функций варибельности РД в этих каналах в блоке ОПФ, их спектры поступают на блок ВСА. На входе блока ВСА имеем четыре вектора спектра ОПФ. Учитывая, что из четырех спектральных каналов можем получить шесть каналов взаимного спектра, на выходе блока ВСА имеем шесть векторов, которые могут быть использованы для построения шести «слабых» классификаторов показателя КРС. В качестве обучаемого

классификатора используем иерархическую нейронную сеть [3]. Классификатор имеет двухуровневую иерархическую структуру, включающую шесть «слабых» классификаторов на нижнем иерархическом уровне и один на верхнем иерархическом уровне. Верхний уровень иерархии занимает нейронная сеть, которая в процессе обучения определит информативную ценность каждого «слабого» классификатора или их группы, объединяемых в соответствующую иерархическую структуру. При наличии надёжной экспертной информации, её можно ввести в иерархический классификатор. Для обучения классификаторов были созданы экспериментальные группы, в которые были включены студенты Юго-Западного университета с подтвержденным диагнозом ОРВИ. Проведены экспериментальные и статистические исследования автоматизированной системы количественной интерпретации КРС. Основные статистические показатели качества классификатора системы не были ниже 80 % с доверительными интервалами, не превышающими 5 % от среднего значения, что позволяет рекомендовать ее для клинической практики.

#### **Список литературы**

1. Киселев А. В. Классификация функционального состояния системы дыхания на основе анализа вариабельности медленных волн VLF диапазона / А. В. Киселев, А. А. Кузьмин, М. Б. Мяснянкин, А. А. Маслак, С. А. Филлист, А. Ф. Рыбочкин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. — 2022. — №1. Том 12. — С. 8–32.
2. Мяснянкин М. Б. Формирование дескрипторов для классификаторов функционального состояния системы дыхания на основе спектрального анализа электрокардиосигнала / М. Б. Мяснянкин, С. А. Филлист, А. В. Киселев, А. А. Кузьмин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. — 2020. — №3/4. Том 10. — С. 8–28.
3. Филлист С. А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений / С. А. Филлист, О. В. Шаталова, М. А. Ефремов // Нейрокомпьютеры. Разработка и применение. — 2014. — №6. — С. 35–39.

### **Automated monitoring system for cardiorespiratory synchronism**

Alawsi Hyder H. A., Pesok V. V., Pshenichny A. E.

*Southwestern State University*

*305040, Russia, Kursk, str. 50 years of October 94email*

To restore the proper functioning of the lungs, the rehabilitation process is important, which is individual in nature and, therefore, needs to be monitored and corrected. To manage the rehabilitation process, a criterion of its effectiveness is required, which is the indicator of cardiorespiratory synchronization (CRS) [1]. The method for assessing CRS is based on determining the correlation between the spectrum of the respiratory rhythm (RD) and the spectrum of the surface electromyogram (SEMG) of the respiratory muscles  $x(t)$  [2]. The RD signal is obtained from the cardiosignal  $y(t)$  (electrocardiosignal, photoplethysmosignal, etc.) by determining its wavelet spectrum. Thus, we have two sources of data that are naturally separated and one of which is associated with the cardiovascular system, and the other with the respiratory system.

A two-channel signal is formed from the signal  $x(t)$  using an amplitude modulation detector and a frequency modulation detector. Two channels of demodulated PEMG are fed to the windowed Fourier transform (OFT) block, from which, already in the form of two spectra, they are fed to the mutual spectral analysis (MCA) block.

On the wavelet plane of the signal  $y(t)$ , lines belonging to the frequency range of the RD are selected, and based on their analysis, the functions of the variability of the RD wavelet spectrum in time and frequency are obtained. Thus,  $y(t)$  is split into two channels, similar to the signal  $x(t)$ . After calculating the spectra of the RD variability functions in these channels in the OFT block, their spectra are fed to the MCA block. At the input of the VSA block, we have four vectors of the OFT spectrum. Taking into account that we can get six channels of the mutual spectrum from four spectral channels, we have six vectors at the output of the MCA block, which can be used to build six "weak" classifiers of the CRS index.

We use a hierarchical neural network as a trainable classifier [3]. The classifier has a two-level hierarchical structure, including six "weak" classifiers at the lower hierarchical level and one at the upper hierarchical level. The upper level of the hierarchy is occupied by a neural network, which, in the process of learning, will determine the informative value of each "weak" classifier or their group, combined into an appropriate hierarchical structure. If

reliable expert information is available, it can be entered into a hierarchical classifier.

To train the classifiers, experimental groups were created, which included students from the Southwestern University with a confirmed diagnosis of ARVI. Experimental and statistical studies of the automated system for the quantitative interpretation of CRS were carried out. The main statistical indicators of the quality of the classifier of the system were not lower than 80 % with confidence intervals not exceeding 5 % of the average value, which allows us to recommend it for clinical practice.

УДК 681.786.4  
ГРНТИ 59.45.37  
ВАК 2.2.6

**Алгоритмы обработки сигналов в системе для оперативного контроля прямолинейности железнодорожных рельсов в условиях фоновых засветок**

<sup>1</sup> Колючкин В. Я., <sup>1</sup> Маренов Н. Е., <sup>2</sup> Егоров А. О.

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская 5 с. 1

<sup>2</sup> ЗАО «ПИК ПРОГРЕСС»

111024, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная 51А

email: [vkoluch@bmsfu.ru](mailto:vkoluch@bmsfu.ru), [marenov@bmsfu.ru](mailto:marenov@bmsfu.ru),  
[alex-egorov@yandex.ru](mailto:alex-egorov@yandex.ru)

Для контроля прямолинейности поверхности катания железнодорожных рельсов используют триангуляционные системы со структурированной подсветкой. Известны алгоритмы обработки сигналов, обеспечивающие измерение координат точек структурированной подсветки с субпиксельной точностью [1]. Однако в реальных условиях работы таких систем возникают фоновые засветки, например, от солнца, когда нарушаются нормальные условия функционирования, приводящие к возникновению длюминг-эффекта при регистрации изображений. Авторами проведен анализ алгоритмов субпиксельного уточнения пика в условиях работы за пределами линейного участка регистрации оптических сигналов [2, 3] и определены параметры алгоритмов, при которых обеспечивается существенное уменьшение влияния нелинейных эффектов на погрешность контроля прямолинейности. Полученные результаты подтверждены численными экспериментами.

**Список литературы**

1. Fisher R. B., Naidu D. K. A comparison of algorithms for subpixel peak detection // Image technology. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1996. – С. 385–404.
2. Besic I., Avdagic Z. Laser stripe model for sub-pixel peak detection in real-time 3D scanning //2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). – IEEE, 2016. – С. 4332–4337.

3. Molder A. et al. Laser line detection with sub-pixel accuracy //Elektronika ir Elektrotechnika. – 2014. – Т. 20. – №. 5. – С. 132-135.

**Algorithms for signal processing in a system for high-speed monitoring of the corrugation of railway rails under backlight conditions**

<sup>1</sup> Koluchkin V. Ya., <sup>1</sup> Marenov N. E., <sup>2</sup> Egorov A. O.

<sup>1</sup> *BMSTU, 105005, Russia, Moscow, st. 2-nd Baumanskaya, 5c1,*

<sup>2</sup> *JSC «PIK PROGRESS»*

*111024, Russia, Moscow, str. Aviamotornaya, 51A*

Triangulation systems with structured light are used in monitoring of the corrugation of the rolling surface of railway rails. Signal processing algorithms provide measurement of coordinates of structured illumination points with subpixel accuracy [1]. However, in the real conditions of operation of such systems background illumination occurs, for example, from the sun, when normal operating conditions are violated, leading to the occurrence of a blooming effect during image registration. The authors analyzed algorithms for subpixel peak detection under operating conditions outside the linear section of optical signal registration [2, 3], the parameters of the algorithms which provide a significant reduction in the influence of non-linear effects on the error of corrugation monitoring are determined. The obtained results are confirmed by numerical experiments.

УДК 544.163  
ГРНТИ 31.15.19  
ВАК 2.6.6

### **DFT расчёт магнитной восприимчивости кластеров $Fe_nO_{n+1}$ ( $n = 1-4$ ) в водной среде**

\* Михайлов Г. П., Кадин А. А.

*Уфимский университет науки и технологий  
450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди 32*

email: \* [gpmihailov@mail.ru](mailto:gpmihailov@mail.ru)

Магнитные жидкости на водной основе, содержащие суперпарамагнитные наночастицы оксидов железа, находят широкое применение в диомедицине, в частности, для целенаправленной доставки лекарств и при проведении магнитно-резонансной томографии. Для понимания физико-химических свойств магнитных жидкостей представляются важными квантово-химические изучения влияния водной среды на магнитную восприимчивость кластеров оксидов железа. В настоящей работе методом теории функционала плотности (DFT) в приближении B3LYP/def2-TZVP с использованием Gaussian 09 [1] проведена полная оптимизация по энергии при различных значениях спиновой мультиплетности электронных состояний и расчет значений изотропной магнитной восприимчивости кластеров  $Fe_nO_{n+1}$  ( $n = 1-4$ ) в вакууме и водной среде. Мультиплетность основного состояния кластеров определялась по критерию минимума полной энергии с учетом энергии нулевых колебаний и отсутствию мнимых частот в колебательном спектре. Для расчетов в водной среде использовалась континуальная модель сольватации SMD (Solvation Model based on Density). Показано значительное влияние неспецифической сольватации на значения изотропных диа- и парамагнитных составляющих тензора магнитной восприимчивости кластеров  $Fe_nO_{n+1}$ . При переходе к водной среде в зависимости от конкуренции диамагнитных и парамагнитных вкладов происходит уменьшение значения изотропной магнитной восприимчивости в 1,8 ( $FeO_2$ ), 2,3 ( $Fe_2O_3$ ), 1,26 ( $Fe_3O_4$ ) и 1,1 раза ( $Fe_4O_5$ ).

#### **Список литературы**

1. Frisch M. J .et al. GAUSSIAN 09, Revision A.1. Gaussian, Inc., Wallingford, CT, 2009.

**DFT calculation of the magnetic susceptibility of clusters  
 $\text{Fe}_n\text{O}_{n+1}$  ( $n = 1-4$ ) in an aqueous medium**

\* Mikhailov G. P., Kadin A. A.

*Ufa University of Science and Technology  
Ufa, st. Zaki Validi 32, 450076, Russia*

Magnetic or ferromagnetic water-based liquids containing superparamagnetic iron oxide nanoparticles are widely used in biomedicine, in particular, for targeted drug delivery and during magnetic resonance imaging. To understand the physicochemical properties of magnetic liquids, quantum chemical studies of the influence of the aqueous medium on the magnetic susceptibility of iron oxide clusters are important. In this paper, the density functional theory (DFT) method in the B3LYP/def2-TZVP approximation using Gaussian 09 [1] carried out a complete energy optimization for various values of spin multiplicity of electronic states and calculation of isotropic values of magnetic susceptibility of clusters  $\text{Fe}_n\text{O}_{n+1}$  ( $n = 1-4$ ) in vacuum and aqueous medium. The multiplicity of the ground state of the clusters was determined by the criterion of the minimum total energy, taking into account the energy of zero oscillations and the absence of imaginary frequencies in the vibrational spectrum. The continuous model of solvation SMD (Solvation Model based on Density) was used for calculations in the aquatic environment. A significant effect of nonspecific solvation on the values of isotropic dia- and paramagnetic components of the magnetic susceptibility tensor of  $\text{Fe}_n\text{O}_{n+1}$  clusters is shown. During the transition to an aqueous medium, depending on the competition of diamagnetic and paramagnetic contributions, the isotropic magnetic susceptibility decreases by 1.8 (FeO<sub>2</sub>), 2.3 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 1.26 (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) and 1.1 times (Fe<sub>4</sub>O<sub>5</sub>).

УДК 504.064.38+681.7.068

ГРНТИ 59.41.33

ВАК 2.2.8

### **Экономия энергопитания лазерных автономных систем зондирования неоднородных сред**

Зарипов М. Р., Алексеев В. А.

*Ижевский государственный технический университет имени  
М.Т.Калашникова, 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая 7*  
email: [zaripov.istu@yandex.ru](mailto:zaripov.istu@yandex.ru), [alekseevv@istu.ru](mailto:alekseevv@istu.ru)

Исследование различных сред лазерным зондированием позволяет решать множество задач по обнаружению различных веществ, сгустков, неоднородностей как жидких, так и газовых сред. В задачах подобного класса имеет значение проникновение лазерного излучения на определённую глубину, величина которой определяется энергией воздействия лазерного излучения. В случае использования импульсного лазерного излучения глубина проникновения определяется энергией лазерного импульса, а в отдельных задачах его амплитудой. В соответствии с законом Бугера глубина проникновения зависит от начальной интенсивности лазерного излучения и свойств среды. Увеличение начальной интенсивности излучения приводит к росту энергопитания лазера для обеспечения необходимой накачки лазера. Построение автономных систем зондирования среды требует ограничений на габариты конструкции аппаратуры и её массу. Это аппаратура для аэрокосмических и морских исследований, для работы в чрезвычайных ситуациях, аппаратура военного применения. Поэтому задача построения систем зондирования среды с экономией затрат энергии на накачку лазера является актуальной. Особое значение она приобретает для систем, работающих длительное время с использованием энергии аккумуляторов. Примерами являются беспилотные летательные и морские средства исследования воздушных и водных сред [1]. Для эффективного экономного потребления электропитания лазерным источником авторами предлагается система, использующая оптическую задержку импульсов, формируемых одним лазерным источником. Действие такой системы заключается в последовательном синхронном наложении друг на друга  $N$  импульсов лазерного излучения, поступающих на вход кольцевой линии задержки. При этом пучок, совершивший обход, накапливает в себе за счёт сложения импульсов энергию излучения с каждым обходом в линии задержки. В результате происходит синхронное суммирование

лазерных импульсов [2]. Примером применения такого подхода является проект плавательного беспилотного средства для исследования акватории водных бассейнов на загрязнение микропластиком [3]. Вычислительный эксперимент показал, что при выборе лазерного диода FNPL-13-3640-DFB с мощностью излучения 1 мВт с использованием трёх элементов сложения импульсов на кольцевой задержке достигается нарастание амплитуды лазерного импульса почти в 10 раз без увеличения энергии питания. Потребляемая лазерным диодом электрическая мощность составляет 10 мВт. Для получения эквивалентной амплитуды лазерного импульса 10 мВт требуется увеличить энергопотребление на генерацию излучения свыше 100 мВт. При использовании данного подхода возможно создание беспилотного плавательного средства с литиевым аккумулятором емкостью 3600 мА·ч, позволяющим проводить исследование акватории водоёма в течение времени непрерывной работы более 12 часов.

#### Список литературы

1. Coldewey D. Sail drone takes the wraps off its Voyager autonomous research vessel. – [S. l.] : TechCrunch, 2023. – URL: <https://techcrunch.com/2023/03/28/saildrone-takes-the-wraps-off-its-voyager-autonomous-research-vessel/> (дата обращения: 14.07.2023). – Текст : электронный.
2. Патент № 189439 U1 Российская Федерация, МПК H01S 3/10 (2006.01), G02B 6/00 (2006.01). Источник импульсного лазерного излучения : № 2018137513 : заявл. 23.10.2018 : опубл. 22.05.2019 / Алексеев В. А., Юран С. И., Перминов А. С. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова». – 7 с. : ил.
3. Проект автономного микрокатера с лазерным устройством для оценки загрязнения микропластиком акватории водоёмов // В. А. Алексеев, С. И. Юран, М. Р. Зарипов, В. П. Усольцев // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14. – № 2. – С. 27–37.

#### Power supply economy of laser autonomous systems for probing inhomogeneous media

\* Zaripov M. R., Alekseev V. A.

*Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
426069, Russia, Izhevsk, str. Studencheskaya 7*

The measuring of various media by laser probing allows to solve many problems of detecting various substances, clots, and inhomogeneities of

both liquid and gaseous media., the penetration of laser radiation to a certain depth, the value of which is determined by the energy of the impact of laser radiation, is important in problems of such type. When pulsed laser radiation is used, the penetration depth is determined by the energy of the laser pulse, and by its amplitude in some objectives. In accordance with Bouguer's law, the penetration depth depends on the initial intensity of laser radiation and the properties of the medium. An increase in the initial radiation intensity leads to an increase of the power supply by laser, providing the necessary laser pumping. The constructing autonomous systems for probing medium requires restrictions on the dimensions of the equipment construction and its weight. This is equipment for aerospace and marine research, for working in emergency situations, equipment for military use. Therefore, the problem of constructing systems for probing medium with saving energy costs for laser pumping is topical. It is of particular importance for systems operating for a long time period using battery power. Examples of these systems are unmanned aerial and marine research equipment for air and water media [1]. For effective economical power supply consumption by a laser source, the authors propose a system that uses an optical delay of pulses generated by a single laser source. The operation of such a system consists in the sequential synchronous combining of  $N$  laser pulses arriving at the input of the ring delay line. In this case, the beam that has made a round trip accumulates the laser energy in itself due to the combining of pulses with each round trip in the delay line. As a result, synchronous laser pulses combining occurs [2]. An example of the application of this approach is the project of a unmanned watercraft for measuring the water area of reservoirs for microplastic pollution [3]. The computational experiment showed that when choosing an FNPL-13-3640-DFB laser diode with a radiation power of 1 mW using three pulse combining elements on a ring delay, an increase in the laser pulse amplitude by almost 10 times is achieved without increasing consumption of the power supply. The electrical power consumed by the laser diode is 10 mW. To obtain an equivalent laser pulse amplitude of 10 mW, it is required to increase the power consumption for laser generation to more than 100 mW. Using this approach, it is possible to create an unmanned watercraft with a lithium battery with a capacity of 3600 mAh, which makes it possible to study the water area of a reservoir during a continuous operation time of more than 12 hours.

УДК 654.9  
ГРНТИ 50.43.31  
ВАК 2.2.6.

### **Система защиты охраняемой территории с использованием видеонаблюдения**

<sup>1</sup> Алексеев В. А., <sup>1</sup> Усольцев В. П., <sup>2\*</sup> Юран С. И.

<sup>1</sup> *Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7*

<sup>2</sup> *Удмуртский государственный аграрный университет 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11*

email: [alekseev@istu.ru](mailto:alekseev@istu.ru), [vpusoltcev@mail.ru](mailto:vpusoltcev@mail.ru), \* [yuran-49@yandex.ru](mailto:yuran-49@yandex.ru)

Приведена автоматизированная система охраны территории (границы) [1], которая может быть использована для обеспечения безопасности от террористических угроз. Система содержит подсистему сбора и обработки информации, подсистему видеонаблюдения, в которую входят видеокамеры с лазерами подсветки, подсистему тепловизионного наблюдения, в которую входят тепловизоры, причем видеокамеры и тепловизоры оснащены оптическими фильтрами с полосой пропускания, совпадающей с частотой излучения лазеров подсветки. Кроме этого, система содержит подсистему вибрационного обнаружения с чувствительными элементами, смонтированными на оградительной сетке. В штатном режиме работы системы используемые подсистемы позволяют устойчиво обнаруживать угрозы безопасности в дневное и ночное время в условиях тумана, снега, дождя.

При возникновении нештатной ситуации, например, ослепляющем воздействии в широком спектре излучения на оптические средства наблюдения, защитные фильтры в значительной степени ослабят это вредное излучение, так как они пропускают только очень узкий диапазон частот, совпадающий с частотой излучения лазеров подсветки. В результате система не выйдет из строя и будет надёжно обеспечивать защиту охраняемой территории.

#### **Список литературы**

1. Патент 2642336 РФ. МПК G08B 13/00. Система защиты охраняемой территории / Зайцев А. М., Усольцев В. П., Юран С. И. Заявка: 2015150136 от 23.11.2015 / Опубликовано. 24.01.2018. Бюл. № 3.

### **The system of protection of the protected area using video surveillance**

<sup>1</sup> Alekseev V. A., <sup>1</sup> Usol'tsev V. P., <sup>2</sup> Yuran S. I.

<sup>1</sup> *Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov,  
426069, Russia, Izhevsk, Studentskaya str., 7*

<sup>2</sup> *Udmurt State Agrarian University  
426069, Russia, Izhevsk, Studentskaya str., 11*

The automated system of protection of the territory (border) [1], which can be used to ensure security from terrorist threats, is given. The system contains a subsystem for collecting and processing information, a video surveillance subsystem, which includes video cameras with illumination lasers, a thermal imaging surveillance subsystem, which includes thermal imagers, and video cameras and thermal imagers are equipped with optical filters with a bandwidth that coincides with the frequency of illumination lasers. In addition, the system contains a vibration detection subsystem with sensitive elements mounted on a protective grid.

In the normal operating mode of the system, the subsystems used make it possible to consistently detect security threats during the day and at night in conditions of fog, snow, rain.

In the event of an emergency situation, for example, a blinding effect in a wide spectrum of radiation on optical surveillance equipment, protective filters will significantly weaken this harmful radiation, since they pass only a very narrow frequency range that coincides with the frequency of illumination lasers. As a result, the system will not fail and will reliably protect the protected area.

УДК 517.443+519.2:004+531.36  
ГРНТИ 30.19.21  
ВАК 1.3.19

### **Определение численными методами плотности электронных состояний в иттрий-алюминиевых гранатах (YAG)**

Ермаков Л. К

*Санкт-Петербургский Государственный Политехнический  
Университет Петра Великого*

*195251, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Политехническая  
ул., д. 29*

email: ermakov-lk@mail.ru

В последнее время ширится применение лазеров в различных системах [1, 2]. Для этого требуются лазеры различного спектрального диапазона. Такой запрос можно удовлетворить за счет применения твердотельных лазеров. Большой интерес в связи с этим вызывают иттрий-алюминиевые гранаты (YAG).

Данный материал имеет большую ширину запрещенной зоны (около 6 эВ), что позволяет выводить генерируемое внутри него излучение без потерь наружу. Введение в него различных примесей дает возможность создавать разнообразные системы энергетических уровней подходящих для изготовления как светодиодов, так и лазеров.

В свете вышесказанного необходимо теоретическое изучение электронной структуры данного материала, а точнее его локальной электронной плотности состояний (ЛПС). Изучение исходя их первых принципов (ab initio) мало эффективно, так как при этом приходится выдвигать из рассмотрения всё, что можно для упрощения, вследствие чего получаются мало понятные результаты. Поэтому более результативны полумпирические модели.

В данной работе использовался полумпирический гамильтониан в базисе ЛКАО. Его матричные элементы определялись в приближении Вольфсберга-Гельмгольца. В данной модели диагональные элементы это потенциалы ионизации атомов, а недиагональные элементы есть полу-сумма диагональных умноженная на интеграл перекрывания, которые брались из работы [5]. Атомные функции Слэитеровского типа брались из работы [4]. Для алюминия, кислорода и галлия использовались атомные функции s и p типа. Для иттрия – s, p и d типа. Для практики наиболее интересны YAG кристаллы с добавлением

дополнительных атомов, например галлия. Обычно их присутствие обозначают индексом «х» внизу формулы. В расчете это учитывается суммой из двух слагаемых для диагонального элемента матрицы Гамильтониана. Потенциал ионизации замещаемого атома с коэффициентом  $(1 - x)$  плюс потенциал ионизации атома заместителя умноженного на «х». Локальную плотность состояний (ЛПС) удобнее получать из мнимой части функции Грина умноженной на коэффициент  $(-1/\pi)$ . Функция Грина в матричном представлении есть матрица обратная матрице Гамильтониана. Такой подход позволяет избежать построения зоны Бриллюэна приемлемой лишь для идеальных кристаллов. Примесный атом и небольшие искажения решетки не позволяют использовать метод зоны Бриллюэна. В данной работе применяется метод разложения функции Грина в непрерывную дробь (НД) предложенный в работе [3]. Этот метод есть рекурсивная процедура, в ходе которой матрица Гамильтониана приобретает тридиагональный вид. Функция Грина такой матрицы есть непрерывная дробь. Таким образом матрица заменяется двумя одномерными массивами, что позволяет изучать кластеры больших размеров. В работе применялась матрица несимметризованного Гамильтониана, что позволяет изучать как идеальные, так и неидеальные структуры. Минус такого подхода является то, что матрица имеет большой размер. Однако метод НД позволяет уменьшить этот недостаток. В ходе метода НД числа быстро набирают большой порядок из-за того, что в данном методе применяется матрица многократно умноженная на саму себя, поэтому необходимо масштабирование исходной матрицы гамильтониана. Наиболее просто это сделать, поделив все потенциалы ионизации на наибольший, что легко сделать автоматически по мере работы программы в самом её начале. Обратного масштабирования при определении ЛПС не требуется, так как ЛПС обычно нормируется на максимальное её значение. Сами значения ЛПС записываются в массив, номера ячеек в котором есть условные значения как масштабированной так и немасштабированной энергии. Программа состоит из 10 подпрограмм на языке ФОРТРАН. Общий объём около 1000 операторов Фортрана. Результаты расчётов симдатны с опубликованными в различных работах на эту тему [6].

#### **Список литературы**

1. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Опт. и спектроск. 1997, т. 82, № 5, с. 873-875.

2. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Опт. Журнал, 1999, т. 66, № 2, с. 40-42.
3. Solid State Physics, v.35 (1980), Acad. Press, N.Y.
4. Clementi E., Raimondi D. L., J. Chem. Phys., 1963. V.38, 2686-2689.
5. Бацанов С. С., Звягина Р. А., Интегралы перекрывания, 1966, Новосибирск, 'Наука', с.386.
6. Заморянская М. В. Опт. и спектроск. 1993, т. 75, В.4, с. 805-811.

### **Determination by numerical methods of the density of electronic states in yttrium-aluminum granats (YAG)**

Ермаков Л. К.

*Saint Petersburg State Polytechnical University, 195251, Russian Federation, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya str., 29*

Recently, the use of lasers in various systems has been expanding [1, 2]. This requires lasers of various spectral ranges. Such a request can be met by the use of solid-state lasers. Yttrium aluminum grenades (YAG) are of great interest in this regard. This material has a large band gap (about 6 eV), which allows the radiation generated inside it to be emitted without loss to the outside. The introduction of various impurities into it makes it possible to create a variety of energy level systems suitable for the manufacture of both LEDs and lasers.

In light of the above, it is necessary to theoretically study the electronic structure of this material, and more precisely its local electronic density of states (LDS). Studying on the basis of their first principles (ab initio) is not effective, since at the same time everything that can be simplified is thrown out of consideration, as a result of which little clear results are obtained. Therefore, semi-empirical models are more effective.

In this work, a semi-empirical Hamiltonian was used in the basis of LCAO. Its matrix elements were defined in the Wolfsberg-Helmholtz approximation. In this model, diagonal elements are ionization potentials of atoms, and non-diagonal elements are the half-sum of diagonal multiplied by the overlap integral, which were taken from work [5]. Atomic functions of the Slater type were taken from work [4]. For aluminum, oxygen and gallium, atomic functions of s and p type were used. For yttrium – s, p and d type. For practice, the most interesting are YAG crystals with the addition of additional atoms, for example gallium. Their presence is usually denoted by the index "x" at the bottom of the formula. In the calculation, this is taken into account by the sum of two terms for

the diagonal element of the Hamiltonian matrix. The ionization potential of the substituted atom with coefficient  $(1 - x)$  plus the ionization potential of the substituent atom multiplied by "x." It is more convenient to obtain the local state density (LDS) from the imaginary part of the Green function multiplied by the coefficient  $(-1/\pi)$ . The Green function in the matrix representation is the inverse matrix of the Hamiltonian matrix. This approach avoids constructing a Brillouin zone acceptable only to ideal crystals. The impurity atom and small lattice distortions do not allow the Brillouin zone method to be used. In this work, the method of decomposing the Green function into a continuous fraction (CF) proposed in work [3] was used. This method is a recursive procedure in which the Hamiltonian matrix takes on a tridiagonal form. The Green function of such a matrix is a continuous fraction. Thus, the matrix is replaced by two one-dimensional arrays, which allows you to study large clusters. The work used an asymmetrized Hamiltonian matrix, which allows you to study both ideal and non-ideal structures. The downside of this approach is that the matrix is large. However, the CF method reduces this drawback by reducing it to two one-dimensional arrays. Unfortunately, in the course of the CF method, the numbers quickly gain a large order due to the fact that the matrix multiplied many times by itself is used in this method. Therefore, it is necessary to scale the original Hamiltonian matrix. Most simply, this is done by dividing all ionization potentials by the largest, which is easy to do automatically as the program works at the very beginning. Reverse scaling is not required when determining the LDS, since the LDS is usually normalized to its maximum value. The LDS values themselves are written to an array, cell numbers in which there are conditional values of both scaled and non-scaled energy. The program consists of 10 subroutines in the FORTRAN language. The total volume is about 1 000 FORTRAN operators. The results of simabatically calculations with published in various works on this topic [6].

УДК 613.953.11/13+612.312.3  
ГРНТИ 762900  
ВАК 3.2.3

### **Особенности давления языка новорожденных, находящихся на грудном и смешанном вскармливании**

<sup>1</sup> Плотникова Е. Ю., <sup>2</sup> Мурашкина Т. И., <sup>2</sup> Бадеева Е. А.,  
<sup>1</sup> Клименко Я. В., <sup>3</sup> Истомина Т. В., <sup>1</sup> Арутюнов А. В.,  
<sup>2</sup> Паршикова Т. В.

<sup>1</sup> Кубанский государственный медицинский университет  
Россия, 350063, г. Краснодар, ул. им. М.Седина,4

<sup>2</sup> Пензенский государственный университет  
440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная 40

<sup>3</sup> ФГАОУ НИУ «Московский энергетический институт»

email: [cat.roll@yandex.ru](mailto:cat.roll@yandex.ru), [timurashkina@mail.ru](mailto:timurashkina@mail.ru),  
[badeeva\\_elena@mail.ru](mailto:badeeva_elena@mail.ru), [ana.klimenk@mail.ru](mailto:ana.klimenk@mail.ru),  
[ms.parshikova01@mail.ru](mailto:ms.parshikova01@mail.ru)

Предлагается эмпирическим путём определять взаимосвязь мышечной активности языка новорождённого во время сосания груди матери и/или из бутылочки, выявляющую корреляционную зависимость высосанного объёма за одно кормление. В установленную форму будут вноситься: объём грудного молока и адаптированной молочной смеси, длительность и объём кормлений в течение суток с последующим установлением отклонений от показателей нормы кормления и мышечной активности языка. На основании предварительно полученных данных выведена закономерность, показавшая, что на вторые сутки жизни снижение давления языка составило  $0,4 \text{ кг/см}^3$ , что соответствует снижению объёма кормления на 2,02 мл относительно нормы 17,98 мл [1, 2]. На пятые сутки жизни наблюдалось превышение нормы кормления на 1,02 мл, показатель давления языка –  $0,53 \text{ кг/см}^3$ . Данные отклонения являются незначительными, близкими к норме. Было выявлено, что кормление имеет чёткую прогрессивную динамику в течение 6 дней наблюдения.

#### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке РНФ и КНФ грант 22-15-20069

#### **Список литературы**

1. Сколько съедает новорожденный за одно кормление [Электронный ресурс] // Беби. URL :

<https://www.bebi.ru/information/pitanie> (дата обращения: 25.03.2023)

2. Влияние грудного вскармливания ребёнка на его речевое развитие [Электронный ресурс] // Союз профессиональной поддержки материнства (СППМ) URL : <https://sppm.su/vliyanie-grudnogo-vskarmlivaniya-rebyonka-na-ego-rechevoe-razvitie> (дата обращения: 25.03.2023)

### **Features of the pressure of the tongue of newborns who are breast-feeding and mixed feeding**

<sup>1</sup>Plotnikova E. Yu., <sup>2</sup>Murashkina T. I., <sup>2</sup>Badeeva E. A.,

<sup>1</sup>Klimenko Ya. V., <sup>3</sup>Istomina T. V., <sup>1</sup>Arutyunov A. V.,

<sup>2</sup>Parshikova T. V.

<sup>1</sup> *Kuban State Medical University*

*4 M.Sedin str., Krasnodar, 350063, Russia*

<sup>2</sup> *Penza State University, 440026, Russia, Penza, Krasnaya str. 40*

<sup>3</sup> *FSAOU NRU "Moscow Power Engineering Institute"*

It is proposed to empirically determine the relationship between the muscular activity of the newborn's tongue during sucking of the mother's breast and / or from a bottle, revealing the correlation dependence of the sucked volume during one feeding. The following will be entered into the established form: the volume of breast milk and adapted formula, the duration and volume of feedings during the day, followed by the establishment of deviations from the indicators of the feeding norm and the muscular activity of the tongue. Based on the previously obtained data, a pattern was derived that showed that on the 2nd day of life, the decrease in tongue pressure was 0.4 kg/cm<sup>3</sup>, which corresponds to a decrease in feeding volume by 2.02 ml relative to the norm of 17.98 ml [1, 2]. On the 5th day of life, there was an excess of the feeding norm by 1.02 ml, the tongue pressure index was 0.53 kg/cm<sup>3</sup>. These deviations are insignificant, close to normal. It was found that feeding has a clear progressive dynamics during 6 days of observation.

### **Thanks**

The work was carried out with the support of the RNF and KNF grant 22-15-20069

УДК 811.111-26  
ГРНТИ 16.21.35  
10.02.19

### **Роль информационного обеспечения в системе развития туристических потоков**

Адьян Д. Р., Вишневецкая В. В.

*Новороссийский политехнический институт филиал Кубанского  
государственного технологического университета*

*Новороссийск, Россия*

email: Stas\_14@rambler.ru

Стратегической целью политики Российской Федерации до 2030 г. является развитие цифровой экономики и внедрение её во все сферы жизни человека, с целью осуществления прорывного развития, увеличения численности населения, повышения уровня жизни, создания комфортных условий для граждан, а также раскрытия таланта каждого человека. С каждым годом появляется масса новых изобретений, связанных с инновационными технологиями, они существенно усовершенствуют нашу жизнь и улучшают условия получения информации в современном мире, поскольку имеют в своей основе реализации достижений научно-технического прогресса, являются существенными факторами для повышения конкурентоспособности любой отрасли, в частности, такой как туризм [1].

В последнее время туризм получил значительное развитие в России и стал массовым социально-экономическим явлением международного масштаба. Быстрому его развитию способствует расширение политических, экономических, научных и культурных связей между государствами и народами мира. Массовое развитие туризма позволяет миллионам людей расширить знания по истории своего Отечества и других стран, познакомиться с достопримечательностями, культурой, традициями той или иной страны, конечно же, отдых должен сопровождаться легендой, историей и изюминкой. Туризм оказывает влияние на сохранение и развитие культурного потенциала, ведёт к гармонизации отношений между различными странами и народами, заставляет правительства, общественные организации и коммерческие структуры активно участвовать в деле сохранения и оздоровления окружающей среды [1].

Большую роль в информационном обеспечении развития туристических потоков в настоящее время играют QR-коды. Их внедрение,

как и ряда других адаптированных к современным требованиям мобильных приложений значительно расширяет познавательные возможности туристов, которые путешествуют, максимально учитывая их субъективные предпочтения. Требования современного потребителя туристического рынка обуславливают поиски новых подходов к организации экскурсионной деятельности, в частности активного применения инновационных технологий. Их применение имеет целью создание нового или модифицированного продукта, который предлагается потребителю, усовершенствованного качества и ассортимента, путем внедрения информационных технологий и современных форм организационно-управленческой деятельности. Смысл данной технологии заключается в предоставлении туристам и гостям нашей страны/города информации, маркированной QR кодами, которая будет охватывать разные сферы, например: историю, географию, архитектуру, туристические кластеры, образовательные институты, а также юридическую и психологическую помощь [3].

Цель информационного обеспечения – предоставить гостям доступ к информации об истории и окружающем культурном наследии, о туристических кластерах, открыть для них новые туристические маршруты, показать спектр образовательных учреждений, при необходимости дать возможность быстрого доступа к юридической и другой помощи [2].

Интересующую информацию можно получить, просканировав QR-код мобильным телефоном. При этом, осуществляется переход на специальный сайт, где будет доступна информация о том или ином интересующем вопросе или объекте, а также подробный маршрут, номера телефонов, ответственные лица, и все это при помощи современных IT-технологий [4].

В Новороссийском политехническом институте в данном направлении активно работают студенты направления подготовки «Строительство». Они собирают информацию, относящуюся к истории города, его архитектуре, а студенты направления «Программирование в компьютерных системах» помогают её структурировать и создать информационную оболочку для практического применения [5].

Организация виртуальных туров, на современном этапе, стала интересным и принципиально новым решением в организации турпотока в предоставлении подробной наглядной информации. Такие туры создают у человека «эффект присутствия», помогают сформировать объективную картинку и сделать

правильный выбор в мотивации и области знакомства с Новороссийском. Следует отметить, что существенным преимуществом виртуальных экскурсий-туров является их доступность – независимо от возраста, страны пребывания, финансовых возможностей, социального статуса и т.д., в удобное время, не выходя из дома [6].

Результативность данного проекта направлена на формирование и воспитание культуры, исторических знаний, патриотизма, привития студентам любви к культурному наследию, расширению мировоззрения людей разных поколений [7].

### **Список литературы**

1. ГОСТ Р 52653-2006 Информационно-коммуникационные технологии в образовании.
2. Кобозева И. М. Лингвистическая семантика: учеб. пособие / И.М. Кобозева. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 352 с.
3. Осин А. В. Электронные образовательные ресурсы нового поколения: Аналитическая записка. – М.: ИИТО ЮНЕСКО, 2011. 12 с.
4. Лингвострановедческие средства создания портрета(на материале художественных текстов Т.М.). Объединенный научный журнал. 2012. № 4-5 (263-264). С. 54-57.
5. Полат Е. С. Интернет на уроках иностранного языка// Иностр. языки в школе – 2001. – №2,3.
6. Художественное пространство и его особенности в произведениях приключенческого жанра. В сборнике: Актуальные проблемы современного языкознания и литературоведения. Материалы 6-ой межвузовской конференции молодых ученых. 2007. С. 40-45.
7. Стилистический аспект в создании художественного образа персонажа (на материале творчества Т.М.Рида). Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Серия: Гуманитарные науки.2012. № 3. С. 69-70.

### **The role of information support in the system of tourist flows development**

Adiyan D. R., Vishnevetskaya V. V.  
*Novorossiysk Polytechnic Institute branch of Kuban State  
Technological University, Novorossiysk, Russia*

The strategic goal of the policy of the Russian Federation until 2030 is the development of the digital economy and its introduction into all spheres of human life, with the aim of implementing

breakthrough development, increasing the population, improving living standards, creating comfortable conditions for citizens, as well as revealing the talent of each person.

Every year there are a lot of new inventions related to innovative technologies, they significantly improve our lives and improve the conditions for obtaining information in the modern world, since they are based on the implementation of scientific and technological progress, are essential factors for increasing the competitiveness of any industry, in particular, such as tourism.

Recently, tourism has received significant development and has become a massive socio-economic phenomenon on an international scale. Its rapid development is facilitated by the expansion of political, economic, scientific and cultural ties between countries and peoples of the world. The massive development of tourism allows millions of people to expand their knowledge of the history of their homeland and other countries, to get acquainted with the sights, culture, traditions of a particular country, of course, the rest should be accompanied by a legend, history and raisin. Tourism has an impact on the preservation and development of cultural potential, leads to the harmonization of relations between different countries and peoples, forces governments, public organizations and commercial structures to actively participate in the preservation and improvement of the environment.

QR codes currently play an important role in providing information for the development of tourist flows. Their implementation, as well as a number of other mobile applications adapted to modern requirements, significantly expands the cognitive capabilities of tourists who travel, taking into account their subjective preferences as much as possible. The requirements of the modern consumer of the tourist market determine the search for new approaches to the organization of excursion activities, in particular, the active use of innovative technologies. Their application is aimed at creating a new or modified product that is offered to the consumer, improved quality and assortment, through the introduction of information technologies and modern forms of organizational and managerial activities. The meaning of this technology is to provide tourists and guests of our country/ city with information marked with QR codes, which will cover different areas, for example: history, geography, architecture, tourist clusters, educational institutions, as well as legal and psychological assistance.

The purpose of information support is to provide guests with access to information about the history and surrounding cultural

heritage, about tourist clusters, to open new tourist routes for them, to show a range of educational institutions, if necessary, to provide quick access to legal and other assistance.

The information of interest can be obtained by scanning the QR code with a mobile phone. At the same time, a transition is made to a special website where information about a particular issue or object of interest will be available, as well as a detailed route, phone numbers, responsible persons, and all this with the help of modern IT technologies.

At the Novorossiysk Polytechnic Institute, students of the training field "Civil engineering" are actively working in this direction. They collect information related to the history of the city, its architecture, and students of the direction "Programming in computer systems" help to structure it and create an information shell for practical use.

The organization of virtual tours, at the present stage, has become an interesting and fundamentally new solution in organizing the tourist flow in providing detailed visual information. Such tours create a "presence effect" for a person, help to form an objective picture and make the right choice in motivation and the area of acquaintance with Novorossiysk. It should be noted that a significant advantage of virtual guided tours is their availability - regardless of age, country of residence, financial capabilities, social status, etc., at a convenient time, without leaving home.

The effectiveness of this project is aimed at the formation and education of culture, historical knowledge, patriotism, instilling in students a love for cultural heritage, expanding the worldview of people of different generations.

УДК 535.34:537.632.5

ГРНТИ 29.31.26

ВАК 1.3.6

### **Измерение концентрации паров бензола и толуола анализатором паров ртути ДОГ-07**

Татур В. В., Тихомиров А. А.

*Институт мониторинга климатических и экологических систем*

*Сибирского отделения Российской академии наук,*

*634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3*

e-mail: [tatur@imces.ru](mailto:tatur@imces.ru), [tikhomirov@imces.ru](mailto:tikhomirov@imces.ru)

В [1] отмечено, что чувствительность анализатора ртути (Hg) РА-915М/РП-91НГ (на основе продольного эффекта Зеемана) для определения атомарной ртути в составе природного газа (ПГ) ограничено присутствием в составе ПГ таких примесных газов как  $C_6H_6$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$  и других, полосы поглощения которых попадают на линии излучения анализатора ( $\lambda_0 = 253,7$  нм). Наму показано [2], что анализатор ДОГ-07 (на основе поперечного эффекта Зеемана) в меньшей степени подвержен влиянию таких примесных газов. В докладе представлены результаты экспериментальной оценки влияния бензола ( $C_6H_6$ ) и толуола ( $C_6H_5CH_3$ ) на измерение концентрации паров Hg в анализаторе ДОГ-07. В измерительную кювету ДОГ-07 последовательно вводились пары Hg определенной концентрации, а затем пары  $C_6H_6$  или  $C_6H_5CH_3$ . Показано, что при добавлении этих газов в концентрациях до  $10$  мг/м<sup>3</sup>, где уже находятся пары Hg (более  $30$  нг/м<sup>3</sup>), ошибки в измерении концентрации Hg не наблюдались. Оценены результаты введения в измерительную кювету ДОГ-07 паров  $C_6H_6$  или  $C_6H_5CH_3$ , которые по-разному влияют на результаты измерений анализатора. Показано, что ДОГ-07 при соответствующей калибровке может быть использован для измерения концентрации паров  $C_6H_6$  в воздухе.

#### **Список литературы**

1. Прямое определение содержания ртути в природном газе. Методика МИ 242/6-2015. (ФР.131.2016.23824). URL: [https://www.lumex.ru/metodics/22ARU08.01.02-1\\_nat-gas.pdf](https://www.lumex.ru/metodics/22ARU08.01.02-1_nat-gas.pdf) (Дата обращения: 24.04.2023).
2. Tatur V. V., Tikhomirov A. A. Selective Absorption Effect of Impurity Gases on Measurements in Atomic Absorption Mercury

Analyzers Based on the Zeeman Effect // Atmos. Ocean. Opt. 2022. V. 35 Suppl. 1. P. S153-S157.

**Measurement of the concentration of benzene and toluene vapors by the mercury vapor analyzer DOG-07**

Tatur V. V., Tikhomirov A. A.

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 634055, Russia, Tomsk, Akademicheskii ave. 10/3*

It was noted in [1] that the sensitivity of the mercury (Hg) analyzer RA-915M/RP-91NG (based on the longitudinal Zeeman effect) for the measurement of atomic mercury in the composition of natural gas (NG) is limited by the presence in the composition of NG of such impurity gases as  $C_6H_6$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$  and others, the absorption bands of which fall on the emission lines of the analyzer ( $\lambda_0 = 253.7$  nm). We have shown [2] that the DOG-07 analyzer (based on the transverse Zeeman effect) is less affected by such impurity gases. The report presents the results of an experimental evaluation of the effect of benzene ( $C_6H_6$ ) and toluene ( $C_6H_5CH_3$ ) on the measurement of the concentration of Hg vapors in the analyzer DOG-07. The certain concentration of Hg were sequentially introduced in the measuring cell of the analyzer DOG-07, and then vapors of  $C_6H_6$  or  $C_6H_5CH_3$ . It is shown that when adding these gases in concentrations up to  $10 \text{ mg/m}^3$ , where Hg vapors are already present in concentrations of more than  $30 \text{ ng/m}^3$ , no error was observed in measuring the concentration of Hg. The results of the introduction of  $C_6H_6$  or  $C_6H_5CH_3$  vapors into the DOG-07 measuring cell, which differently affect the measurement results of the analyzer, are evaluated. It is shown that DOG-07, with appropriate calibration, can be used to measure the concentration of benzene vapors in the air.

УДК 551.508.77+681.785.4

ГРНТИ 29.31.29

ВАК 1.3.6

### **Применение лазерного дисдрометра для определения кинетической энергии осадков, выпадающих в виде дождя**

Тихомиров А. А., Кальчихин В. В., Кодзев А. А.

*Институт мониторинга климатических и экологических систем*

*Сибирского отделения Российской академии наук,*

*634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3*

e-mail: [tikhomirov@imces.ru](mailto:tikhomirov@imces.ru), [vyk@imces.ru](mailto:vyk@imces.ru), [kaa@imces.ru](mailto:kaa@imces.ru)

Информация о потоках кинетической энергии, переносимой выпадающими атмосферными осадками важна при решении многих научно-практических задач. В частности, важную роль эти данные играют при прогнозировании последствий ливневой эрозии почв [1]. Кинетическая энергия (КЕ) дождя определяется диаметром и терминальными скоростями отдельных капель. Прямые измерения данных характеристик встречаются крайне редко, поэтому кинетическая энергия обычно оценивается с использованием эмпирических моделей, связывающих КЕ с интенсивностью выпадения осадков [2]. При этом данные о величине получаются либо из результатов измерений интегральных характеристик осадков, либо рассчитываются на основе распределения капель дождя по размерам (drop size distribution – *DSD*). Для расчётов *DSD* в ряде случаев применяются микроструктурные характеристики осадков, получаемые с помощью дисдрометров различного типа. Разработанный в ИМКЭС СО РАН лазерный дисдрометр позволяет не только получать *DSD*, но и непосредственно измерять диаметры и терминальные скорости падения дождевых капель. В докладе представлены результаты подобных измерений и продемонстрированы возможности применения данного прибора для определения кинетической энергии дождевых осадков.

### **Список литературы**

1. Щепашенко Г. Л. Ливневая эрозия почв и методы борьбы с ней. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 1991. 178 с.
2. Salles Ch., Poesen J, Torres D. S. Kinetic energy of rain and its functional relationship with intensity // Journal of Hydrol. 2002. V. 257, Issues 1–4, N 2, P. 256–270.

### **Using a laser disdrometer to determine the kinetic energy of precipitation that falls as rain**

Tikhomirov A. A., Kalchikhin V. V., Kobzev A. A.

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS  
634055, Russia, Tomsk, Akademicheskii ave. 10/3*

Information about the fluxes of kinetic energy carried by precipitation is important in solving many scientific and practical tasks. In particular, these data play an important role in predicting the consequences of storm soil erosion [1]. The kinetic energy ( $KE$ ) of rain is determined by the diameter and terminal velocities of individual droplets. Direct measurements of these characteristics are extremely rare, so the kinetic energy is usually estimated using empirical models that relate  $KE$  to precipitation intensity [2]. In this case, the data on the value of  $I$  are obtained either from the results of measurements of the integral characteristics of precipitation, or calculated from the size distribution of raindrops (drop size distribution -  $DSD$ ). For  $DSD$  calculations, in a number of cases, microstructural characteristics of precipitations obtained with disdrometers of various types are used. The laser disdrometer developed at the IMCES SB RAS makes it possible not only to obtain  $DSD$ , but also to directly measure the diameters and terminal velocities of raindrops. The report presents the results of such measurements and demonstrates the possibilities of using this device to determine the kinetic energy of rainfall.

УДК 531.715.1  
ГРНТИ 37.31.19  
ВАК 1.3.19

### **Изучение сейсмодеоформационных явлений системой пространственно разнесенных лазерных интерферометров**

\* Александров Д. В., Дубров М. Н.

*Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им.  
В.А. Котельникова РАН*

*141190 Россия, г. Фрязино Московской обл., пл. Введенского, 1*

email: \* [diman1234@list.ru](mailto:diman1234@list.ru)

Проявление сейсмической активности Земли выражается в широком разнообразии форм движения и деформаций её поверхности и глубинных слоев. Стандартный сейсмоприемник, расположенный в какой-либо точке на поверхности земли, измеряет смещение (скорость, ускорение) данной точки и определяет локальные движения земной поверхности вблизи этой точки. Лазерный интерферометр, применяемый в качестве прецизионного деформографа, измеряет разность смещений двух точек, разнесенных в пространстве на длину плеча  $L$  — измерительного базиса интерферометра. Полученный результат измерения  $dL$  с одной стороны характеризует движение уже некоторой области в верхнем слое Земли до глубины порядка  $L$ , а с другой стороны — является дифференциалом, пропорциональным пространственной производной поля смещений, т. е. является качественно новой физической величиной, практически не используемой до сих пор в современной сейсмологии. Измеренная деформация  $e = dL/L$  и составляет величину порядка  $e \sim 10^{(-12)} - 10^{(-13)}$  для минимальных амплитуд, разрешаемых стандартными сейсмоприемниками и наиболее совершенными лазерными деформографами [1]. Эффективность интерферометров-деформографов может быть повышена путем их пространственного разнесения. Два синхронно работающие прибора на расстоянии порядка  $10^{(2)}$  км друг от друга чувствительны к движениям земной коры на глубинах вплоть до зоны Мохоровичича и способны зарегистрировать геофизические процессы регионального масштаба. При разнесении интерферометров на расстояния порядка  $10^{(3)} - 10^{(4)}$  км в зону их чувствительности входят процессы глобальных масштабов, затрагивающие глубинные слои Земли, а также возмущения в земной атмосфере и Мировом океане. Представляемые результаты охватывают 20-летний период наблюдений, выполненных в 2003–2023 г. лазерными деформографами,

основанными на двух базовых схемах: модифицированный двухлучевой интерферометр Майкельсона с пространственным разнесением прямого и отраженного пучков и трехзеркальный лазер-интерферометр с оптической обратной связью. Используемые методы и измерительные устройства обеспечивали инструментальное абсолютное разрешение 0,1–0,001 нм на измерительных базисах от единиц до сотен метров. Интерферометры устанавливались в четырех пунктах наблюдения, расположенных в различающихся сейсмо-тектонических и геологических зонах. Два пункта наблюдения расположены в асейсмической зоне Московской синеклизы (п. Фрязино и п. Обнинск – расстояние между установками около 140 км). Полученные данные сопоставляются с результатами измерений, выполненных лазерными интерферометрами в двух других удаленных на расстоянии 6–7 тыс. км пунктах наблюдения: в прибрежной зоне Японского моря [2] и в зоне тектонического разлома у восточного побережья Камчатки [3]. Результаты параллельного анализа полученных данных показывают возможность применения предложенной методики для разделения локальных и глобальных возмущений, вызываемых мощными геофизическими явлениями – землетрясениями, ураганами и другими процессами. Работа выполнена в рамках Госзадания ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН.

### **Список литературы**

1. Amoruso A., Crescentini L. // J. Geodynamics. 2009. V. 48. N3–5. P. 120.
2. Dolgikh G. I., Dubrov M. N., Dolgikh S. G. et al. // Acta Geophys. 2006. V.54, N2, P. 187.
3. Aleksandrov D. V., Dubrov M. N., Larionov I. A. et al. // J. Volcanology and Seismology. 2019. V. 13. N3. P. 193.

### **Study of seismic-strain phenomena by system of spatially distanced laser interferometers**

Aleksandrov D. V., Dubrov M. N.

*Fryazino Branch of the Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences*

The manifestation of the Earth's seismic activity is expressed in a wide variety of forms of movement and deformation of its surface and deep layers. A standard seismic receiver located at any point on the earth's surface measures the displacement (velocity, acceleration) of this point and determines the local movements of the earth's surface near this

point. A laser interferometer used as a precision strainmeter measures the difference in the displacements of two points spaced apart in space by the length of the arm  $L$  - the measuring basis of the interferometer. The obtained measurement result  $dL$ , on the one hand, characterizes the motion of a certain area in the upper layer of the Earth to a depth of the order of  $L$ , and, on the other hand, is a differential being proportional to the spatial derivative of the displacement field, i.e. is a qualitatively new physical quantity, practically not used until now in modern seismology. Measured strain  $e = dL/L$  and is about  $e \sim 10^{(-12)}-10^{(-13)}$  for the minimum amplitudes resolved by standard geophones and the most advanced laser strainmeters [1]. The efficiency of interferometer-strainmeters can be increased by their spatial separation. Two synchronously operating instruments at a distance of about  $10^{(2)}$  km from each other are sensitive to the movements of the earth's crust at depths down to the Mohorovichich zone and are able to register geophysical processes on a regional scale. When the interferometers are separated by distances of the order of  $10^{(3)}-10^{(4)}$  km, their sensitivity zone includes global-scale processes affecting the deep layers of the Earth, as well as disturbances in the Earth's atmosphere and the World Ocean. The presented results cover a 20-year period of observations performed in 2003-2023 by laser strainmeters based on two basic schemes: a modified two-beam Michelson interferometer with spatial separation of the direct and reflected beams and a three-mirror laser-interferometer with optical feedback. The methods and measuring devices used provided an instrumental absolute resolution of 0.1-0.001 nm on measuring bases from units to hundreds of meters. The interferometers were installed at four observation points located in different seismotectonic and geological zones. Two observation points are located in the aseismic zone of the Moscow syncline (Fryazino and Obninsk - the distance between the installations is about 140 km). The data obtained are compared with the results of measurements performed by laser interferometers at two other observation points remote at a distance of 6-7 thousand km: in the coastal zone of the Sea of Japan [2] and in the zone of a tectonic fault off the eastern coast of Kamchatka [3]. The results of a parallel analysis of the obtained data show the possibility of using the proposed method to separate local and global disturbances caused by powerful geophysical phenomena - earthquakes, hurricanes and other processes.

УДК 53.082.53+621.43.06

ГРНТИ 73.34.01

ВАК 2.5.20

**Измерение выбросов загрязняющих веществ судовыми энергетическими установками методом лазерного зондирования**

Туркин В. А., Игнатенко Г. В., Беляев В. В., Зудко С. С.,  
Грякалов Н. А., Арутюнян С. А.

*Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова,  
353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93*

email: [turvta@mail.ru](mailto:turvta@mail.ru), [ignatenco.georg@yandex.ru](mailto:ignatenco.georg@yandex.ru), [bv80@yandex.ru](mailto:bv80@yandex.ru),  
[1992sergeyz@mail.ru](mailto:1992sergeyz@mail.ru), [gryakalov1989@yandex.ru](mailto:gryakalov1989@yandex.ru),  
[swetadobritskaya@gmail.com](mailto:swetadobritskaya@gmail.com)

Согласно требованиям Международной Конвенции МАРПОЛ 73/78 судовладельцы обязаны контролировать выбросы с отработавшими газами судовых энергетических установок (СЭУ) таких вредных веществ, как оксиды углерода ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), оксиды азота ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), оксиды серы ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ). На данный момент на судах транспортного флота задача по контролю выбросов указанных вредных веществ решается путем периодического замера их концентрации переносными анализаторами газов (например, testo 350). Такой подход не позволяет автоматически в режиме реального времени контролировать концентрации указанных вредных выбросов в потоке отработавших газов, движущихся в газоходах элементов СЭУ. Расширение возможностей контроля загрязнения воздушной среды с судов посредством предлагается решить реализацией лазерного метода измерения концентрации вредных выбросов в потоке отработавших газов, движущихся в газоходах элементов СЭУ. Предлагаемый лазерный измеритель концентрации вредных веществ в потоке отработавших газов СЭУ содержит источник излучения в виде лазера, прямоугольную с возможностью поворота лазерного излучения на 90 градусов треугольную призму, расположенные на одной оптической оси на расстоянии друг от друга собирающую и фокусирующую линзы, интерференционный светофильтр с максимумом пропускания на длине волны полосы комбинационного рассеяния света молекулами вредных веществ, фотоприемник, плату сбора данных, компьютер с специализированным программным обеспечением. Предложена схема судовой лазерной системы мониторинга, которая позволяет осуществлять непрерывный контроль концентрации вредных веществ, решать задачи контроля и снижения токсичности отработавших газов.

Лазерная система может работать как автономно, так и во взаимодействии с другими локальными системами диагностирования, а также в составе комплексной системы автоматизации и контроля технического состояния элементов СЭУ.

### **Measurement of pollutant emissions from ship power plants by laser sensing**

Turkin V. A., Ignatenko G. V., Belyaev V. V., Zubko S. S.,  
Gryakalov N. A., Arutyunyan S. A.

*State Maritime University named after Admiral F. F. Ushakova,*

According to the requirements of the International Convention MARPOL 73/78, shipowners are obliged to control emissions from the exhaust gases of ship power plants (SPP) of such harmful substances as carbon oxides (CO, CO<sub>2</sub>), nitrogen oxides (NO, NO<sub>2</sub>), sulfur oxides (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>). At the moment, on ships of the transport fleet, the task of controlling emissions of these harmful substances is solved by periodically measuring their concentration with portable gas analyzers (for example, testo 350). This approach does not allow automatic real-time monitoring of the concentrations of these harmful emissions in the flow of exhaust gases moving in the gas ducts of the elements of the power plant. It is proposed to solve the expansion of the possibilities for controlling air pollution from ships by implementing a laser method for measuring the concentration of harmful emissions in the exhaust gas flow moving in the gas ducts of the SPP elements. The proposed laser meter for the concentration of harmful substances in the flow of exhaust gases of the SPP contains a radiation source in the form of a laser, a rectangular triangular prism with the ability to rotate laser radiation by 90 degrees, collecting and focusing lenses located on the same optical axis at a distance from each other, an interference filter with maximum transmission at the wavelength of the band of Raman scattering of light by molecules of harmful substances, a photodetector, a data acquisition board, a computer with specialized software. A scheme of a ship's laser monitoring system is proposed, which allows continuous monitoring of the concentration of harmful substances, solving the problems of monitoring and reducing the toxicity of exhaust gases. The laser system can operate both autonomously and in cooperation with other local diagnostic systems, as well as as part of an integrated system of automation and monitoring of the technical condition of the SEU elements.

УДК 621.3728  
ГРНТИ 29.31.29  
ВАК 1.3.5

**Дистанционное измерение суммарной концентрации метана в газом сырье методом дифференциального поглощения ИК излучения**

<sup>1</sup> Аблязов Э. К., <sup>2</sup> Авдонькин А. С., <sup>2</sup> Васильев А. О.,

<sup>2</sup> Сарычев И. А., <sup>2</sup> Чартий П. В., <sup>\*2,3</sup> Шеманин В. Г.

<sup>1</sup> Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия,

<sup>2</sup> Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета,

<sup>3</sup> Филиал Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова в Новороссийске  
e-mail: \* [vshemanin@mail.ru](mailto:vshemanin@mail.ru)

Проблема качества окружающего атмосферного воздуха на предприятиях морского транспорта, связанного с хранением и транспортировкой газа, нефти и нефтепродуктов, перешло в разряд таких же проблем, как и в нефтегазовой отрасли [1–3]. Основным источником воздушных выбросов на предприятиях нефтегазовой отрасли являются испарения нефтепродуктов во время хранения и сливно-наливных операций. Процесс испарения происходит при любой температуре вследствие теплого движения молекул нефтепродукта. В герметичном резервуаре процесс испарения происходит до тех пор, пока газовое пространство емкости хранения над жидкостью не будет заполнено насыщенным паром. Целью настоящей работы является разработка лазерной системы дифференциального поглощения в средней области ИК спектра поглощения для дистанционного измерения суммарной концентрации предельных углеводородов в воздушных выбросах при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов [3, 4]. При этом решались вопросы метрологического обеспечения предлагаемого метода [4]. С этой целью экспериментальные измерения суммарной концентрации насыщенных паров предельных углеводородов был выполнены для различных сортов нефти на лабораторной системе и сравнивались с результатами измерений методом газовой хроматографии. Выполнена оценка погрешности системы, а экспериментальные измерения суммарной концентрации предельных углеводородов различной нефти позволяют заключить, что предложенная

система позволяет получать результаты измерений суммарной концентрации метана в пределах установленной относительной погрешности 25 % и диапазоне концентрации до 60 г/м<sup>3</sup>. Применение такой системы дифференциального поглощения в средней области ИК спектра поглощения позволит выполнять автоматический непрерывный мониторинг концентрации метана в реальном времени с целью управления технологическим процессом на газозове, а также мониторинг эксплуатации инженерно-технических средств по сокращению потерь [3].

### Список литературы

1. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Дистанционное лазерное зондирование углеводородов в атмосфере. // Письма в Журнал технической физики. 2001. Т.27. №21. С. 71–75.
2. Privalov V. E., Shemanin V. G. Lidar Probing of a Mixture of Hydrogen Sulfide and Methane Molecules in the Atmosphere from a Flying Platform. // Optics and Spectroscopy. 2019. V.127. No.6. P. 1177–1181. doi: 10.1134/S0030400X19120191.
3. Vasilyev A. O., Charity P. V., Shemanin V. G. IR detector for hydrocarbons concentration measurement in emissions during petroleum and oil products storage and transportation. // Proc. SPIE. 2011. V. 8155. P. 81550T-1-81550T-10
4. Васильев А. О., Чартий П. В., Шеманин В. Г. Метрологическое обеспечение инфракрасного детектора выбросов углеводородов в атмосферу. // [Безопасность в техносфере](#). 2012. Т.1. №5. С. 19–24.

### Remote measurement of the total methane concentration in the gas feedstock by differential absorption of IR radiation

- <sup>1</sup> Abyazov E. K., <sup>2</sup> Avdonkin A. S., <sup>2</sup> Vasiliev A. O., <sup>2</sup> Sarychev I. A.,  
<sup>2</sup> Chartiy P. V., <sup>2,3</sup> Shemanin V. G.

<sup>1</sup> *Admiral F. F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, Russia,*

<sup>2</sup> *Novorossian Polytechnic Institute (branch) of Kuban State Technological University, Novorossiysk, Russia,*

<sup>3</sup> *Branch of V.G. Shukhov Belgorod State Technological University in Novorossiysk, Novorossiysk, Russia*

The problem of air quality at marine transport enterprises associated with the storage and transportation of gas, oil and petroleum products has become the same problems as in the gas and oil industry [1-3]. The main source of air emissions at oil and gas enterprises is the evaporation of oil and petroleum products

during storage and loading operations. The evaporation process occurs at any temperature due to the thermal motion of the petroleum product molecules. In a sealed tank, the evaporation process takes place until the gas space of the storage vessel above the liquid is filled with saturated steam. This work purpose was to develop a laser differential absorption system in the middle IR absorption spectrum for remote measurement of the total concentration of hydrocarbons in air emissions during storage and transportation of oil and petroleum products [3, 4]. At the same time, the issues of metrological support of the proposed method were solved [4]. To this end, experimental measurements of the total saturated hydrocarbon vapor concentration were performed for various grades of oil on the laboratory system and compared with the results of measurements by gas chromatography. The system error was evaluated, and experimental measurements of the total concentration of limit hydrocarbons of various oils make it possible to conclude that the proposed system allows to obtain the results of measurements of the total methane concentration within the established relative error of 25 % and the concentration range up to 60 g/m<sup>3</sup>. The use of such a differential absorption system in the middle IR absorption spectrum will allow automatic continuous monitoring of methane concentration in real time in order to control the process in the gas tank, as well as monitoring the operation of engineering equipment to reduce losses [3].

УДК 621.3728  
 ГРНТИ 29.31.29  
 ВАК 1.3.19

### Уравнение для аэрозольного лидара с учётом неоднородности атмосферы

<sup>1</sup> Воронина Э. И., <sup>2</sup> Колпакова Е. В., <sup>2</sup> Чербачи Ю. В.,  
<sup>\*1,2</sup> Шеманин В. Г.

<sup>1</sup> *Новороссийский политехнический институт (филиал) КубГТУ*  
<sup>2</sup> *Филиал БГТУ им. В. Г. Шухова в Новороссийске*

В продолжение работ [1, 2] учтём в лидарном уравнении типа [1] неоднородность реальную атмосферы. Лидарное уравнение для рассеяния Ми в направлении назад для линии генерации лазера конечной полуширины  $\Gamma$  запишем, как и в [1], в виде

$$P(v, z) = \frac{c\tau_L}{2} \frac{1}{z^2} S_0 G(z) \frac{P_0}{\sqrt{2\pi}\Gamma} \times \int_{v_0-\Gamma}^{v_0+\Gamma} e^{-2 \int_0^z \alpha(v, z') dz'} \sigma(\pi, v, z) A(v) e^{-\frac{(v-v_0)^2}{2\Gamma^2}} dv. \quad (1)$$

Рассмотрим решение уравнения (1) при следующих предположениях. Будем считать, что длина волны зондирующего излучения такова, что поглощение молекулами атмосферных газов пренебрежимо мало по сравнению с рассеянием [3]. Кроме того, введем в соответствии с [4] лидарное отношение в виде

$$b(v, z) = \frac{\sigma(\pi, v, z)}{\alpha(v, z)}, \quad (2)$$

которое также является функцией частоты лазерного излучения и расстояния зондирования. Перепишем уравнение (1), используя выражение для лидарного отношения (2), в виде

$$z^2 P(v, z) = CG(z) \times \int_{v_0-\Gamma}^{v_0+\Gamma} e^{-2 \int_0^z \alpha(v, z') dz'} b(v, z) \alpha(v, z) A(v) e^{-\frac{(v-v_0)^2}{2\Gamma^2}} dv, \quad (3)$$

где обозначена калибровочная константа лидара  $C = \frac{c\tau_L}{2} S_0 \frac{P_0}{\sqrt{2\pi}\Gamma}$ .

Аппроксимируем аппаратную функцию Гауссовой кривой с единичной амплитудой вида

$$A(v) = e^{-\frac{(v-v_0)^2}{2\Gamma_a^2}}.$$

Учитывая, что  $\Gamma_a > \Gamma$  можно положить, что последняя экспонента в (1) равна 1 и, считая  $b(v, z) \approx b(z)$  и  $\alpha(v, z) \approx \alpha(z)$ , т. е.

практически не зависящими от частоты и в исследуемом диапазоне  $2\Gamma_a$ , а так же обозначая  $v - v_0 = x$ , перепишем уравнение (3) в виде:

$$z^2 P(v, z) = CG(z)b(z)\alpha(z)\exp\left[-2 \int_0^z \alpha(r)dr\right] \int_{-\Gamma_a}^{\Gamma_a} e^{-\frac{x^2}{2\Gamma_a^2}} dx \quad (4)$$

Преобразуем последнюю экспоненту в (4), используя интеграл ошибок  $\operatorname{erf}(z)$  [5], и получим значение этого интеграла  $0.83\Gamma_a$ . Теперь вернёмся к первому интегралу по  $r$ . Предположим, что трасса неоднородной трассы и на каждом шаге по расстоянию  $\Delta z$  по измеренному  $\sigma(v, z)$  будем рассчитывать  $\alpha(v, z)$  по уравнению (2). Для каждого значения  $\alpha_i(v, z)$  будем брать значения  $\sigma_{i-1}(v, z)$  и  $b_{i-1}(v, z)$  из предыдущего шага. Тогда из уравнения (4), вводя так называемую лидарную  $S$  - функцию вида  $S(z) = z^2 P(v, z) / G(z)$  [4], имеем

$$S(v, z) = C\sigma(z)\exp\left[-2 \sum_{i=1}^n \{[\sigma(z)/b(z)]z\}0.63\Gamma_a\right]. \quad (5)$$

В итоге получаем лидарное уравнение для однократного упругого рассеяния, алгоритм решения которого в настоящее время тестируется.

### Список литературы

1. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. [Уравнение лазерного зондирования для реального аэрозольного лидара](#) // Фотоника. 2013. №2(38), С. 72-78
2. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Лидарное уравнение с учетом конечной ширины линии генерации лазера // Известия РАН. Серия Физическая. 2015. Т. 79. № 2. С. 170-180.
3. Зуев В. Е., Кауль Б. В., Самохвалов И. В., Кирков К. И., Цанев В. И. Лазерное зондирование промышленных аэрозолей. Новосибирск: Наука. 1986. 186 с.
4. Донченко В. А., Кабанов М. В., Кауль Б. В., Самохвалов И. В. Атмосферная электрооптика. Томск: Изд-во НТЛ. 2010. С. 178-181
5. Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф. Специальные функции. М.: Наука. 1968. -344 с.

**Remote measurement of the total methane concentration in the gas feedstock by differential absorption of IR radiation**

<sup>1</sup> Ablyazov E. K., <sup>2</sup> Avdonkin A. S., <sup>2</sup> Vasiliev A. O., <sup>2</sup> Sarychev I. A.,  
<sup>2</sup> Chartiy P. V., <sup>2,3</sup> Shemanin V. G.

<sup>1</sup> *Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, Russia,*

<sup>2</sup> *Novorossian Polytechnic Institute (branch) of Kuban State Technological University, Novorossiysk, Russia,*

<sup>3</sup> *Branch of V.G. Shukhov Belgorod State Technological University in Novorossiysk, Novorossiysk, Russia*

The problem of air quality at marine transport enterprises associated with the storage and transportation of gas, oil and petroleum products has become the same problems as in the gas and oil industry [1-3]. The main source of air emissions at oil and gas enterprises is the evaporation of oil and petroleum products during storage and loading operations. The evaporation process occurs at any temperature due to the thermal motion of the petroleum product molecules. In a sealed tank, the evaporation process takes place until the gas space of the storage vessel above the liquid is filled with saturated steam. This work purpose was to develop a laser differential absorption system in the middle IR absorption spectrum for remote measurement of the total concentration of hydrocarbons in air emissions during storage and transportation of oil and petroleum products [3, 4]. At the same time, the issues of metrological support of the proposed method were solved [4]. To this end, experimental measurements of the total saturated hydrocarbon vapor concentration were performed for various grades of oil on the laboratory system and compared with the results of measurements by gas chromatography. The system error was evaluated, and experimental measurements of the total concentration of limit hydrocarbons of various oils make it possible to conclude that the proposed system allows to obtain the results of measurements of the total methane concentration within the established relative error of 25 % and the concentration range up to 60 g/m<sup>3</sup>. The use of such a differential absorption system in the middle IR absorption spectrum will allow automatic continuous monitoring of methane concentration in real time in order to control the process in the gas tank, as well as monitoring the operation of engineering equipment to reduce losses [3].

УДК 535.621(075.8)

ГРНТИ 29.31.29

ВАК 1.3.19

### **Лидар комбинационного рассеяния света для зондирования молекул аммиака в атмосфере**

<sup>1</sup> Привалов В. Е., <sup>2,3</sup> Шеманин В. Г.

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Филиал БГТУ им. В. Г. Шухова в Новороссийске

<sup>3</sup> НИИ (филиал) КузГТУ

e-mail: \* [vaepriv@yandex.ru](mailto:vaepriv@yandex.ru)

Аммиак относится к числу важнейших продуктов химической промышленности, ежегодное его мировое производство превышает 180 млн. тонн. При нормальных условиях, аммиак — это бесцветный газ с резким характерным запахом. Токсичен, ПДК составляет 0,04 мг/м<sup>3</sup> — 4-й класс опасности в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 [1, 2]. В целом, химическое загрязнение атмосферы относится к наиболее опасным факторам для жизни человека. И среди главных источников химического загрязнения являются отходы, образующиеся при эксплуатации транспорта, при сжигании топлива, а также промышленные и другие отходы, в том числе аммиак (NH<sub>3</sub>). В работе выполнена оценка возможности применения лидара комбинационного рассеяния света для дистанционного измерения уровней концентраций аммиака порядка ПДК и выше. Для этого было выполнено компьютерное моделирование лидарного уравнения для комбинационного рассеяния света молекулами аммиака в атмосфере на заданном уровне и на расстояниях зондирования до 100 м в режиме синхронного счёта фотонов для выбора оптимальных параметров такого лидара. В работе [3] было предложено лидарное уравнение для комбинационного рассеяния света газовыми молекулами в атмосфере с учётом конечной ширины линии генерации. Используя его, оценим возможность измерений лидаром комбинационного рассеяния света концентраций исследуемых молекул в атмосфере на заданном уровне в направлении назад и на расстояниях зондирования до 100 м в режиме синхронного счёта фотонов для выбора оптимальных параметров такого лидара. Оптическая схема лидара комбинационного рассеяния света построена, как и в [1, 3, 4]. В качестве зондирующего — используется излучение третьей и второй гармоники YAG-лазера с накачкой полупроводниковым лазером с длиной волн 355 и

532 нм и полупроводниковых лазеров с длинами волн 405 и 675 нм с длительностью импульсов 10 нс и энергиями в импульсе до 1 мДж при частоте следования лазерных импульсов  $f$  до 100 кГц [4]. Выполним компьютерное моделирование лидарного уравнения комбинационного рассеяния света в направлении назад в режиме счёта фотонов в виде [3] и будем рассматривать однократное комбинационного рассеяния света в однородную атмосферу. Основные параметры исследуемых молекул, атмосферы и фотоприёмников взяты из [1, 3–5]. Возьмём исследуемые молекулы аммиака с концентрациями равными ПДК и по результатам моделирования оценим наименьшее время измерения, которое получилось на длине волны лазерного излучения 355 нм. Оно возрастает с 1,24 с на расстоянии 10 м до 129,49 с – на 100 м. А наибольшее время измерения требуется для длины волны лазерного излучения 675 нм – 31 с на расстоянии 10 м и 3167 с (или почти 53 мин) – на 100 м. Таким образом, есть возможность выбора оптимальных длины волны лазерного излучения и параметров такого лидара для зондирования в атмосфере молекул  $\text{NH}_3$ . Всё определяется уровнем концентрации исследуемых молекул и требуемым расстоянием зондирования.

### Список литературы

1. Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. СПб.: Лань, 2013. 288 с.
2. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.3492-17 (с изменениями на 31 мая 2018 года). Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. 51с.
3. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Лидарное уравнение с учетом конечной ширины линии генерации лазера. //Известия РАН. Серия Физическая. 2015. Т. 79. № 2. С. 170–180.
4. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987. – 550 с.
5. Privalov V. E., Shemanin V. G. On the selection of a radiation source for one of the problems of laser probing // Optics and Spectr. 1997. V. 82. No. 4. P. 650–652.

### Raman light scattering lidar for probing ammonia molecules in the atmosphere

<sup>1</sup> Privalov V. E., <sup>2,3</sup> Shemanin V. G.

<sup>1</sup> St Petersburg Peter the Great Polytechnic University

<sup>2</sup> Branch of V.G. Shukhov Belgorod State Technological University in Novorossiysk, Novorossiysk, Russia

<sup>3</sup> *Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) of Kuban State Technological University, Novorossiysk, Russia*

Ammonia is one of the most important products of the chemical industry, its annual global production exceeds 180 million tons. Under normal conditions, ammonia is a colorless gas with a sharp characteristic smell, toxic, MPC is 0.04 mg/m<sup>3</sup> - hazard class 4 in accordance with GOST 12.1.007-76 [1, 2]. In general, chemical pollution of the atmosphere belongs to the most dangerous factors for human life. And among the main sources of chemical pollution are waste generated during the operation of transport, the fuel combustion, as well as industrial and other waste, including ammonia (NH<sub>3</sub>). The Raman lidar equation for gas molecules in the atmosphere has been proposed in [3], taking into account the finite width of the lasing line. Using it, we will evaluate the possibility of measuring by Raman lidar the concentration level of the studied molecules in the atmosphere in the backward direction and at probing distances up to 100 m in the synchronous photon counting mode to select the optimal parameters of such a lidar. The Raman lidar optical layout was constructed as in [1, 3, 4] with the probing radiation of the third and second harmonics YAG: Nd-laser with pumping by a semiconductor laser at the 355 and 532 nm wavelengths and semiconductor lasers at the 405 and 675 nm wavelengths with a pulse duration of 10 ns and pulse energies up to 1 mJ at a laser pulse repetition rate up to 100 kHz is used [4]. Let's perform a computer simulation of the Raman lidar equation in the form of [3] and consider a single Raman scattering and a homogeneous atmosphere. The main parameters of the studied molecules, atmosphere and photodetectors were taken from [1, 3-5]. The studied ammonia molecules concentration was equal to MPC. We will estimate from the results of simulation the shortest measurement time, which was obtained at a laser radiation at the 355 nm wavelength. It increases from 1.24 s at the ranging distance of 10 m to 129.49 s – at 100 m. And the longest measurement time is required for 675 nm laser wavelength – 31 s at a distance of 10 m and 3167 s (or almost 53 minutes) – per 100 m. Thus, it is possible to select the optimal wavelength of laser radiation and the such a lidar parameters for NH<sub>3</sub> molecules in the atmosphere probing. They are determined by the concentration level of the studied molecules and the required ranging distance.

УДК 535.621(075.8)

ГРНТИ 29.31.29

ВАК 1.3.19

### **Лидарные дистанционные измерения концентрации молекул меркаптанов в атмосфере**

<sup>1</sup> Авдонькин А. С., <sup>1</sup> Воронина Э. И., <sup>1</sup> Закалова Е. Ю., <sup>1</sup> Сарычев П. И.,  
<sup>\*1,2</sup> Шеманин В. Г.

<sup>1</sup> *НПИ (филиал) КузГТУ, Новороссийск*

<sup>2</sup> *Филиал БГТУ им. В. Г. Шухова в Новороссийске*

*\*e-mail: [vshemanin@mail.ru](mailto:vshemanin@mail.ru)*

Одним из методов мониторинга молекул меркаптанов в атмосфере может быть лазерное зондирование исследуемых молекул для дистанционного измерения концентрации этих молекул с уровнем от предельно-допустимой концентрации ПДК и выше, причем значение ПДК и рассмотрим в качестве параметра уровня их концентрации [1, 2]. Целью настоящей работы является сравнение результатов компьютерного моделирования лидаров комбинационного рассеяния света и дифференциального поглощения и рассеяния для дистанционного измерения концентрации этих молекул на уровне ПДК и выше на расстояниях до 5 км и определения оптимальных параметров таких лидаров. В работах [3, 4, 5] было предложено лидарное уравнение для комбинационного рассеяния света газовыми молекулами в атмосфере с учетом конечной ширины лазерной линии. А в [5] подробно рассмотрено лидарное уравнение для дифференциального поглощения и рассеяния газовыми молекулами в атмосфере. Используя их и уточнив как в [3, 4] оценим возможность лидарных измерений концентраций исследуемых молекул на заданном уровне при горизонтальном зондирования на расстояниях до 5 км в режиме синхронного счета фотонов. Лидар комбинационного рассеяния света собран по схеме [3, 6] и в качестве зондирующего используется излучение третьей и второй гармоник YAG: Nd-лазера с длинами волн 355 и 532 нм с длительностью импульсов 10 нс и энергией в импульсе до 10 мДж при частоте следования лазерных импульсов  $f$  до 1 МГц [1] и излучение газового лазера на парах меди с длиной волны 510 нм с длительностью импульсов 20 нс и энергией в импульсе до 10 мДж при частоте следования лазерных импульсов  $f$  до 500 кГц [1]. Результаты компьютерного моделирования такого лидар показали, что наименьшее время измерения получается для

молекулы  $\text{H}_2\text{S}$  для измерения концентрации на уровне ПДК в полосе  $2611\text{ см}^{-1}$  для расстояния 50 м – 1,464 с и для 100 м – 6,021 с. Далее идёт молекула  $\text{CH}_4\text{S}$  в полосе  $2573\text{ см}^{-1}$  с временем измерения для расстояния 50 м – 2,757 с и для 100 м – 11,33 с. Время измерения для молекул  $\text{C}_3\text{H}_8\text{S}$  в полосе  $2570\text{ см}^{-1}$  на расстоянии зондирования 50 м – 174,4 с, а для расстояния 100 м – 717,2 с соответственно. И наконец, для молекулы этантиола  $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$  время измерения на тех же расстояниях – 427,3 с и 1757 с. Если мы ограничим время измерения величиной 10 мин, то последние две молекулы пропантиола и этантиола можно зарегистрировать на уровне ПДК только до расстояний зондирования 91,5 м и до 59 м соответственно. В лидаре дифференциального поглощения и рассеяния используется двухволновой излучатель. В нашем варианте [5] для зондирования молекул меркаптанов используется лазерное излучение на длине волны 3,9 мкм в максимуме полосы поглощения молекулы метантиола  $\text{CH}_4\text{S}$  [5]. Оно получается в результате накачки параметрического генератора в ИК диапазоне второй гармоникой лазера на АИГ: Nd с длиной волны 532 нм. Лазерное излучение вне этой полосы поглощения было взято на длине волны 3,7 мкм второго параметрического генератора, чтобы попасть в область прозрачности атмосферы [5]. Выполненное компьютерное моделирование показало, что концентрации исследуемых молекул метантиола на уровне ПДК можно измерить таким лидаром на трассе зондирования для с 0,625 до 5,0 км, а для пропантиола и этантиола – с 1 до 5 км. Как оказалось, решающим становится выбор полуширины интерференционных светофильтров при минимальной ширине линий генерации лазера. Таким образом, есть возможность выбрать оптимальные параметры лазера и лидаров зондирования в атмосфере исследуемых молекул и достичь максимального расстояния зондирования в 5 км.

### Список литературы

1. Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. СПб.: Лань, 2013. 288 с.
2. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.3492-17 (с изменениями на 31 мая 2018 года). Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. 51с.
3. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Лидарное уравнение с учетом конечной ширины линий генерации лазера // Известия РАН. Серия Физическая. 2015. Т. 79. № 2. С. 170-180.

4. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Учет ширины линии лазерного излучения в лидарном уравнении для комбинационного рассеяния света // Оптический журнал. 2015. Т.82. №9 С.11-15
5. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Мониторинг молекул сероводорода в атмосферном пограничном слое лидаром дифференциального поглощения и рассеяния из космоса. // Оптический журнал. 2018. Т.85. Вып.4. С. 49 – 52.
- 6 Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Дистанционное лазерное зондирование углеводородов в атмосфере. // Письма в ЖТФ. 2001. Т.27. Вып.21. С. 71-75.

#### **Lidar remote measurements of the concentration of mercaptan molecules in the atmosphere**

<sup>1</sup> Avdonkin A. S., <sup>1</sup> Voronina E. I., <sup>1</sup> Zakalova E. Yu., <sup>1</sup> Sarychev P. I.,  
<sup>1,2</sup> Shemanin V. G.

<sup>1</sup> *Novorossian Polytechnic Institute (branch) of Kuban State Technological University, Novorossiysk, Russia,*

<sup>2</sup> *Branch of V.G. Shukhov Belgorod State Technological University in Novorossiysk, Novorossiysk, Russia*

One of the methods of monitoring mercaptan molecules in the atmosphere can be laser sounding of the studied molecules to remotely measure the concentration of these molecules with a level from the maximum permissible concentration of MAC and above, and consider the value of MAC and consider their concentration level as a parameter [1, 2]. The purpose of this work is to compare the results of computer modeling of Raman light scattering lidars and differential absorption and scattering to remotely measure the concentration of these molecules at MAC and above at distances up to 5 km and determine the optimal parameters of such lidars [3, 4, 5] proposed a lidar equation for the Raman scattering of light by gas molecules in the atmosphere, taking into account the finite width of the laser line. And [5] details the lidar equation for differential absorption and scattering by gas molecules in the atmosphere. Using them and specifying as in [3, 4] we will evaluate the possibility of lidar measurements of the concentrations of the studied molecules at a given level during horizontal sounding at distances up to 5 km in the mode of synchronous counting of photons.

The Raman lidar is assembled according to the scheme [3, 6] and the radiation of the third and second harmonics YAG Nd-lasers with wavelengths of 355 and 532 nm with pulse duration of 10 ns and

energy in pulse up to 10 mJ at repetition frequency of laser pulses  $f$  up to 1 MHz [1] is used as a probing one and the gas laser radiation on copper vapour with wavelength of 510 nm with pulse duration of 20 ns and energy in pulse up to 10 mJ at repetition frequency of laser pulses  $f$  up to 500 kHz [1]. The computer simulation results of such lidar showed that the shortest measurement time is obtained for the  $\text{H}_2\text{S}$  molecule to measure concentration at the MAC level in the  $2611\text{ cm}^{-1}$  band for a distance of 50 m – 1.464 s and for 100 m – 6.021 s. Next comes the  $\text{CH}_4\text{S}$  molecule in the  $2573\text{ cm}^{-1}$  band with a measurement time for a distance of 50 m – 2.757 s and for 100 m – 11.33 s. Measurement time for  $\text{C}_3\text{H}_6\text{S}$  molecules in strip  $2570\text{ cm}^{-1}$  at a probing distance of 50 m – 174.4 s, and for a distance of 100 m – 717.2 s, respectively. And finally, for the ethanethiol molecule,  $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$  measurement time at the same distances is 427.3 s and 1757 s. If we limit the measurement time to 10 minutes, then the last two propanethiol and ethanethiol molecules can be recorded at the MAC level only to probing distances of 91.5 m and up to 59 m, respectively. The differential absorption and scattering lidar uses a two-wave emitter. In our version [5], laser radiation at a wavelength of  $3.9\text{ }\mu\text{m}$  in the maximum absorption band of the methanethiol molecule  $\text{CH}_4\text{S}$  [10] is used to probe mercaptan molecules. It is obtained by pumping a parametric generator in the IR range with the second harmonic of an YAG: Nd laser with a wavelength of 532 nm. Laser radiation outside this absorption band was taken at a wavelength of  $3.7\text{ }\mu\text{m}$  of the second parametric generator to fall into the transparency region of the atmosphere [5]. The performed computer simulation showed that the concentrations of the tested methanethiol molecules at the MAC level can be measured with such lidar on the probing route for 0.625 to 5.0 km, and for propanethiol and ethanethiol – from 1 to 5 km. As it turned out, the choice of the half-width of interference filters with the minimum width of the laser generation lines becomes decisive. Thus, it is possible to select the optimal parameters of the laser and probing lidars in the atmosphere of the studied molecules and achieve a maximum probing distance of 5 km.

УДК 535.621(075.8)

ГРНТИ 29.31.29

ВАК 1.3.19

### **Лидар комбинационного рассеяния света для организации карбоновых полигонов**

<sup>1</sup> Дьяченко В. В., <sup>2</sup> Девисилов В. А., <sup>3</sup> Привалов В. Е.,  
<sup>1,4</sup> Шеманин В. Г.

<sup>1</sup> *НПИ (филиал) КудГТУ, Новороссийск, Россия*

<sup>2</sup> *МГТУ им. Н. Э. Баумана*

<sup>3</sup> *СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург*

<sup>4</sup> *Филиал БГТУ им. В. Г. Шухова в Новороссийске*

e-mail: \* [v-v-d@mail.ru](mailto:v-v-d@mail.ru)

Обостряющиеся проблемы загрязнения окружающей среды и очевидное изменение глобального климата актуализируют наблюдения за динамикой техногенных выбросов и разработку мер по их снижению. В 2021 г. вышло распоряжение Правительства России, утверждающее перечень климатически активных газов (КАГ) с пересчетом их вклада в парниковый эффект через условные углеродные единицы, то есть с оценкой степени влияния каждой молекулы вещества на окружающую среду.

В работе сделаны оценки возможности применения лидара комбинационного рассеяния света (КРС) для дистанционного определения уровней концентраций основных КАГ из указанного выше распоряжения о перечне КАГ, подлежащих учету в выбросах предприятий и ведению кадастра парниковых газов, которое содержит 33 наименования. Среди них как газы – макрокомпоненты атмосферы, давно признанные в качестве парниковых –  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NF}_3$  и  $\text{SF}_6$ , а также более двух десятков экзотических газов под общим названием гидрофторуглероды и перфторуглероды [1]. Мы рассмотрим возможность мониторинга самых распространенных гидрофторуглеродов с наибольшим парниковым эффектом [1].

Так как требуется определять значительно более низкие концентрации, для оценки возможности этого было выполнено компьютерное моделирование лидарного уравнения для КРС молекулами КАГ. В работе [2] было предложено лидарное уравнение для КРС газовыми молекулами в атмосфере с учетом конечной ширины линии генерации. Использование его, оценена возможность измерений лидаром КРС концентраций исследуемых молекул в атмосфере на заданном уровне и на расстояниях

зондирования до 100 м в режиме синхронного счета фотонов для выбора оптимальных параметров такого лидара.

Рассмотрим молекулы КАГ, дающие основной вклад в карбоновый цикл, с учётом их содержания в атмосфере [3]. Основные параметры исследуемых молекул приведены в [4]. Для определения реальности зондирования рассмотрим самый сложный вариант – в атмосфере присутствуют сразу все десять исследуемых молекул, а молекула азота используется в качестве репера, как и в [1]. По этим данным была выполнена компьютерная реконструкция спектра КРС молекулами газовой смеси и показана возможность регистрации полос КРС всех молекул одновременно. Оптическая схема лидара комбинационного рассеяния света построена, как и в [1, 2]. В качестве зондирующего – используется излучение третьей и второй гармоники YAG:Nd-лазера с накачкой полупроводниковым лазером с длинами волн 355 и 532 нм и полупроводниковых лазеров с длинами волн 405 и 785 нм с длительностью импульсов 10 нс и энергиями в импульсе до 1 мДж при частоте следования лазерных импульсов  $f$  до 1 МГц [3].

Выполним компьютерное моделирование лидарного уравнения КРС в направлении назад в режиме счета фотонов в виде [2] и будем рассматривать однократное КРС в однородную атмосферу [3]. Основные параметры исследуемых молекул, атмосферы и фотоприемников приведены в [4]. Далее возьмем все исследуемые молекулы с концентрациями равными половине ПДК, а для молекул азота и углекислого газа взята половина их фоновой концентрации в атмосфере. По результатам моделирования наименьшее время измерения получилось для молекул  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ , причём для молекулы метана время изменения возрастает с 0,77 мкс на расстоянии 10 м до 80 мкс – на 100 м. И последняя в этом ряду молекула  $\text{SF}_6$ , для измерения которой требуется время порядка 1009 с из-за низкого уровня ПДК и поэтому необходимо увеличить частоту следования лазерных импульсов до 10 МГц.

Таким образом, есть возможность выбора оптимальных параметров лазера и лидара КРС для одновременного зондирования в атмосфере всех рассмотренных молекул КАГ. Все их можно определять на расстоянии до 100 м но при этом диапазон времени измерений будет очень широким – от 0,77 мкс до 1009 с.

### Список литературы

1. Дьяченко В. В., Девисилов В. А., Шеманин В. Г. Лидарная технология измерения климатически активных газов для

карбоновых полигонов // Экология и промышленность России, 2023 Т. 27 № 6 С. 30–35. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-6-30-35

2. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Лидарное уравнение с учетом конечной ширины линии генерации лазера // Известия РАН. Серия Физическая. 2015. Т. 79. № 2. С. 170–180.

3. Донченко В. А., Кабанов М. В., Кауль Б. В., Самохвалов И. В. Атмосферная электрооптика.– Томск: Изд. НТЛ, 2010 – 220с.

4. Дьяченко В. В., Шеманин В. Г. Лидарный мониторинг парниковых газов в атмосфере // Лазеры. Измерения. Информация. 2022. Т. 2. No 04 (08), С. 015–029. извлечено от <https://lasers-measurement-information.ru/ojs/index.php/laser/article/view/48> doi: 10.51639/2713-0568\_2022\_2\_3\_34 С.15–29

### **Raman Lidar for Carbon Polygons arranging**

<sup>1</sup> Dyachenko V. V., <sup>2</sup> Devisilov V. A., <sup>3</sup> Privalov V. E.,

<sup>1,4</sup> Shemanin V. G.

<sup>1</sup> *Novorossian Polytechnic Institute (branch) of Kuban State Technological University, Novorossiysk, Russia,*

<sup>2</sup> *N.E. Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia,*

<sup>3</sup> *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia,*

<sup>4</sup> *Branch of V.G. Shukhov Belgorod State Technological University in Novorossiysk, Novorossiysk, Russia*

e-mail: \* v-v-d@mail.ru

Worsening environmental pollution problems and apparent global climate change are actualizing observations of the dynamics of man-made emissions and the development of measures to reduce them. In 2021, an order of the Russian Government was issued approving a list of climatically active gases (CAG) with a recalculation of their contribution to the greenhouse effect through conditional carbon units, that is, with an assessment of the degree of influence of each molecule of the substance on the environment.

The purpose of this work is to assess the possibility of using Raman lidar to remotely determine the concentration levels of the main CAG from the above-mentioned order on the list of CAG subject to accounting for emissions of enterprises and maintaining a greenhouse gas inventory, which contains 33 names. Among them, as gases – the macro components of the atmosphere, long recognized as greenhouse – CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NF<sub>3</sub> and SF<sub>6</sub>, as well as more than two dozen exotic gases under the general name hydrofluorocarbons

and perfluorocarbons [1]. We will consider monitoring the most common hydrofluorocarbons with the greatest greenhouse effect [1]. Consider CAG molecules, which make the main contribution to the carbon cycle, taking into account their content in the atmosphere [3]. The main parameters of the studied molecules are given in [4]. To determine the reality of probing, consider the most difficult option - all 10 studied molecules are present in the atmosphere at once, and the nitrogen molecule is used as a reference, as in [1]. According to these data, a computer reconstruction of the Raman spectrum with gas mixture molecules was carried out and the possibility of registering Raman bands of all molecules at the same time was shown. The optical circuit of the Raman lidar is constructed as in [1, 2]. As probing - radiation of the third and second harmonics YAG: Nd-laser with pumping by a semiconductor laser with wavelengths of 355 and 532 nm and semiconductor lasers with wavelengths of 405 and 785 nm with a pulse duration of 10 ns and energies in a pulse up to 1 mJ at a laser pulse repetition frequency up to 1 MHz is used [3]. We will perform a computer simulation of the Raman lidar equation in the backward direction in the photon counting mode in the form of [2] and consider a single Raman effect and a homogeneous atmosphere [3]. The main parameters of the studied molecules, atmosphere and photodetectors are given in [4]. Next, we take all the studied molecules with concentrations equal to half the MAC, and for nitrogen and carbon dioxide molecules, half of their background concentration in the atmosphere is taken. According to the simulation results, the shortest measurement time was obtained for the molecules  $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$ , for a methane molecule, the change time increases from 0.77  $\mu\text{s}$  at a distance of 10 m to 80  $\mu\text{s}$  - by 100 m. And the last in this row molecule  $\text{SF}_6$ , the measurement of which requires a time of the order of 1009 s due to the low MPC level and therefore it is necessary to take the repetition rate of laser pulses of 10 MHz.

Thus, it is possible to select the optimal parameters of the laser and the Raman lidar for simultaneous remote sensing in the atmosphere of all the considered KAG molecules. All the necessary components can be determined at a distance of up to 100 m. At the same time, the measurement time range becomes very wide - from 0.77  $\mu\text{s}$  to 1009 s.

УДК 504.064.37

ГРНТИ 87.15.15+87.17.15

ВАК 05.11.13

### **Лазерное устройство для автоматического контроля параметров аэрозольных выбросов в реальном времени**

\* Веденин Е. И., Дьяченко В. В., Сарычев И. А., Чартий П. В.  
*Новороссийский политехнический институт (филиал) КубГТУ*  
*353900, г. Новороссийск, ул. Карла Маркса, 20*  
e-mail: [svetokdojdei@mail.ru](mailto:svetokdojdei@mail.ru),

В соответствие с действующим законодательством организациям, относящимся к объектам первой категории негативного воздействия на окружающую среду необходимо осуществлять автоматический контроль выбросов в реальном времени [1]. Осуществление такого контроля возможно с помощью лазерного зондирования методом дифференциального ослабления [2]. С этой целью предлагается использовать лазерное устройство, в состав которого входят три лазера, генерирующие излучение на разных длинах волн. Посредством светоделительных стекол и зеркал лучи в виде параллельного пучка направляются сквозь поток выбросов в газоход и, отражаясь от зеркала расположенного по другую сторону газохода, направляются в обратную сторону на фотоприёмник ослабленного излучения. Зарегистрированное фотоприёмником излучение проходит последовательно через схему двойного синхронного детектирования, аналого-цифровой преобразователь и попадает в ПК [3]. Таким образом, разработанное устройство позволяет осуществлять автоматический контроль выбросов в реальном времени. При этом размещение элементов устройства за пределами газохода, прохождение лазерных лучей сквозь измерительный объём дважды и использование двойного синхронного детектирования повышают точность измерения параметров выбросов загрязняющих веществ.

### **Список литературы**

1. Федеральный закон от 21 июля 2014 г. N 219-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации"
2. Privalov V. E., Shemanin V. G. On the selection of a radiation source for one of the problems of laser probing. //Optics and Spectr. 1997. V. 82. No. 4. P. 650-652.

З. Веденин Е. И., Чартый П. В., Шеманин В. Г. Устройство для контроля параметров аэрозольных потоков. Патент РФ на полезную модель № 159104 У1 от 27.01.2016 г.

**Laser device for automatic monitoring of aerosol emissions parameters in real time**

Vedenin E. I., Dyachenko V. V., Sarychev I. A., Charty P. V.

*Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) KubGTU,*

*353900, Novorossiysk, str. Karl Marx, 20*

The organizations belonging to the facilities of the first category of negative impact on the environment must carry out automatic monitoring of emissions in real time in accordance with the current legislation [1]. Such a control can be carried out by the laser differential attenuation remote sensing [2]. For this purpose, laser instrument can be used with three lasers at the different wavelengths of radiation. The laser beams form by means of beam-splitting glass plates and mirrors the parallel beam which are directed through the gaseous aerosol flow and, reflecting from the mirror located on the other side of the gas pipe, are back directed to the photo detector of attenuated radiation. The radiation recorded by the photo detector passes sequentially through a dual synchronous detector, an ADC converter and enters to the PC [3]. Thus, the developed device allows automatic monitoring of the aerosol emissions in real time. At the same time arrangement of device layout outside the gas flow, passage of laser beams through measuring volume twice and use of double synchronous detector increase accuracy of measurement of parameters of aerosol emissions.

УДК 551.508.856

ГРНТИ 87.17.81

ВАК 1.3.6

### **Численное моделирование функционирования лидарной системы для дистанционного зондирования парниковых газов**

\* Кравцова Н. С., Садовников С. А., Яковлев С. В.  
*Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН*  
634055, Россия, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1  
email: \* [kravtsova@iao.ru](mailto:kravtsova@iao.ru), [sadsa@iao.ru](mailto:sadsa@iao.ru), [yvsv@iao.ru](mailto:yvsv@iao.ru)

Представлены результаты компьютерного моделирования функции перекрытия [1, 2] для схемы двухосного лидара с различными диаметрами светочувствительной зоны приемной части оптической системы. Анализ результатов расчёта функции перекрытия при заданных параметрах системы показал, что для надёжной регистрации лидарных сигналов с полным перекрытием апертуры телескопа и лазерного пучка в наибольшей степени подходят конфигурации с фокусировкой лазерного излучения на удалении 70–1000 м от передающего тракта. В данном случае детекторы с геометрическими размерами от 0.1 до 1 мм могут быть эффективно использованы при построении приёмной части лидара. Проведено численное моделирование лидарных сигналов для отбора оптимальных спектральных диапазонов зондирования. Моделирование проведено для условий атмосферы лета и зимы средних широт с использованием метеорологических моделей USA [3]. Результаты моделирования показали, что для полосы поглощения в спектральном диапазоне 4800...4900 см<sup>-1</sup> уровень лидарных сигналов лежит в интервале значений 10<sup>-7</sup>–10<sup>-10</sup> Вт/Гц<sup>0.5</sup>. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 22-79-10203, <https://rscf.ru/project/22-79-10203/>.

### **Список литературы**

1. Halldyrsson T. Geometrical form factors for the lidar function / Halldyrsson T., Langerholc J. // *Appl. Opt.*—1978.—V.17.—P.240–244.
2. Sicard M. Calculation of the Overlap Function and Associated Error of an Elastic Lidar or a Ceilometer: Cross-Comparison with a Cooperative Overlap-Corrected System / Sicard M., Rodriguez-Gomez A., Comeron A., Munoz-Porcar C. // *Sensors*. —2020.—V.20. 6312.— P. 1–9.
3. US standard atmosphere. National Oceanic and Atmospheric Administration, 1976.

### **Numerical simulation of the operation of the lidar system for remote sensing of greenhouse gases**

Kravtsova N. S., Sadovnikov S. A., Yakovlev S. V.  
*V. E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS  
634055, Russia, Tomsk, Academician Zuev square, 1*

The results of computer simulation of the overlap function [1, 2] for a biaxial lidar scheme with different diameters of the light-sensitive zone of the receiving part of the optical system were presented. An analysis of the results of calculating the overlap function for given system parameters showed that for reliable detection of lidar signals with full overlap of the telescope aperture and the laser beam, configurations with laser beam focusing at a distance of 70–1000 m from the transmitting path are most suitable. In this case, detectors with geometric dimensions from 0.1 to 1 mm can be effectively used in the construction of the receiving part of the lidar. Numerical modeling of lidar signals was carried out to select the optimal spectral ranges of remote sensing. The simulation was carried out for the atmospheric conditions of summer and winter of middle latitudes using meteorological models USA [3]. The simulation results showed that for the absorption band in the spectral range of 4800–4900  $\text{cm}^{-1}$ , the level of lidar signals is in the range of  $10^{-7}$ – $10^{-10}$   $\text{W}/\text{Hz}^{0.5}$ .

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation № 22-79-10203,  
<https://rscf.ru/en/project/22-79-10203/>.

УДК 520.88  
ГРНТИ 29.31.29  
ВАК 1.3.6

**Влияние потери части исходных данных на ошибку восстановления волнового фронта в адаптивной оптической системе Большого солнечного вакуумного телескопа**

\* Соин Е. Л., Лукин В. П., Копылов Е. А.

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН*

*634055, Россия, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

email: [sel@iao.ru](mailto:sel@iao.ru), [lukin@iao.ru](mailto:lukin@iao.ru), [kea@iao.ru](mailto:kea@iao.ru)

Используя ранее полученные экспериментальные данные по дрожанию фрагментов солнечных изображений, в виде последовательности кадров с камеры датчика волнового фронта Шэка-Гартмана адаптивной оптической системы, проведено исследование искусственного виньетирования матрицы субапертур датчика волнового фронта Шека-Гартмана [1, 2]. Анализировалось влияние на точность восстановленного волнового фронта во время работы датчика. Показано, что при виньетировании зрачка телескопа до 30 % ошибка восстановления волнового фронта не превышает величину  $\lambda/4$  ( $\lambda = 535$  нм). Однако замечено, что величина ошибки сильно зависит от конфигурации области перекрытия. В работе приведены примеры временной развертки первых семи полиномов Цернике (без наклонов) при различных условиях численного эксперимента, а так же представлены результаты СКО волнового фронта в различных условиях численного эксперимента. Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-42-00043.

**Список литературы**

1. Botygina N. N., Kolobov D. Yu., Kovadlo P. G., Lukin V. P., Chuprakov S. A., Shikhovtsev A. Yu. Two-Mirror Adaptive System for Correction of Atmospheric Disturbances of the Large Solar Vacuum Telescope // Atmospheric and Oceanic Optics, 2018. Vol.31. No.6. p.709–717. DOI: 10.1134/S1024856018060064.
2. Е. Л. Соин, Е. А. Копылов «Влияние виньетирования входной апертуры телескопа на ошибку восстановления волнового фронта в адаптивной оптической системе Большого вакуумного телескопа» // Труды XV международной байкальской молодежной

научной школы по фундаментальной физике. Иркутск. 11-16 сентября 2017 г.

**The effect of the loss of part of the initial data on the wavefront reconstruction error in the adaptive optical system of a Large solar vacuum Telescope**

Soin E. L., Lukin V. P., Kopylov E. A.

*V. E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS  
634055, Russia, Tomsk, Academician Zuev square, 1.*

email: [sel@iao.ru](mailto:sel@iao.ru), [kdv@iao.ru](mailto:kdv@iao.ru), [peter@iao.ru](mailto:peter@iao.ru), [lukin@iao.ru](mailto:lukin@iao.ru)

Using previously obtained experimental data on the shaking of fragments of solar images, in the form of a sequence of frames from the camera of the Shack-Hartmann wavefront sensor of an adaptive optical system, an artificial vignetting of the matrix of subapertures of the Shack-Hartmann wavefront sensor was investigated [1,2]. The influence on the accuracy of the reconstructed wavefront during sensor operation was analyzed. It is shown that when the telescope pupil is vignetted up to 30%, the wavefront reconstruction error does not exceed the value  $\lambda/4$  ( $\lambda = 535$  nm). However, it is noted that the magnitude of the error strongly depends on the configuration of the overlap area. The paper provides examples of the time sweep of the first seven Zernike polynomials (without slopes) under various conditions of numerical experiment, and also presents the results of the wave front COEX in various conditions of numerical experiment. The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project No. 23-42-00043.

УДК 551.510.42

ГРНТИ 29.33.51

ВАК 1.16.18

**Оценка скорости переноса атмосферных аэрозольных неоднородностей между двух точек наблюдений на основе лазерного корреляционного анализа**

\* Насонова А. С.

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН*

*634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

email: \* [anna.s.nasonova@gmail.com](mailto:anna.s.nasonova@gmail.com)

В 2018–2019 г. с использованием одновременно двух пространственно разнесенных лидаров «ЛОЗА–А2» и «ЛОЗА–М2» на озере Байкал проведены эксперименты по измерению скорости переноса атмосферных аэрозольных неоднородностей, располагавшихся на разных высотах, над границей раздела вода–суша. Лидар «ЛОЗА–А2» был установлен на научном судне «Академик В. А. Коптюг», стоящем на расстоянии ~ 300 м от береговой линии. Лидар «ЛОЗА–М2» располагался на суше, на стационаре в п. Боярский, на расстоянии ~ 700 м от лидара «ЛОЗА–А2». Применение одновременно двух лидаров позволило оценить скорость перемещения аэрозольных слоев в атмосфере на высотах от приземного слоя до средней тропосферы, увлекаемых локальными ветровыми потоками. Оценка времени переноса атмосферных неоднородностей осуществлялась на основе методики двухточечного временного корреляционного анализа [1]. С этой целью на языке программирования Python была написана программа обработки лидарных данных, позволяющая определять временной сдвиг между двумя полученными реализациями лидарных сигналов от нижней границы аэрозольных неоднородностей, по положению максимума взаимно корреляционной функции. Корреляционный анализ лидарных данных проводился в рамках проекта РФФ № 22–77–10043.

**Список литературы**

1. Матвиенко Г. Г., Задде Г. О., Фердинандов Э. С., Колев И. Н., Аврамова Р. П. Корреляционные методы лазерно–локационных измерений скорости ветра. Новосибирск: Наука, 1985. 223 с.

**Estimation of the movement speed of atmospheric aerosol inhomogeneities between two observation points based on laser correlation analysis**

Nasonova A. S.

*Institute of Atmospheric Optics V. E. Zuev SB RAS  
634055, Tomsk, Russia, 1, Academician Zuev square*

In 2018–2019 using simultaneously two spatially separated lidars LOSA-A2 and LOSA-M2 on Lake Baikal, experiments were carried out to measure the transfer rate of atmospheric aerosol inhomogeneities located at different heights above the water-land interface. The LOSA-A2 lidar was installed on the scientific-research vessel «Akademik V. A. Koptug», located at a distance of ~ 300 m from the coastline. The LOSA-M2 lidar was located on land, at a stationary station in the village of Boyarsky, at a distance of ~ 700 m from the LOSA-A2 lidar. The use of two lidars simultaneously made it possible to estimate the speed of movement of aerosol layers in the atmosphere at altitudes from the surface layer to the middle troposphere, carried by local wind currents. The time of transfer of atmospheric inhomogeneities was estimated based on the method of two-point temporal correlation analysis [1]. For this purpose, a lidar data processing program was written in the Python programming language, which makes it possible to determine the time shift between two received realizations of lidar signals from the lower boundary of aerosol inhomogeneities, by the position of the maximum of the cross-correlation function. The correlation analysis of lidar data was carried out within the framework of the RSF project no. 22-77-10043.

УДК 535.31+535.8

ГРНТИ 29.31.23

ВАК 1.3.6

**Разработка новых дистанционных оптико-спектроскопических методов определения биогенных аэрозолей**

\* Прокопьев В. Е., Андреев М. В., Коновалов И. Н., Панченко Ю. Н.,  
Пучикин А. В.

*Институт сильноточной электроники СО РАН*

*634055, Россия, г. Томск, пр. Академический 2/3*

email: \* prokop@ogl.hcei.tsc.ru, andreevmv\_86@mail.ru,

ivan@lgl.hcei.tsc.ru, yu.n.panchenko@mail.ru, apuchikin@mail.ru

В связи с событиями последних десятилетий связанными с мировыми пандемиями вирусных заболеваний N1H1 (2008 г.) и COVID-19 (2019 г.) следующими друг за другом через 11 лет, мониторинг биологических аэрозолей атмосферы – становится одной из актуальных проблем прогноза устойчивого развития современной цивилизации, поскольку именно атмосферный воздух и окружающая среда является глобальным и емким резервуаром, а воздушно-капельные аэрозоли основным переносчиком вирусных частиц. Глобальность объекта исследований выдвигает на первый план применение дистанционных, в первую очередь лазерно-локационных-оптических средств, получения информации о состоянии окружающей нас окружающей среды.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FWRM-2021-0014).

**Список литературы**

1. В.Е. Прокопьев. Спектры фотобиологической инактивации коронавируса SARS-CoV-2 солнечным излучением УФБ-диапазона (280–320 нм) // Оптика атмосферы и океана, 34, № 9, 2021. С. 682–688.

2. R.Lu, X.Zhao, Ju.Liet al. Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding // Lancet, 395, № 10224, 2020. P. 565–574.

**Development of new remote optical-spectroscopic methods for determining biogenic aerosols**

Prokopiev V. E., Andreev M. V., Konovalev I. N., Panchenko Yu. N.,  
Puchikin A. V.

*Institute of High Current Electronics SBRAS, 634055, Russia, Tomsk,  
Akademicheskyy Ave, 2/3*

In connection with the events of recent decades associated with the global pandemics of viral diseases N1H1 (2008) and COVID-19 (2019) following one after another in 11 years, monitoring of atmospheric biological aerosols is becoming one of the urgent problems in predicting the sustainable development of modern civilization, since it is atmospheric air and the environment that is a global and capacious reservoir, and airborne aerosols are the main carrier of viral particles. The global nature of the object of research highlights the use of remote, primarily laser-location - optical devices, to obtain information about the state of our environment.

The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (FWRM-2021-0014).

УДК 535.621(075.8)

ГРНТИ 29.31.29

ВАК 1.3.19

**Ландшафтно-геохимические особенности организации карбонового полигона «Малая Земля» для лазерного мониторинга климатически активных газов с низкими концентрациями**

\* Дьяченко В. В., Шеманин В. Г., Сарычев И. А.

*Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, Россия*

e-mail: \* [v-v-d@mail.ru](mailto:v-v-d@mail.ru)

Цель карбоновых полигонов – наблюдение за фоновыми характеристиками естественных потоков КАГ в различных биогеоценозах, обладающих неодинаковой устойчивостью, ассимиляционным потенциалом и реакцией на внешнее воздействие [1]. Их особенности определяют эмиссию и секвестрацию КАГ или, образно выражаясь – параметры «дыхания» (атмогеохимия) ландшафта. Ввиду высокого парникового вклада необходимо включить в мониторинг и самые распространенные фреоны, с наибольшим парниковым эффектом (в соответствии с Распоряжением Правительства). К перечню веществ подлежащих мониторингу целесообразно добавить пары воды и взвешенные частицы. Они играют значительную роль в парниковом эффекте, оценке состояния окружающей среды и помогут определиться с генезисом трудно объяснимых и резких флуктуаций измерений (осадки, пожары, извержения вулканов, пыльные бури и т. д.).

Для объективной оценки роли различных геосфер и биогеоценозов в формировании и секвестрации потоков КАГ такие площадки должны иметь до 3 уровней мониторинга.

Первый (основной) уровень – установка с сенсорами на высоте 2 м (стандарт Росгидромета).

Второй уровень – в траншее (рядом или даже под первым уровнем) глубиной 50...60 см и длиной не менее 15 м для отслеживания «дыхания» почвы, которая является поставщиком многих газов.

В лесных экосистемах необходим и третий уровень – над кронами деревьев (для определения результирующих параметров «дыхания» всей экосистемы), то есть на вышке высотой 10...30 м.

Таким образом, для лесных биогеоценозов необходимы три уровня наблюдения. В лугово-степных – два. А в аквально-болотных – 1. Проблема, заключается в том, что для мониторинга КАГ до сих пор не сформирован комплекс приборов, способных контролировать «дыхание» ландшафта по широкому перечню газов и необходимо применение нескольких (может быть даже более десятка) приборов. Они построены на разных физических принципах и требуют различных условий размещения и регламентов обслуживания, подготовленности персонала, энергообеспеченности и тд. Все это очень усложняет аппаратное оформление карбонового полигона, снижает оперативность измерений и повышает стоимость, как всего комплекта приборов, их монтажа, так и эксплуатации. В настоящий момент, наиболее точными и надежными признаны измерения методом вихревых ковариаций и с помощью почвенных камер, различных хроматографов и др. Такие измерения хороши для «точечных» оценок концентраций, характеризуют очень небольшую часть ландшафта по узкому перечню КАГ и предусматривают прибородор, как отдельную технологическую операцию. Когда же нужно вести непрерывный автоматизированный мониторинг суммарного потока парниковых газов целого леса или какой-то существенной площади, лучше пользоваться дистанционными средствами измерений, способными произвести интегральную оценку территории. Следует отметить, что мониторинг КАГ с низкими естественными концентрациями, должен обладать достаточно высокой точностью измерений. Поэтому, усреднение результатов замеров на некоторой дистанции (хотя бы десятки метров) повышает точность определения, по сравнению с точечным.

С целью комплексного решения данных проблем предлагается использовать возможности лазерных технологии, которые лишены перечисленных выше недостатков и позволяют обеспечить оперативность, хорошее пространственно-временное разрешение и потенциальную возможность определения всех компонентов одним прибором. Этого можно достичь лидаром, использующим метод комбинационного рассеяния света (КРС) [2–4]. В отличие от метода дифференциального поглощения и рассеяния в ИК области спектра, он не нуждается в подборе источника излучения для зондирования каждой молекулы в отдельности [4] и может интегрально оценить концентрации всех КАГ на трассе зондирования длиной в десятки и до сотни метров. Это позволит избежать ошибок, свойственных точечным измерениям (за счёт не

учтённых локальных флуктуаций различного генезиса). Поэтому, лазерные технологии являются более перспективным методом мониторинга КАГ с уровнем концентраций порядка фоновой и выше [2, 4].

Результаты наших исследований [2, 5] и анализ публикаций позволяют заключить, что можно подобрать оптимальные параметры лазера и лидара КРС для одновременного зондирования в атмосфере всех рассмотренных молекул карбонового цикла на расстояниях зондирования до 50 м. При этом, диапазон времени измерений очень широк – от 36 нс до 984 с, что усложняет одновременную запись спектров КРС всех молекул, однако этого можно добиться изменением времени измерения в процессе регистрации лидарных сигналов, что доказано экспериментами в [3, 6, 7]. Изменением времени измерения, частоты следования и энергии импульсов лазерного излучения можно достичь снижения величины минимально регистрируемой концентрации исследуемых молекул и увеличения расстояния зондирования.

Полученные результаты позволяют организовать тестовый технологический полигон на территории дендропарка НПИ (филиала) КубГТУ, размещенного на окраине Новороссийска в районе мемориала «Малая Земля». Здесь, на территории 5 га, существуют как лугово-степные, так и лесные биогеоценозы, непосредственно примыкающие к лабораторному корпусу. Таким образом, можно организовать мониторинг КАГ на всех трех урбонях. Это упрощает разработку и испытание лидарных технологий измерения концентраций парниковых газов, проведение опытной эксплуатации и совершенствование оборудования, что очень актуально для многочисленных и разнообразных ландшафтов юга России [8–10].

### Список литературы

- 1 Дьяченко В. В., Дьяченко Л. Г., Девисилов В. А. Науки о земле: Уч.– М.:НИЦ ИНФРА, 2019. – 345 с.
- 2 Дьяченко В. В., Шеманин В. Г. // Экология и промышленность России. 2021. – Т. 25. – № 10. – С. 36–42.
- 3 Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы – СПб.: Лань, 2013 –288 с.
- 4 Privalov V. E., Shemanin V. G. // Optical Memory and Neural Networks. 2018. – V. 27.- No.2.- P. 120-131.
- 5 Дьяченко В. В., Шеманин В. Г. // Лазеры. Измерения. Информация. – 2022. – Т. 2. – № 4(8). – С. 15-29

- 6 Privalov V. E., Shemanin V. G. // Measurement Techniques. 2020. – V. 63. – No. 7. – P. 543–548.
- 7 Донченко В. А., Кабанов М. В., Кауль Б. В. Атмосферная электрооптика – Томск: Изд. НТЛ, 2010. – 220с.
- 8 Дьяченко В. В. Региональные ландшафтно-геохимические исследования горной части Северного Кавказа.//Экология: Опыт. Проблемы. Поиск. Новороссийск. 1991. С. 96–100
- 9 Дьяченко В. В., Матасова И. Ю. Ландшафтно-геохимическая дифференциация юга России // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана). Доклады Всероссийской научной конференции. Москва, 18–20 октября 2016 г., М.: Географический факультет МГУ, 2016. – 32 Мб.
- 10 Дьяченко В. В., Матасова И. Ю., Дьяченко Л. Г. Картографирование геохимических ландшафтов юга России (аспекты практического использования) // География и природные ресурсы. 2019. № 3. С. 16–25

**Landscape-geochemical features of the organization of the Malaya Zemlya carbon landfill for laser monitoring of climatically active gases with low concentrations**

Dyachenko V. V., Shemanin V. G., Sarychev I. A.  
*Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) Kuban State  
Technological University, Novorossiysk, Russia,*

The purpose of carbon polygons is to observe the background characteristics of natural CAH flows in various biogeocenoses with unequal stability, assimilation potential and reaction to external influences [1]. Their features determine the emission and sequestration of CAH or, figuratively speaking, the parameters of "breathing" (atmogegeochemistry) of the landscape. Due to the high greenhouse contribution, it is necessary to include the most common freons with the greatest greenhouse effect in monitoring (in accordance with the Government Order). It is advisable to add water vapor and suspended particles to the list of substances to be monitored. They play a significant role in the greenhouse effect, assessment of the state of the environment and will help determine the genesis of difficult to explain and sharp fluctuations in measurements (precipitation, fires, volcanic eruptions, dust storms, etc.).

For an objective assessment of the role of various geospheres and biogeocenoses in the formation and sequestration of CAG flows, such sites should have up to 3 levels of monitoring.

The first (main) level is an installation with sensors at a height of 2 m (standard of Roshydromet).

The second level is in a trench (near or even under the first level) with a depth of 50...60 cm and a length of at least 15 m to track the "breathing" of the soil, which is a supplier of many gases.

In forest ecosystems, a third level is also needed – above the crowns of trees (to determine the resulting parameters of the "breathing" of the entire ecosystem), that is, on a tower with a height of 10...30 m.

Thus, three levels of observation are necessary for forest biogeocenoses. In the meadow-steppe – two. And in the water-marsh – 1.

The problem lies in the fact that a complex of devices capable of monitoring the "breathing" of the landscape for a wide list of gases has not yet been formed for monitoring the CAG, and it is necessary to use several (maybe even more than a dozen) devices. They are built on different physical principles and require different accommodation conditions and service regulations, personnel preparedness, energy supply, etc. All this greatly complicates the hardware design of the carbon landfill, reduces the efficiency of measurements and increases the cost of both the entire set of devices, their installation and operation. At the moment, the most accurate and reliable measurements are recognized by the method of vortex covariances and using soil chambers, various chromatographs, etc. Such measurements are good for "point" estimates of concentrations, characterize a very small part of the landscape according to a narrow list of CAG and provide sampling as a separate technological operation. When it is necessary to conduct continuous automated monitoring of the total greenhouse gas flow of an entire forest or some significant area, it is better to use remote measuring instruments capable of making an integral assessment of the territory. It should be noted that monitoring of CAH with low natural concentrations should have a sufficiently high measurement accuracy. Therefore, averaging the results of measurements at a certain distance (at least tens of meters) increases the accuracy of the determination, compared with the point.

In order to comprehensively solve these problems, it is proposed to use the capabilities of laser technologies, which are devoid of the disadvantages listed above and allow for efficiency, good spatial and temporal resolution and the potential for determining all components with one device. This can be achieved by lidar using the

raman light scattering (RAMAN) method [2–4]. Unlike the method of differential absorption and scattering in the IR region of the spectrum, it does not need to select a radiation source for probing each molecule separately [4] and can integrally estimate the concentrations of all CAG on the probing path of tens and up to hundreds of meters long. This will help to avoid errors inherent in point measurements (due to local fluctuations of various genesis not taken into account). Therefore, laser technologies are a more promising method of monitoring CAH with concentrations of the order of background and higher [2, 4].

The results of our research [2, 5] and the analysis of publications allow us to conclude that it is possible to select the optimal parameters of the laser and the RAMAN lidar for simultaneous sounding in the atmosphere of all the carbon cycle molecules considered at sensing distances up to 50 m. At the same time, the measurement time range is very wide – from 36 ns to 984 s, which complicates the simultaneous recording of the RAMAN spectra of all molecules, but this can be achieved by changing the measurement time during the registration of lidar signals, which is proved by experiments in [3, 6, 7]. By changing the measurement time, repetition frequency and energy of laser pulses, it is possible to achieve a decrease in the value of the minimum recorded concentration of the studied molecules and an increase in the sensing distance.

The results obtained make it possible to organize a test technological landfill on the territory of the arboretum of the NPI (branch) of KubSTU, located on the outskirts of Novorossiysk in the area of the memorial “Malaya Zemlya”. Here, on the territory of 5 hectares, there are both meadow-steppe and forest biogeocenoses directly adjacent to the laboratory building. Thus, it is possible to organize CAG monitoring at all three levels. This simplifies the development and testing of lidar technologies for measuring greenhouse gas concentrations, conducting pilot operation and improving equipment, which is very important for the numerous and diverse landscapes of southern Russia [8–10].

УДК 535.35  
ГРНТИ 29.31.26  
ВАК 01.04.05

**Дистанционное детектирование органофосфатов методом  
двухимпульсной лазерной фрагментации/лазерно-индуцированной  
флуоресценции**

<sup>1,2\*</sup> Мурашко С. Н., <sup>1,2</sup> Бобровников С. М., <sup>1,2</sup> Горлов Е. В., <sup>1</sup> Жарков В. И.,  
<sup>1,2</sup> Сафьянов А. Д.

<sup>1</sup> *Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН  
634055, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева 1*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный  
университет, 634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина 36*

email: [msn\\_17@mail.ru](mailto:msn_17@mail.ru), [bsm@iao.ru](mailto:bsm@iao.ru), [gorlov\\_e@mail.ru](mailto:gorlov_e@mail.ru),

[zharkov@iao.ru](mailto:zharkov@iao.ru), [saf@iao.ru](mailto:saf@iao.ru)

Представлены результаты по бесконтактному обнаружению фосфорорганических соединений (ФОС) методом лазерной фрагментации/лазерно-индуцированной флуоресценции на расстоянии 10 метров. Сравнение расчётных и экспериментальных положений полос флуоресценции, полученных в результате возбуждения перехода  $A^2\Sigma^+(v' = 0) - X^2\Pi(v'' = 0)$  молекул оксида фосфора, показало практически полное их совпадение. Представлен спектр возбуждения РО-фрагментов, образованных при фотодиссоциации молекул дихлофоса (ДФС) в диапазоне длин волн 247,775 нм...248 нм. Спектр напоминает результаты аналогичных измерений, полученные при исследовании РО-фрагментов триэтилфосфата (ТЭФ). Видно, что максимум возбуждения молекул приходится на длину волны 247,8 нм, когда максимальная интенсивность фрагментов ТЭФ наблюдается на длине волны 247,78 нм.

Определена зависимость интенсивности сигнала ЛИФ молекул оксида фосфора от временной задержки между фрагментирующим и зондирующим лазерными импульсами. Показано, что максимальный отклик от РО-фрагментов ДФС достигается при задержке равной 1 мкс, что отличается от результатов экспериментов с ТЭФ, где наибольшая интенсивность ЛИФ получена при задержке равной 2 мкс.

**Remote detection of organophosphates by two-pulse laser fragmentation/laser-induced fluorescence**

<sup>1,2\*</sup> Murashko S.N., <sup>1,2</sup> Bobrovnikov S.M., <sup>1,2</sup> Gorlov E.V.,

<sup>1</sup> Zharkov V.I., <sup>1,2</sup> Safyanov A.D.

<sup>1</sup>*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 634055, Russia,  
Tomsk, Academician Zuev Square 1*

<sup>2</sup>*National Research Tomsk State University  
36 Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia*

email: \* msn\_17@mail.ru, bsm@iao.ru, gorlov\_e@mail.ru,  
zharkov@iao.ru, saf@iao.ru

The results of non-contact detection of organophosphorus compounds (OPC) by laser fragmentation/laser-induced fluorescence at a distance of 10 meters are presented. Comparison of the calculated and experimental positions of the fluorescence bands obtained as a result of excitation of the transition  $A^2\Sigma^+ (V' = 0) - X^2\Pi (V'' = 0)$  of phosphorus oxide molecules showed their almost complete coincidence. The excitation spectrum of PO fragments formed during photodissociation of dichlorophos molecules (DHS) in the wavelength range of 247.775 nm...248 nm is presented. The spectrum resembles the results of similar measurements obtained during the study PO-fragments of triethyl phosphate (TEP). It can be seen that the maximum excitation of molecules occurs at a wavelength of 247.8 nm, when the maximum intensity of TEP fragments is observed at a wavelength of 247.78 nm.

The dependence of the signal intensity of the phosphorous oxide molecules on the time delay between the fragmenting and probing laser pulses is determined. It is shown that the maximum response from PO-fragments of DHS is achieved with a delay of 1 microsecond, which differs from the results of experiments with TEP, where the greatest intensity of LIF is obtained with a delay of 2 microseconds.

УДК 628.192+628.165.06

ГРНТИ 31.23.33

ВАК 1.4.9

### **Биологически активные вещества из листьев свеклы и моркови**

\* Жмырко Т. Г., Новикова Т. К., Стихова А. М.

*Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова,  
353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93*

email: \* [zhmyrko.tanya@mail.ru](mailto:zhmyrko.tanya@mail.ru), [uyunov@yandex.ru](mailto:uyunov@yandex.ru),

[stihova.am@mail.ru](mailto:stihova.am@mail.ru)

При переработке сельскохозяйственной продукции образуется большое количество отходов, которое по своей величине превышает объем выпускаемой продукции [1].

Мы изучили липиды ботвы свеклы и моркови в целях комплексной утилизации отходов, объем которых составляет более 20 % от массы исходного сырья. Для этого мы из ботвы свеклы и моркови экстракцией гексаном извлекли липиды, омылили их, выделили неомыляемые вещества, которые разделили колоночной хроматографией на силикагеле на 12 фракций [2]. Выход неомыляемых веществ – 0,5 % от ботвы свеклы и 0,4 % от ботвы моркови. Идентифицировали следующие вещества по данным ЯМР и масс-спектров: углеводороды, каротиноиды, токоферол, эфиры стероидов, изопреноидные спирты, алифатические спирты, тритерпеновые спирты, стерины.

На основании выше изложенного можно сделать вывод, что листья свеклы и моркови содержат значительное количество биологически активных компонентов, среди которых особый интерес вызывают тритерпеновые соединения.

### **Список литературы**

1. Жмырко Т. Г., Новикова Т. К. Химическое исследование липидов SOLANUM TUBEROSUM // Сборник статей VI Всероссийской научно-техн. конф. «Новые химические технологии: производство и применение». – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2004. С. 32–34.
2. Бодякова А. В., Христюк В. Т., Черненко Е. И. О путях совершенствования технологии комплексной переработки вторичных ресурсов виноделия // Индустрия напитков, № 3, 2012. С. 14–15.

### **Biologically active substances from beet and carrot leaves**

Zhmyrko T. G., Novikova T. K., Stikhova A. M.

*State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakova  
93, Lenin Ave., Novorossiysk, 353924, Russian Federation*

During the processing of agricultural products, a large amount of waste is generated, which in its magnitude exceeds the volume of manufactured products [1].

We have studied the lipids of beet and carrot tops for the purpose of complex disposal of waste, the volume of which is more than 20% of the mass of the feedstock. To do this, we extracted lipids from the tops of beets and carrots by extraction with hexane, saponified them, isolated unsaponifiable substances, which were separated by column chromatography on silica gel into 12 fractions [2]. The yield of unsaponifiable substances is 0.5 % from beet tops and 0.4 % from carrot tops. The following substances were identified by NMR and mass spectra: hydrocarbons, carotenoids, tocopherol, sterol esters, isoprenoid alcohols, aliphatic alcohols, triterpene alcohols, sterols.

Based on the foregoing, it can be concluded that beet and carrot leaves contain a significant amount of biologically active components, among which triterpene compounds are of particular interest.

УДК 504.3.054+629.123

ГРНТИ 73.34.01

ВАК 2.5.20

### Оптимизация энергопотребления систем контроля выбросов паров морских танкеров

Загурский Е. Ф., \* Туркин В. А.

*Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова**353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93*

email: evgzag82@yandex.ru, \* turvla@mail.ru

Установки улавливания паров имеют высокие эксплуатационные расходы из-за значительного энергопотребления. Следовательно, снизить энергопотребление систем контроля выбросов паров возможно за счет оптимизации времени включения в работу установки улавливания паров при погрузке морского танкера.

Мощность газодувочного оборудования  $y$ , зависит от двух основных параметров: объемного расхода газовой смеси  $x_1$ , м<sup>3</sup>/ч, и степени улавливания паров  $x_2$ , %. Для оценки влияния указанных параметров на энергопотребление установки был выполнен ряд замеров на нефтеналивном терминале в России при погрузке танкера типа «Афрамакс». Используя факторный эксперимент, получили модель:

$$y = 712 + 224x_1 + 70x_2 + 8.75x_1x_2 + 0.83x_1^2 + 3.33x_2^2.$$

На начальном этапе вытеснения газовой смеси из грузовых танков выделяется обедненная по содержанию летучих органических соединений (ЛОС) смесь. Это подтверждается анализом фактических данных при загрузке танкера.

На начальном этапе погрузки танкера вытесняется газовая смесь, содержащая небольшое количество ЛОС, поэтому предлагается включать установки улавливания паров на некоторое время позже начала погрузки танкера. Величина финансового результата работы системы улавливания паров  $F$  при включении установки после начала загрузки определяется следующим выражением:

$$F = I - E_э - D,$$

где  $I$  — доход от добытой нефти, рубли;  $E_э$  — стоимость электроэнергии, потребляемой установкой, рубли;  $D$  — стоимостное выражение ущерба от выбросов углеводородов  $C_1$  —  $C_{10}$  в атмосферу, дополненное упущенной выгодой от безвозвратно потерянной нефти, рубли.

Анализ результатов расчетов показал, что: максимальный финансовый результат от работы установки улавливания паров достигается при её включении через 1 ч 4 мин после включения. При этом снижается потребление энергии на операцию загрузки танкера типа «Афрамакс» примерно на 6%. Это дает положительный экономический эффект за 5 лет эксплуатации установки улавливания паров по предложенному алгоритму в размере 40 млн. руб.

### **Energy optimization of marine tanker vapor emission control systems**

Zagursky E. F., Turkin V. A.

*State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakova,  
353924, Russia, Krasnodar Territory, Novorossiysk, Lenin Ave., 93*

Vapor recovery plants have high operating costs due to significant energy consumption. Therefore, it is possible to reduce the energy consumption of vapor emission control systems by optimizing the start-up time of the vapor recovery unit when loading a sea tanker.

The power of gas blowing equipment  $y$  depends on two main parameters: the volumetric flow rate of the gas mixture  $x_1$ , m<sup>3</sup>/h, and the degree of vapor recovery  $x_2$ , %. To assess the impact of these parameters on the power consumption of the installation, a number of measurements were made at an oil terminal in Russia during loading of an Aframax type tanker. Using a factorial experiment, we got the model:

$$y = 712 + 224x_1 + 70x_2 + 8.75x_1x_2 + 0.83x_1^2 + 3.33x_2^2.$$

At the initial stage of displacement of the gas mixture from cargo tanks, a mixture depleted in the content of volatile organic compounds (VOC) is released. This is confirmed by the analysis of the actual data when loading the tanker.

At the initial stage of tanker loading, a gas mixture containing a small amount of VOCs is displaced, so it is proposed to turn on the vapor recovery installations some time after the start of tanker loading. The value of the financial result of the operation of the vapor recovery system  $F$  when the unit is turned on after the start of loading is determined by the following expression:

$$F = I - E_e - D,$$

where  $I$  is the income from the produced oil, rubles;  $E_e$  is the cost of electricity consumed by the installation, rubles;  $D$  is the cost expression of the damage from emissions of C1-C10 hydrocarbons

into the atmosphere, supplemented by lost profits from irretrievably lost oil, rubles.

An analysis of the calculation results showed that: the maximum financial result from the operation of the vapor recovery unit is achieved when it is turned on 1 hour 4 minutes after it is turned on. At the same time, energy consumption for the operation of loading an Aframax tanker is reduced by about 6%. This gives a positive economic effect for 5 years of operation of the vapor recovery unit according to the proposed algorithm in the amount of 40 million rubles.

УДК 004.056.5+629.5.06

ГРНТИ 73.34.01

ВАК 2.5.20

## **Влияние информационных технологий на безопасность эксплуатации судового энергетического оборудования**

Стяжкин А. А., Туркин В. А.

*Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова,*

*353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93*

*email: sasha-lol12@mail.ru, turvla@mail.ru*

Международной морской организацией 16 июня 2017 года была принята резолюция MSC.428(98) «Управление киберрисками в морской отрасли в рамках систем управления безопасностью», а также выпущен циркуляр MSC-FAL.1/Circ.3 «Руководство по управлению киберрисками в морской отрасли». Резолюция предусматривает необходимость в повышении осведомленности персонала судоходных компаний и членов экипажа относительно угроз киберрисков для поддержания безопасного и защищенного судоходства. Внедрение цифровых технологий в судоходную отрасль позволило значительно улучшить эффективность управления судовыми энергетическими установками (СЭУ). Но они также открывают возможность кибератак. Согласно данным компании PositiveTechnologies (<https://www.ptsecurity.com/ru-ru/about/>) за 2019 год было совершено 125 атак на инфраструктуру промышленных предприятий Российской Федерации, 110 были совершены с целью похищения данных компании, остальные 12 с целью получения финансовой выгоды. На данный момент в России насчитывается 1323 промышленных предприятия и производства. Следовательно, частота кибератак на элементы СЭУ, составит  $0,00907029 \text{ год}^{-1}$ . Уязвимости в области кибербезопасности можно устранить с помощью подхода, основанного на оценке риска. Это позволяет компаниям выявлять угрозы и уязвимости операций, планировать барьеры для предотвращения инцидентов и смягчения последствий. Чтобы установить эти барьеры и обеспечить безопасность систем управления СЭУ следует: убедиться, что все передачи данных имеют проверки целостности; следить за блокировкой и защитой доменных имен; по возможности, сегментировать сеть управления, чтобы предотвратить распространение вредоносных программ после того, как целевая сеть или система были взломаны; применять двухфакторную аутентификацию; обучать и

держат сотрудников в курсе текущих угроз, повышают их осведомленность в вопросах информационной безопасности.

### **The influence of information technologies on the safety of operation of ship power equipment**

Styazhkin A. A., Turkin V. A.

*State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakova,  
353924, Russia, Krasnodar Territory, Novorossiysk, Lenin Ave., 93*

On June 16, 2017, the International Maritime Organization adopted resolution MSC.428(98) "Managing cyber risks in the maritime industry within the framework of security management systems", and issued circular MSC-FAL.1 / Circ.3 "Guidelines for managing cyber risks in the maritime industry". The resolution provides for the need to raise the awareness of shipping company personnel and crew members about the threats of cyber risks in order to maintain safe and secure shipping. The introduction of digital technologies in the shipping industry has significantly improved the efficiency of managing ship power plants (SPP). But they also open up the possibility of cyberattacks. According to Positive Technologies (<https://www.ptsecurity.com/ru-ru/about/>), in 2019 there were 125 attacks on the infrastructure of industrial enterprises in the Russian Federation, 110 were committed to steal company data, the remaining 12 were obtaining financial benefits. At the moment, there are 1323 industrial enterprises and productions in Russia. Consequently, the frequency of cyber attacks on the elements of the ECS will be 0,00907029 year<sup>-1</sup>. Cybersecurity vulnerabilities can be addressed through a risk-based approach. This allows companies to identify threats and operational vulnerabilities, plan for barriers to prevent incidents and mitigate consequences. To establish these barriers and ensure the security of the control systems of the ECS, you should: make sure that all data transfers have integrity checks; monitor the blocking and protection of domain names; where possible, segment the control network to prevent the spread of malware after the target network or system has been hacked; apply two-factor authentication; train and keep employees informed about current threats, increase their awareness of information security issues.

УДК 504.61  
ГРНТИ 87.15.02  
ВАК 2.2.11

### **Обеспечение техносферной безопасности на основе предметно-экономических групп**

<sup>1\*</sup> Мартынов Д. В., <sup>1</sup> Бодин О. Н., <sup>2</sup> Безбородова О. Е.

<sup>1</sup> Пензенский Государственный Технологический Университет  
440039, Россия, г. Пенза, ул. Байдукова /ул. Гагарина, 1а / 11

<sup>2</sup> Пензенский Государственный Университет

440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40

email: \* [dimka.martinov.95@gmail.com](mailto:dimka.martinov.95@gmail.com)

Для обоснованного формирования перечня корректирующих мероприятий (КМ) направленных на обеспечение техносферной безопасности авторами введены понятия предметно-экономических групп (ПрЭГ) как совокупностей данных, характеризующих состояния элементов территориальной техносферы (ТТ), выраженных через значения риска [1], и позволяющих обоснованно сформировать перечень КМ, реализация которых гарантированно приведет к снижению уровня риска для здоровья человека до безопасных значений и повышению уровня экологического благополучия человека (ЭБЧ). Каждая ПрЭГ состоит из данных, собранных по определенным шаблонам (анкетам, схемам и т.д.) [2]. В состав каждой ПрЭГ включают несколько состояний ТТ характеризующихся определенным уровнем рисков и организованных по принципу схожестифакторов риска, воздействующих на элементы ТТ, процедур измерительного контроля, моделирования и прогнозирования уровня ЭБЧ, КМ. Каждая ПрЭГ объединяет исходные данные, данные измерительного контроля каждого элемента ТТ, справочные данные и результаты расчетов, полученные информационно-измерительной системой определения ЭБЧ [3]. Эти данные аккумулированы и объединены в базы данных, которые имеют следующую структуру. Каждая ПрЭГ разделена на три части: общую, предметную (медицинскую, экологическую и технологическую) и экономическую. Общая часть содержит данные, позволяющие преобразовать запрос лица, принимающего решения в план действий по его выполнению. Это, прежде всего, данные, которые характеризуют ТТ для которой определяют уровень ЭБЧ (географические координаты территории или административное название района). Общая часть одинаковая для

каждой из трех ПрЭГ. Предметная часть включает три группы параметров: справочные данные, данные измерительного контроля и расчетные данные. Экономическая часть включает данные о содержании и стоимости КМ, направленных на улучшение или поддержание необходимого уровня ЭБЧ. Эти данные могут быть получены из справочников наилучших доступных технологий [4,5] и по качественным и количественным характеристикам соответствуют диапазонам рисков.

### Список литературы

1. AIP Conference Proceedings 2700, 050002 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0127012> Published Online: 09 March 2023
2. Патент №2325100 РФ, заяв. №2006102439/14 от 27.01.2006 опубл. 27.05.2008 Бюл № 15.
3. Безбородова О. Е. Интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система контроля состояния территориальной техносферы // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 2.
4. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 22.1–2021 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения»: утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 2.12.2021г. № 2690 // Бюро наилучших доступных технологий [Электронный ресурс] — URL: <https://burondt.ru/itc>
5. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 53–2022 “Ликвидация объектов накопленного вреда окружающей среде”: утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 12 декабря 2022 г. № 3111 // Бюро наилучших доступных технологий [Электронный ресурс] — URL: <https://burondt.ru/itc>

### Ensuring technosphere safety based on subject-economic groups

<sup>1</sup> Martynov D. V., <sup>1</sup> Bodin O. N., <sup>2</sup> Bezborodova O. E.

<sup>1</sup> Penza State Technological University

*Pr. Baidukova/Ul. Gagarina, 1a/11, Penza, 440039, Russia*

<sup>2</sup> Penza State University

*40, Krasnaya Street, Penza, 440026, Russia*

For the reasonable formation of a list of corrective measures (CM) aimed at ensuring technospheric safety, the authors introduced the concept of subject-economic groups (SEG) as sets of data

characterizing the state of the elements of the territorial technosphere (TT), expressed through risk values [1], and allowing to reasonably form a list CM, the implementation of which is guaranteed to lead to a reduction in the level of risk to human health to safe values and an increase in the level of human environmental well-being (HEB).

Each PEG consists of data collected according to certain templates (questionnaires, schemes, etc.) [2]. Each SEG includes several TT states characterized by a certain level of risks and organized according to the principle of similarity of risk factors affecting TT elements, measurement control procedures, modeling and forecasting of the HEB, CM level. Each SEG combines the initial data, data of measurement control of each element of the TT, reference data and calculation results obtained by the information-measuring system for determining the HEB [3]. These data are accumulated and combined into databases that have the following structure. Each SEG is divided into three parts: general, subject (medical, environmental and technological) and economic. The general part contains data that allows you to transform the request of the decision maker into an action plan for its implementation. These are, first of all, the data that characterize the TT for which the level of HEB is determined (geographical coordinates of the territory or the administrative name of the region). The common part is the same for each of the three SEGs. The subject part includes three groups of parameters: reference data, measurement control data and calculated data. The economic part includes data on the content and cost of CM aimed at improving or maintaining the required level of HEB. These data can be obtained from reference books of the best available technologies [4,5] and, in terms of qualitative and quantitative characteristics, correspond to risk ranges.

УДК 504.05  
ГРНТИ 87.33.35  
ВАК 1.5.15

### **От «Экологической безопасности» к «Техносферной безопасности»**

Чура М. Н., Грицова А. Ц., Дацко Л. Ю., \*Чура Н. Н.

*Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова  
Новороссийск, Россия,*

\*e-mail: nnchura@rambler.ru

Подготовке специалистов высшего образования по специальности «Техносферная безопасность» предшествует получение среднего профессионального образования в данной области знаний и деятельности по специальности, прежнее название которой «Рациональное использование природохозяйственных комплексов» недавно актуализировано в виде: «Экологическая безопасность природных комплексов». За изменением названия специальности кроется не только реальный и конкретный вид безопасности – экологическая, имеющий общепринятую нормативную трактовку и являющийся распространенной сферой деятельности. Содержание структуры подготовки специалистов также преобразовано и на один год уменьшен её срок, о чем свидетельствует образовательный стандарт.

Целью данной работы является поиск путей обеспечения/достижения безопасности, что составляет основную задачу специалистов-выпускников. Окружающий мир потенциально опасен (они знакомы с этой аксиомой), отсюда следует относительность категории «безопасность». Далее, абсолютная безопасность исключена вследствие наличия постоянных опасностей (потенциальных) и угроз различного характера (реальных или реализованных). В этих условиях специалист должен обеспечить безопасность объекта. Начальным этапом в схеме его действий является идентификация (учет) опасностей, ответственный этап, когда нельзя оставить без внимания любые значимые факторы. В дальнейшем, при оценке уровня безопасности по признаку «отсутствия недопустимого риска» [1] необходимо, прежде всего, наличие самих критериев допустимого риска, которых в настоящее время создано немного.

Существует и другой путь. Если в экологической сфере безопасность определена как состояние защищенности... (в соответствии с основным законом «Об охране окружающей среды», № 7-ФЗ), то для обоснования и утверждения о

безопасности какого-либо объекта следует убедиться в соответствии указанного объекта действующим нормам, правилам, стандартам, положениям и т.д., в части, касающейся вопросов безопасности. Часто на языке специалистов используется термин «защищённость» как синоним безопасности. Таким образом, надобно ориентироваться в документации нормативного характера, а это могут быть десятки различных документов, причем такова ситуация не только в экологической, но и в других видах безопасности. При этом, на наш взгляд, для расширения возможностей специалиста-выпускника в соответствии с запросами рынка труда, возможно, пересмотреть состав вариативных дисциплин, включив некоторые дополнительные из смежных профилей (видов безопасности). Интересам универсализации подготовки специалиста могут служить предметы, относящиеся к охране (безопасности) труда, промышленной безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

### Список литературы

1. Чура М. Н., Чура Н. Н. Техносферная безопасность: пути оценки // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте (7–12 сентября 2020 г.). Пенза : Изд-во ПГУ, 2020. С. 253–255.

### From «Ecological safety» to «Technosphere safety»

Chura M. N., Gritsova A. T., Datsko L. Y., \* Chura N. N.

*Admiral F. F. Ushakov State Maritime University*

*Novorossiysk, Russia,*

e-mail: \* [nnchura@rambler.ru](mailto:nnchura@rambler.ru)

The training of higher education specialists in the specialty «Technosphere safety» is preceded by obtaining secondary professional education in this field of knowledge and activity in the specialty, the former name of which «Rational use of natural economic complexes» has recently been updated in the form: «Ecological safety of natural complexes». Behind the change in the name of the specialty lies not only a real and specific type of safety - ecological, which has a generally accepted regulatory interpretation and is a common area of activity. The content of the training structure has also been transformed and its term has been reduced by one year, as evidenced by the educational standard.

The purpose of this work is to find ways to ensure/achieve safety, which is the main task of graduate specialists. The surrounding world is potentially dangerous (they are familiar with this axiom), hence the relativity of the category «safety». Further, absolute safety is excluded due to the presence of constant hazards (potential) and threats of various nature (real or realized). Under these conditions, the specialist must ensure the safety of the facility. The initial stage in the scheme of its actions is the identification (accounting) of hazards, the responsible stage when any significant factors cannot be ignored. In the future, when assessing the level of safety on the basis of «absence of unacceptable risk» [1], it is necessary, first of all, to have the criteria for permissible risk themselves, which are currently not enough. There is another way. If in the ecological sphere safety is defined as the state of protection... (in accordance with the basic law «On Environmental Protection», № 7-FZ), then in order to justify and approve the safety of any facility, it is necessary to verify the compliance of the specified facility with the current norms, rules, standards, provisions, etc., in terms of safety issues. Often in the language of specialists the term «protection» is used as a synonym for security. Thus, it is necessary to be well guided in regulatory documentation, and these can be dozens of different documents, and this is the situation not only in ecological, but also in other types of safety. At the same time, in our opinion, in order to expand the capabilities of a graduate specialist in accordance with the demands of the labor market, it is possible to revise the composition of variable disciplines, including some additional of the related profiles (types of safety). The interests of the universalization of specialist training can be served by items related to labor safety (safety), industrial safety and safety in emergency situations.

УДК 621.436  
ГРНТИ 55.42.45  
ВАК 2.5.20.

### **Использование щелочных растворов в судовых скрубберах**

Мышкина А. Н., Берёза И. Г.

*Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова  
353918, Новороссийск, пр. Ленина, 93*

e-mail: [alena-n@mail.ru](mailto:alena-n@mail.ru), [irina.beryoza@mail.ru](mailto:irina.beryoza@mail.ru)

Использование мазута в качестве топлива на морских транспортных судах приводит к образованию в отработавших газах судовых энергетических установок значительного количества вредных веществ, в т.ч., окислов серы и азота. В настоящее время «Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов» (Конвенция МАРПОЛ 73/78)) ужесточила нормы выбросов вышеупомянутых газов с продуктами сгорания судового топлива [1]. Приведение концентрации вредных выбросов с судов в соответствие с новыми экологическими требованиями предполагает применение различных технологических операций и, в т.ч., внедрение дополнительного оборудования на судах для нейтрализации и очистки отработавших газов (скрубберов). С целью разработки технологии очистки отработавших газов судовых энергетических установок в университете была разработана и изготовлена опытная установка скрубберной очистки. В качестве рабочей жидкости в процессе экспериментальных исследований использовались щелочные реагенты – растворы каустической и кальцинированной соды. Экспериментальные исследования проводились в статическом режиме работы установки, при этом использовались 2%-ные растворы щелочных реагентов. В процессе экспериментальных исследований установлена высокая адсорбционная способность каустической и кальцинированной соды по отношению к окислам серы и азота, содержащихся в отходящих газах судовых энергетических установок [2]. Однако, вследствие того, что применение каустической соды в качестве рабочей жидкости сопряжено с повышенными мероприятиями по технике безопасности, в дальнейших экспериментальных исследованиях в динамических режимах работы опытной установки использовался только раствор кальцинированной соды.

### **Список литературы**

1 International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL 73/78. 2 t. (2021). СНИИМФ

2 Мышкина А. Н., Берёза И. Г. Снижение вредных компонентов в отработавших газах судовых энергетических установок // Эксплуатация морского транспорта. 2023. № 1 (106). С. 14-8151

### **Use of alkaline solutions in ship scrubbers**

Myshkina A. N., Beryoza I. G.

*Admiral Ushakov Maritime State University*

*93, Lenina Avenue, Novorossiysk*

e-mail: alena-n@mail.ru, irina.beryoza@mail.ru

The use of fuel oil as a fuel on marine transport vessels leads to the formation of a significant amount of harmful substances in the exhaust gases of ship power plants, including sulfur and nitrogen oxides.

At present, the "International Convention for the Prevention of Pollution from Ships" (MARPOL 73/78 Convention)) has tightened the emission standards for the above-mentioned gases with combustion products of marine fuel [1]. Bringing the concentration of harmful emissions from ships in line with the new environmental requirements involves the use of various technological operations, including the introduction of additional equipment on ships for the neutralization and purification of exhaust gases (scrubbers).

In order to develop a technology for cleaning exhaust gases from ship power plants, a pilot plant for scrubber cleaning was developed and manufactured at the university. As a working fluid in the process of experimental research, alkaline reagents were used - solutions of caustic and soda ash. Experimental studies were carried out in the static mode of operation of the installation, while using 2% solutions of alkaline reagents.

In the process of experimental studies, a high absorption capacity of caustic and soda ash was established in relation to sulfur and nitrogen oxides contained in the exhaust gases of ship power plants [2]. However, due to the fact that the use of caustic soda as a working fluid is associated with increased safety measures, in further experimental studies in the dynamic modes of operation of the pilot plant, only a solution of soda ash was used.

УДК 504.61  
ГРНТИ 85.15.00  
ВАК 1.5.15

### **Акустическая нагрузка на окружающую среду при городском строительстве**

\* Стихова А. М., Новикова Т. К., Жмырко Т. Г.

*Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова  
353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93*

email: \* [stihova.am@mail.ru](mailto:stihova.am@mail.ru), [yriynov@yandex.ru](mailto:yriynov@yandex.ru),  
[zhmyrko.tanya@mail.ru](mailto:zhmyrko.tanya@mail.ru)

Строительство является источником высокоинтенсивного (75...90 дБА) акустического загрязнения в городах и наносит населению ощутимый социально-экономический ущерб. Наиболее сильное влияние шума наблюдается при интенсивном ведении строительства вблизи жилой застройки. Проведено исследование и дана оценка акустической нагрузки на территорию жилой застройки при строительстве жилого комплекса I11. Акустический расчет производился в следующей последовательности: определены источники шума и их шумовые характеристики; выбраны точки на территории жилой застройки, для которых необходимо провести расчет (расчетные точки); определены пути распространения шума от источников до расчетных точек и потери звуковой энергии по каждому из путей. Рассчитаны ожидаемые уровни шума и их требуемое снижение на основе сопоставления с допустимыми [1]. Сравнение уровней шума в расчетных точках с допустимыми даёт основание утверждать, что строительная площадка не соответствует нормативам, так как наблюдается превышение уровней по эквивалентному (норма 55 дБА), так и по максимальному значению (норма 70 дБА). Определены превышения предельно допустимых уровней (ПДУ) в октавных полосах частот от 63 до 8000 Гц.

#### **Список литературы**

1. Стихова А. М. Оценка уровня шума при строительстве жилого комплекса в Новороссийске в 2017 году / А. М. Стихова, Р. В. Яковлев, Т. К. Новикова // Лазерные информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте: материалы XXV Международной конференции, Новороссийск, 04-09 сентября 2017 года. Новороссийск: Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2017, с. 167-168.

### **Acoustic load on the environment in urban construction**

Stikhova A. M., Novikova T. K., Zhmyrko T. G.

*State Maritime University named after Admiral F. F. Ushakova, 93,  
Lenin Ave., Novorossiysk, 353924, Russian Federation*

Construction is a source of high-intensity (75...90 dBA) acoustic pollution in cities and causes significant socio-economic damage to the population. The strongest influence of noise is observed during intensive construction near residential buildings. A study was conducted and an assessment of the acoustic load on the territory of residential development during the construction of a residential complex was given [1]. The acoustic calculation was performed in the following sequence: the noise sources and their noise characteristics were determined; the points on the territory of residential development for which it is necessary to carry out the calculation (settlement points) are selected; the ways of noise propagation from sources to settlement points and the loss of sound energy along each of the paths are determined. The expected noise levels and their required reduction are calculated based on comparison with the permissible [1]. Comparison of noise levels at the calculated points with the permissible ones gives grounds to assert that the construction site does not meet the standards, since there is an excess of the equivalent levels (norm 55 Dba) and the maximum value (norm 70 dBA). The exceedances of the maximum permissible levels (MPD) in the octave frequency bands from 63 to 8000 Hz were determined.

УДК 502/550.4

ГРНТИ 87.15

ВАК 1.6.12

### **Азральное загрязнение окружающей среды горнодобывающей отраслью и производством строительных материалов**

Дьяченко В. В., Досугова А. Е.

*Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского  
государственного технологического университета*

e-mail: [v-v-d@mail.ru](mailto:v-v-d@mail.ru)

Глобальность и трансграничность загрязнения окружающей среды во многом определяется воздушным переносом веществ. Азральный фактор распространения делает загрязнение наиболее подвижным и опасным для здоровья людей и биосферы в целом. Важнейшим фактором загрязнения являются аэрозоли. Самые большие объемы аэрозольного загрязнения производят металлургическая и горнодобывающая промышленность, а также производство строительных материалов [1].

На Кавказе наиболее масштабным горнодобывающим объектом являются полиметаллические месторождения Северной Осетии. Металлы здесь добывали еще в X–VIII веках до нашей эры, но активно месторождения эксплуатируются с середины XIX века. За это время было добыто более 500000 т Pb и 830 000 т Zn, а также сотни тысяч тонн других металлов, включая особо токсичные Cd и As.

Безусловно, такие долговременные горнодобывающие и металлургические работы не могли пройти для окружающей среды бесследно. Кроме ореолов, связанных с естественным разрушением рудных тел образовались зоны загрязнения почв, аллювиальных отложений, поверхностных и подземных вод, на территориях прилегающих к рудникам, обогатительному комбинату, хвостохранилищу и металлургическим комбинатам. Это результат разведки, добычи, транспортировки, обогащения руд, ветрового переноса с пляжей хвостохранилища, сброса шламов Мизурской обогатительной фабрики (особенно активно до 1984 года), складирования некондиционных руд и отвалов и тд. В результате, по некоторым оценкам площадь загрязнения почв с опасными уровнями содержания химических элементов достигла 40 км<sup>2</sup> [2].

Нам представляется, что это достаточно оптимистичная оценка, которая включает только территорию самих объектов, а также

зону, прилежащую к путям транспортировки руды и концентрата. На самом деле загрязнение значительно масштабнее и это было зафиксировано еще в конце 80-х годов по результатам региональных ландшафтно-геохимических исследований Северного Кавказа [3, 4]. Общая площадь почвенно-геохимических аномальных участков, связанных с добычей полезных ископаемых в Северной Осетии составила не менее 200 км<sup>2</sup>, а с металлургическим комплексом — 250 км<sup>2</sup>. В пользу факта масштабного загрязнения говорит не только большая площадь аномалий, выявленных с учетом ландшафтно-геохимического строения территории [5, 6]. С точки зрения поисковой геохимии, структура геохимического поля достаточно типичная. Почвенно-геохимические аномалии поглощают и перекрывают литогеохимические, а биогеохимические поглощают почвенно-геохимические. Все логично. Однако, самые крупные современные месторождения проявляются на поверхности пятнами от нескольких до нескольких десятков км<sup>2</sup>. Но здесь мы имеем биогеохимические аномалии профильных элементов площадью до тысячи км<sup>2</sup> и их граница смещена восточнее металлургических заводов города Владикавказа, на Ингушетию и Чечню, хотя сами месторождения находятся на 50...60 км западнее и южнее. Поэтому их почвенно-геохимические аномалии не сливаются, а вот биогеохимические представляют собой единое целое: как структурно, так и геохимически и выходят далеко за пределы металлогенической провинции [7]. Причем, аномалии переходят из лесной зоны в луговостепную и достигают отметок 2000 м. Обращает внимание морфология и структура выделенных аномалий. В зоне добычи и обогащения полиметаллов их аномалии покрывают не только сами объекты, но и всю долину р. Ардон в горной части. Субмеридиональные почвенные аномалии Zn, Cu, Ag, Pb и Mo сменяют друг друга, частично перекрываясь и образуют непрерывный аномальный участок, протяженностью в несколько десятков км, расширяясь за счёт месторождений в лево- и правобережье в зоне северюрской депрессии. Аномальный участок южнее Владикавказа, расположен по обоим берегам Терека изометричный, более комплексный и включает те же химические элементы, а также W и Cd. Ядерную часть аномального участка, примыкающего к Владикавказу с юга образует аномалия Cd и всех остальных микроэлементов. Причём, Cd именно в этих трех пробах имеет наиболее высокие концентрации на всем Северном Кавказе, включая месторождения.

Анализ всей информации говорит в пользу азрального механизма разноса загрязнения и формирования аномальных участков. Вдоль р. Ардон мы имеем перенос долинными ветрами, сравнительно крупных частиц, формирующихся в почвах вследствие добычи, транспортировки и обогащения руды. Аналогичный, но более масштабный аномальный участок был обнаружен ранее в долине реки Баксан [8]. Однако, там он был значительно шире и охватывал склоны с отметками более 3000 м, за счёт большой высоты разрабатываемых месторождений (карьер Мукуланский – 3200 м) и многочисленных взрывных работ. Аномалии южнее Владикавказа не могут иметь другого генезиса как азральный разнос газопылевых выбросов металлургических комбинатов, что приводит к формированию аномального участка площадью в сотни км<sup>2</sup> и достижению высотных отметок загрязнением в 2000 м. В-третьих, данный аномальный участок имеет ярко выраженную временную динамику, что мы обнаружили при сравнении результатов наших исследований [8] с более ранними работами [9]. И загрязнение продолжает интенсифицироваться [10]. В-четвёртых, это огромная площадь биогеохимических аномалий, в основном, формирующихся за счёт азральных выпадений и объединяющих оба литохимических аномальных участка с набором микроэлементов соответствующим составу оруденения и профилю металлургических заводов. Именно территория биогеохимических аномалий отражает реальную зону загрязнения.

Другой участок с интенсивным азральным загрязнением находится на западной окраине Кавказа – в районе Новороссийска. Здесь расположены несколько цементных заводов, сырьё для которых добывают из открытых карьеров. Цементные заводы выбрасывают в атмосферу сотни тысяч тонн взвешенных веществ в год. А сколько частиц выдувается с карьеров и ползущих вниз по склону осыпей? Это громадные по площади и производительности дефляционные поля. Для получения объективных данных об особенностях геохимии воздушного канала загрязнения и идентификации аэрозолей различного генезиса, нами ведётся сопряжённое изучение почв региона (источник дефляционных аэрозолей и накопитель загрязнения) и материала, собранного из аэродинамических лобушек высотных зданий. С целью определения геохимических особенностей аэрозолей были произведены гранулометрический, микроскопический и спектральный анализы почв в целом и её наиболее «летучей» фракции (мельче 0,1 мм), а также цемента и

городской пыли. Спектральный анализ показал, что городские аэрозоли обладают очень специфическим химическим составом. Это выражается в большой контрастности содержания в разных районах и резко повышенных концентрациях элементов – агентов загрязнения [11].

Проведенный анализ приводит к выводу, что главным агентом аэрозольного загрязнения природных ландшафтов, городской среды и негативно влияния на здоровье населения [12] в части микроэлементов, являются аэрозоли. Причём, не только пыль техногенного происхождения, изначально содержащая повышенные концентрации тяжелых металлов (например, в рудных минералах или металлургических шлаках), но и первично дефляционная. Дефляционная составляющая является своеобразной матрицей, на которой осаждаются химические элементы, находящиеся в воздухе вследствие техногенных выбросов, в состоянии рассеяния, парогазовой форме или из других источников. Мигрируя в течение длительного времени, пыль постепенно концентрирует на себе различные загрязняющие вещества. И чем мельче частицы пыли, тем больше суммарная площадь их поверхности и сильнее разнообразные процессы закрепления микроэлементов. В условиях сухого климата и при отсутствии тщательной влажной уборки в городе это может продолжаться десятилетиями. Тем более что города, являются своеобразными механическими геохимическими барьерами [5] для пыли приземного слоя атмосферы. Её аэрозольный вынос затруднен плотной высотной застройкой. В природных ландшафтах таким фактором является растительный покров. В результате пыль, привнесённая или образующаяся в городе, задерживается там надолго, накапливается и постепенно поглощает различные химические элементы. Часть пыли, закрепляется в почвах и водных объектах, часть выносится за пределы города, а часть периодически поднимается ветром и попадает в наши органы дыхания, вызывая заболевания [12].

### Список литературы

1. Воробьев А. Е., Дьяченко В. В., Вильчинская О. В., Корчагина А. В. Основы природопользования: экологические, экономические и правовые аспекты / Под редакцией Дьяченко В. В. Учебное пособие (зрифт УМО). Изд. 2-е, доп. и перераб. – Изд-во Феникс, Ростов-на-Дону, 2007. 542 с.
2. Голик В. И., Мельков Д. А., Логачев А. В. К истории горнометаллургической отрасли северной Осетии // Горный

информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 1. – С. 194-199.

3. Дьяченко В. В. Региональные ландшафтно-геохимические исследования горной части Северного Кавказа // Экология: Опыт. Проблемы. Поиск. Новороссийск. 1991. С. 96-100

4. Дьяченко В. В. Особенности миграции химических элементов в почвах геохимических ландшафтов Центрального и Восточного Кавказа // Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельск. наук / Красноярский государственный аграрный университет. Красноярск, 1996. –115 с.

5. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. – 768 с.

6. Дьяченко В. В., Матасова И. Ю., Дьяченко Л. Г. Картографирование геохимических ландшафтов юга России (аспекты практического использования) // География и природные ресурсы.– 2019.– № 3.– С. 16-25

7. Дьяченко В. В. Геохимия и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа: диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук.– Ростов-на-Дону: Южный федеральный ун-т, 2004.– 326 с.

8. Дьяченко В. В. Геохимия, систематика и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа. – Ростов-на-Дону. 2004. 268 с.

9. Рудилин Е.В. Микроэлементы в почвах Северного Кавказа. Л.: Изд. ЛГУ, 1968. 56 с

10. Дьяченко В. В., Матасова И. Ю. Загрязнение и динамика микроэлементов в почвах юга России // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. Москва. № 4. 2015 С. 324-332.

11. Дьяченко В. В., Шеманин В. Г., Вишневецкая В. В. Влияние техногенеза и геохимии аэрозолей на состояние окружающей среды и здоровье населения юга России // География и природные ресурсы. 2023. №4.

12. Дьяченко В. В., Дьяченко Л. Г., Девисилова В. А. Науки о земле: Уч. / Под ред. Девисилова В.А. – М.:НИЦ ИНФРА-М, 2019 – 345 с.

**Aerial pollution of the environment by the mining industry and the production of building materials**

Dyachenko V. V., Dosugova A. E.

*Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) Kuban State Technological University, Novorossiysk, Russia,*

The globality and cross-border nature of environmental pollution is largely determined by the air transport of substances. The aerial spreading factor makes pollution the most mobile and dangerous for human health and the biosphere as a whole. Aerosols are the most important pollution factor. The largest volumes of aerosol pollution are produced by the metallurgical and mining industries, as well as the production of building materials [1].

In the Caucasus, the largest mining facility is the polymetallic deposits of North Ossetia. Metals were mined here in the X-VIII centuries BC, but the deposits have been actively exploited since the middle XIX century. During this time, more than 500 000 tons of Pb and 830 000 tons of Zn were mined, as well as hundreds of thousands of tons of other metals, including especially toxic Cd and As.

Of course, such long-term mining and metallurgical works could not pass without a trace for the environment. In addition to the halos associated with the natural destruction of ore bodies, zones of soil contamination, alluvial deposits, surface and underground waters were formed in the territories adjacent to mines, processing plants, tailings storage and metallurgical plants. This is the result of exploration, extraction, transportation, ore dressing, wind transfer from the beaches of the tailings dump, discharge of sludge from the Mizur processing plant (especially active until 1984), storage of substandard ores and dumps, and so on. As a result, according to some estimates, the area of soil contamination with dangerous levels of chemical elements has reached 40 km<sup>2</sup> [2].

It seems to us that this is a rather optimistic assessment, which includes only the territory of the facilities themselves, as well as the area adjacent to the ore and concentrate transportation routes. In fact, the pollution is much larger and it was recorded back in the late 80s according to the results of regional landscape and geochemical studies of the North Caucasus [3, 4]. The total area of soil-geochemical anomalous sites associated with mining in North Ossetia was at least 200 km<sup>2</sup>, and with the metallurgical complex – 250 km<sup>2</sup>. The fact of large-scale pollution is supported not only by the large area of anomalies identified taking into account the landscape-geochemical structure of the territory [5, 6]. From the point of view of search geochemistry, the structure of the geochemical field is quite typical. Soil-geochemical anomalies absorb and overlap litho-geochemical ones, and biogeochemical ones absorb soil-geochemical ones. Everything is logical. However, the largest modern deposits appear on the surface in spots from

several to several tens of km<sup>2</sup>. But here we have biogeochemical anomalies of profile elements with an area of up to a thousand km<sup>2</sup> and their border is shifted east of the metallurgical plants of Vladikavkaz, to Ingushetia and Chechnya, although the deposits themselves are 50..60 km to the west and south. Therefore, their soil-geochemical anomalies do not merge, but the biogeochemical ones are a single whole: both structurally and geochemically and go far beyond the metallogenic province [7]. Moreover, anomalies move from the forest zone to the meadow-steppe zone and reach 2000 m.

Attention is drawn to the morphology and structure of the identified anomalies. In the polymetal mining and enrichment zone, their anomalies cover not only the objects themselves, but also the entire valley of the Ardon River in the mountainous part. The submeridional soil anomalies Zn, Cu, Ag, Pb and Mo replace each other, partially overlapping and form a continuous anomalous section extending several tens of kilometers, expanding due to deposits in the left and right banks in the zone of the North Jurassic depression. The anomalous site south of Vladikavkaz, located on both banks of the Terek, is isometric, more complex and includes the same chemical elements, as well as W and Cd. The nuclear part of the anomalous site adjacent to Vladikavkaz from the south is formed by an anomaly of Cd and all other trace elements. Moreover, Cd in these three samples has the highest concentrations in the entire North Caucasus, including deposits.

The analysis of all the information speaks in favor of the aerial mechanism of the spread of pollution and the formation of abnormal areas. Along the Ardon River, we have the transport by valley winds of relatively large particles formed in soils due to mining, transportation and enrichment of ore. A similar, but larger-scale anomalous site was discovered earlier in the Baksan River valley [8]. However, there it was much wider and covered slopes with marks of more than 3000 m, due to the high altitude of the fields being developed (Mukulansky quarry – 3200 m) and numerous blasting operations. Anomalies to the south of Vladikavkaz cannot have another genesis as the aerial separation of gas and dust emissions from metallurgical plants, which leads to the formation of an anomalous area of hundreds of km<sup>2</sup> and the achievement of high-altitude pollution in 2000 m. Thirdly, this anomalous site has a pronounced temporal dynamics, which we found when comparing the results of our studies [8] with earlier works [9]. And pollution continues to intensify [10]. Fourth, this is a huge area of

biogeochemical anomalies, mainly formed due to aerial precipitation and combining both lithochemical anomalous sites with a set of trace elements corresponding to the composition of mineralization and the profile of metallurgical plants. It is the territory of biogeochemical anomalies that reflects the real zone of pollution.

Another site with intense aerial pollution is located on the western outskirts of the Caucasus – near Novorossiysk. There are several cement plants located here, the raw materials for which are extracted from open pits. Cement plants emit hundreds of thousands of tons of suspended solids into the atmosphere per year. And how many particles are blown from quarries and scree crawling down the slope? These are huge deflationary fields in terms of area and productivity. In order to obtain objective data on the features of the geochemistry of the air pollution channel and the identification of aerosols of various genesis, we are conducting a combined study of the soils of the region (the source of deflationary aerosols and the accumulator of pollution) and the material collected from the aerodynamic traps of high-rise buildings. In order to determine the geochemical characteristics of aerosols, granulometric, microscopic and spectral analyses of soils as a whole and its most “volatile” fraction (smaller than 0.1 mm), as well as cement and urban dust were performed. Spectral analysis has shown that urban aerosols have a very specific chemical composition. This is expressed in a high contrast of contents in different areas and sharply increased concentrations of elements – agents of pollution [11].

The analysis leads to the conclusion that aerosols are the main agent of aerial pollution of natural landscapes, urban environment and negative impact on the health of the population [12] in terms of trace elements. Moreover, not only dust of technogenic origin, initially containing elevated concentrations of heavy metals (for example, in ore minerals or metallurgical slags), but also primarily deflationary. The deflationary component is a kind of matrix on which chemical elements are deposited in the air due to man-made emissions, in a scattering state, in vapor-gas form or from other sources. Migrating for a long time, dust gradually concentrates various pollutants on itself. And the smaller the dust particles, the larger the total surface area and the stronger the various processes of fixing trace elements. In a dry climate and in the absence of thorough wet cleaning in the city, this can last for decades. Moreover, cities are a kind of mechanical geochemical barriers [5] for dust of the surface layer of the atmosphere. Its

aerial removal is hampered by dense high-rise buildings. In natural landscapes, vegetation cover is such a factor. As a result, the dust introduced or formed in the city lingers there for a long time, accumulates and gradually absorbs various chemical elements. Some of the dust is fixed in soils and water bodies, some is carried outside the city, and some is periodically lifted by the wind and enters our respiratory organs causing diseases [12].

УДК 502.2  
ГРНТИ 87.35.91  
ВАК 25.00.36

### **Гидрохимические показатели участка развития марикультуры в акватории Цемесской бухты Черного моря**

Матасова И. Ю., Бурлова А. А.

*Кубанский государственный университет  
350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149  
email: [semiqorie@mail.ru](mailto:semiqorie@mail.ru)*

Переход к устойчивому развитию требует скоординированных действий во всех сферах жизни общества, адекватной переориентации социальных, экономических и экологических институтов государства, регулирующая роль которого в таких преобразованиях является основополагающей. Исследование вопросов управления устойчивым развитием региона становится актуальной задачей современной региональной экономики [1].

Перспективным направлением развития сельского хозяйства на территории МО город-курорт Геленджик, помимо виноградарства, становится аквакультура (марикультура). В России аквакультура – развивающаяся отрасль, её продукция востребована на внутреннем и внешнем рынке [2, 3].

Исследуемый участок, расположенный в акватории Цемесской бухты Черного моря в районе с. Кабардинка, планируется использовать в качестве рыбоводного. Акватория характеризуется уникальными природными особенностями, в число которых входят хорошо прогреваемое мелководье, сочетание скальных и рыхлых донных грунтов, свободный водообмен с открытым морем.

Исходными данными послужили результаты работ, проведённых в 2022 г. в акватории Цемесской бухты у с. Кабардинка на 5 станциях.

Основные источники поступления загрязняющих веществ в акваторию, планируемую к развитию аквакультуры, связаны как с процессами жизнедеятельности прибрежных территорий

(функционированием селитебных и сельскохозяйственных ландшафтов), так и с природными процессами (принос терригенного материала с поверхностным стоком, аэральный перенос и т.д.) [4, 5].

Исследуемые показатели морской среды (концентрация растворенного в воде кислорода, ионов водорода) и элементы гидрометеорологического режима (температура, солёность, мутность, концентрация взвешенных веществ) типичны для прибрежных вод Чёрного моря в исследуемый сезон.

Значения таких показателей, как биологическая потребность кислорода, окисляемость, концентрация биогенных веществ свидетельствует об отсутствии значимого хозяйственного, фекального и сельскохозяйственного загрязнения водной среды.

Для исследуемой акватории отмечено также низкое загрязнение главными техногенными загрязнителями (нефтепродуктами, фенолами, АПАВ) и тяжёлыми металлами. Концентрация большинства из них была ниже предела чувствительности используемых методов анализа.

### **Список литературы**

1. Факторы устойчивого развития регионов России / А. А. Авцинова, С. Н. Афонин, О. В. Вильчинская [и др.] ; Центр развития научного сотрудничества. Том Книга 15. – Новосибирск : Общество с ограниченной ответственностью "Центр развития научного сотрудничества", 2013. – 319 с. – ISBN 978-5-906535-44-3. – EDN SDNTYR.
2. Соколов, А. В. Современное состояние и тенденции развития рыбохозяйственного комплекса России / А. В. Соколов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. – № 4. – С. 36–48. – EDN AUTWGS.
3. Чёрное море: рыбохозяйственные проблемы и пути их решения / М. И. Куманцов, Е. Н. Кузнецова, М. В. Переладов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2011. – № 1. – С. 39–41. – EDN NVUUJV.
4. Дьяченко, В.В. Геохимия и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа: специальность 25.00.23 «Физическая

география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов»: диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук / Дьяченко Владимир Викторович. – Новороссийск. – 2004. – 326 с.

5. Дьяченко, В. В. Геохимия дефляционных и техногенных аэрозолей / В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте - 2020 : труды XXVIII Международной конференции, Новороссийск, 07–12 сентября 2020 года. – Новороссийск: Пензенский государственный университет, 2020. – С. 299-303. – EDN IJVZVG.

### **Hydrochemical indicators of the mariculture development site in the waters of Tsemes Bay of the Black Sea**

Matasova I. Yu., Burlova A. A.

*Kuban State University*

*350040, Krasnodar, st. Stavropolskaya, 149*

email: [semiqorie@mail.ru](mailto:semiqorie@mail.ru)

The transition to sustainable development requires coordinated actions in all spheres of society, an adequate reorientation of the social, economic and environmental institutions of the state, whose regulatory role in such transformations is fundamental. The study of issues of managing the sustainable development of the region is becoming an urgent task of modern regional economics [1].

Aquaculture (mariculture) is becoming a promising direction for the development of agriculture in the municipal resort city of Gelendzhik, in addition to viticulture. In Russia, aquaculture is a developing industry, its products are in demand in the domestic and foreign markets [2, 3].

The study area, located in the waters of the Tsemes Bay of the Black Sea in the area of the village. Kabardinka, it is planned to use it as a fish hatchery. The water area is characterized by unique natural features, which include well-warmed shallow water, a

combination of rocky and loose bottom soils, and free exchange of water with the open sea.

The initial data were the results of work carried out in 2022 in the waters of Tsemes Bay near the village. Kabardinka at 5 stations.

The main sources of pollutants entering the water area planned for the development of aquaculture are associated with both the life processes of coastal areas (the functioning of residential and agricultural landscapes) and natural processes (the introduction of terrigenous material with surface runoff, aerial transport, etc.) [4, 5].

The studied indicators of the marine environment (concentration of oxygen dissolved in water, hydrogen ions) and elements of the hydrometeorological regime (temperature, salinity, turbidity, concentration of suspended solids) are typical for the coastal waters of the Black Sea during the season under study.

The values of indicators such as biological oxygen demand, oxidability, and concentration of nutrients indicate the absence of significant household, fecal and agricultural pollution of the aquatic environment.

For the studied water area, low pollution with the main technogenic pollutants (petroleum products, phenols, surfactants) and heavy metals was also noted. The concentration of most of them was below the sensitivity limit of the analytical methods used.

УДК 502.2  
ГРНТИ 87.35.91  
ВАК 25.00.36

### **Оценка состояния донных отложений порта Новороссийск**

Матасова И. Ю.

*Кубанский государственный университет  
350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149*

email: [semiqorie@mail.ru](mailto:semiqorie@mail.ru)

Представлены результаты исследований, проведенных в районе осуществления производственной деятельности по погрузке зерна в порт г. Новороссийск, и на фоновой станции, расположенной в центральной части акватории порта.

Условия существования морских экосистем в район работ определяться особенностями морфометрии бухты (кутовая часть), большим количеством причалов и пирсов, выполняющих роль волновой тени и обеспечивающих накопление материала, а также особенностями гидродинамики и слабым водообменом.

Донные отложения у причальных сооружений и на фоновой станции (слой 0–5 см) представлены преимущественно темно-серыми илами алевроито-пелитовой размерности с незначительными долями тонкозернистого детритного песка. В морской обстановке органический материал формируется из автохтонных источников, преимущественно за счет первичной продукции фитопланктона [1]. Существенен и вклад аллохтонного материала, представленного терригенным эрозионным и речным стоком [2, 3].

Для современных донных отложений Черного моря концентрация органического вещества варьирует от 1,34 % для алевроитовых илов до 4,02 % в известковистых илах [4]. В донных отложениях района работ и на фоновой станции содержание органического вещества находится в диапазоне от 5,73 % до 6,61 % и что выше, чем в среднем для отложений шельфа Черного моря. При этом содержание органического вещества в донных отложениях

на фоновой точке в 1,1–1,2 раза выше, чем в зоне погрузочных работ.

Донные отложения представляют собой термодинамически неравновесную систему с некоторым запасом энергии, в общем случае определяемым содержанием органического вещества и процессами его трансформации. В зоне сопряжения вода–дно наблюдаются значительные градиенты концентрации веществ, формируются потоки веществ, которые зависят от условий и характеристик как придонного слоя вод, так и самих донных отложений. В наибольшей степени это касается кислорода и сероводорода. Они являются определяющими веществами при исследовании особенностей формирования окислительно-восстановительных условий среды, а также компонентами, обуславливающими возможность и условия существования бентосных организмов [5].

В верхнем слое донных отложений, отобранных как у причальных сооружений, так и на фоновой точке значение окислительно-восстановительного потенциала изменяется +80,0 мВ до + 88,0 мВ. Это свидетельствует о формировании окислительной обстановке в рассматриваемых донных отложениях, обусловленной достаточным количеством кислорода в их верхнем (0–5,0 см) слое. В исследованных донных отложениях содержание хлорорганических пестицидов (ХОП) ниже предела чувствительности используемого метода анализа, что свидетельствует об отсутствии загрязнения ХОП как у причальных сооружений, так и на фоновой точке.

### **Список литературы**

1. Gordeev V. V., Rachold V. The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean / Eds. R. Stein, R.W. Macdonald. – Berlin, Springer, 2004, p. 33–41.
2. Vonk J. E., Sanchez-Garcia L., Van Dongen B. E., Alling V., Kosmach D., Charkin A. N., Gustafsson A. Activation of old carbon by erosion of coastal and subsea permafrost in Arctic Siberia // Nature, 2012, V. 489 (7414), p. 137–140

3. Дьяченко В. В. Геохимия дефляционных и техногенных аэрозолей / В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте – 2020 : труды XXVIII Международной конференции, Новороссийск, 07–12 сентября 2020 года. – Новороссийск: Пензенский государственный университет, 2020. – С. 299–303. – EDN IJZVVG.
4. Геохимия Черного моря / А. Ю. Митропольский, А. А. Безбородов, Е. И. Овсяный. – Киев : Наук. думка, 1982. – 144 с.
4. Natural and human-induced hypoxia and consequences for coastal areas: synthesis and future development / J. Zhang [et al.] // Biogeosciences. 2010. Vol. 7, iss. 5. P. 1443–1467

### **Assessment of the state of bottom sediments in the port of Novorossiysk**

Matasova I. Yu.

*Kuban State University*

*350040, Krasnodar, st. Stavropolskaya, 149*

The results of studies conducted in the area of grain loading production activities in the port of Novorossiysk and at a background station located in the central part of the port water area are presented.

The conditions for the existence of marine ecosystems in the work area are determined by the morphometric features of the bay (the inner part), a large number of berths and piers that act as a wave shadow and ensure the accumulation of material, as well as the peculiarities of hydrodynamics and weak water exchange.

Bottom sediments at the mooring facilities and at the background station (layer 0–5 cm) are represented mainly by dark gray silts of silty-pelitic size with insignificant proportions of fine-grained detrital sand. In a marine environment, organic material is formed from autochthonous sources, mainly due to the primary production of phytoplankton [1]. The contribution of allochthonous material,

represented by terrigenous erosion and river runoff, is also significant [2, 3].

For modern bottom sediments of the Black Sea, the concentration of organic matter varies from 1.34% for silty silts to 4.02% in calcareous silts [4]. In the bottom sediments of the work area and at the background station, the content of organic matter ranges from 5.73% to 6.61%, which is higher than the average for sediments of the Black Sea shelf. At the same time, the content of organic matter in bottom sediments at the background point is 1.1-1.2 times higher than in the loading zone.

Bottom sediments are a thermodynamically nonequilibrium system with a certain energy reserve, generally determined by the content of organic matter and the processes of its transformation. In the water-bottom interface zone, significant concentration gradients of substances are observed, and substance flows are formed that depend on the conditions and characteristics of both the bottom layer of water and the bottom sediments themselves. This applies to the greatest extent to oxygen and hydrogen sulfide. They are the determining substances in the study of the formation of redox conditions in the environment, as well as components that determine the possibility and conditions for the existence of benthic organisms [5].

In the upper layer of bottom sediments, taken both from the berthing structures and at the background point, the value of the redox potential changes from +80.0 mV to + 88.0 mV. This indicates the formation of an oxidizing environment in the bottom sediments under consideration, due to a sufficient amount of oxygen in their upper (0-5.0 cm) layer.

In the studied bottom sediments, the content of organochlorine pesticides (OCPs) is below the sensitivity limit of the analysis method used, which indicates the absence of OCP contamination both at the berthing facilities and at the background point.

УДК 52, 535, 62, 621.37  
ГРНТИ 49.37.33  
ВАК 05.11.07

### **Концепция построения современных терминалов высокоскоростной космической лазерной связи (ВКЛС)**

\* Мурашкин В. В., \*\* Петушков С. В., Григорьев В. Н., Бояров Д. А.  
*Акционерное общество «Научно-производственная корпорация  
«Системы прецизионного приборостроения», 111024, Россия,  
г. Москва, ул. Авиамоторная, д.53, корп. 26  
email: [mvv@npk-spp.ru](mailto:mvv@npk-spp.ru), \*\* [otd1103-11@npk-spp.ru](mailto:otd1103-11@npk-spp.ru)*

В настоящее время дальнейшее развитие систем спутниковой связи (ССС) возможно исключительно на базе оптико-лазерных технологий передачи информации. Одним из новых и перспективных направлений развития СССР стали высокоскоростные межспутниковые лазерные системы передачи информации (терминалы ВКЛС) на базе низкоорбитальных космических аппаратах (КА). Повышенный интерес к низкоорбитальным и геостационарным системам спутниковой связи объясняется возможностью предоставления услуг по персональной спутниковой связи, телекоммуникации, мониторингу подвижных объектов, дистанционному зондированию Земли и широкополосному доступу в интернет.

Рассмотрены основные тактико-технические требования, предъявляемые к современным системам лазерной связи на базе унифицированных технологий. Предложена структура современного терминала ВКЛС и описаны основные блоки. Рассмотрены вопросы разработки отечественного протокола лазерной связи на базе импортных стандартов для решения вопросов совместимости терминалов ВКЛС различных производителей.

### **Список литературы**

1. S. G. Lambert, W.L. Casey, Laser Communications in space, Boston: Artech House, 1995, 390 p.

2. Пахомов И.И., Цибуля А.Б. Расчёт оптических систем лазерных приборов. М.: Радио и связь, 1986. 152 с.
3. Климков Ю.М. Прикладная лазерная оптика. М.: Машиностроение, 1985. 128 с.

### **The concept of building modern high-speed space laser communication terminals (HSLC)**

Murashkin V.V., Petushkov S.V., Grigoriev V.N., Boyarov D. A.

*Joint Stock Company "Research and Production Corporation "Precision Instrument Engineering Systems", 111024, Russia, Moscow, st. Aviamotornaya, 53, bldg. 26*

At present, further development of satellite communication systems (SCS) is possible exclusively on the basis of optical-laser technologies for information transmission. One of the new and promising directions for the development of SSS has become high-speed intersatellite laser information transmission systems (VKLS terminals) based on low-orbit spacecraft (SC). The increased interest in low-orbit and geostationary satellite communication systems is explained by the possibility of providing services for personal satellite communications, telecommunications, monitoring of moving objects, remote sensing of the Earth and broadband Internet access.

The main tactical and technical requirements for modern laser communication systems based on unified technologies are considered. The structure of the modern VKLS terminal is proposed and the main blocks are described. The issues of developing a domestic laser communication protocol based on imported standards to resolve issues of compatibility of VKLS terminals from various manufacturers are considered.

УДК 52, 535, 62, 621.37  
ГРНТИ 4.9.37.33  
ВАК 05.11.07

### **Построение системы наведения и стабилизации (СНС) для квантового распределения ключа (КРК) в атмосферном канале связи**

\* Петушков С. В., \*\* Мурашкин В. В., \* Григорьев В. Н., Бояров Д. А.  
*Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения», 111024, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная, д.53, корп. 26*  
email: \*otfd1103-11@nprk-spp.ru, \*\*mvv@nprk-spp.ru

На сегодняшний день вопрос защиты информации является особенно актуальным ввиду роста производительной вычислительной мощности современных систем. Системы квантового распределения ключей (КРК) гарантируют отсутствие подслушивания в канале и используются для генерации случайных двоичных последовательностей, известных только отправителю и получателю. Для реализации каналов КРК используются либо волоконно-оптические линии связи (ВОЛС), либо открытые атмосферные линии. В открытых линиях связи применительно к системам КРК, работающим на фазовых протоколах для обеспечения низких потерь, требуется достаточно сложная система наведения и стабилизации оптического излучения, позволяющая заводить излучение из одномодового волокна SMF-28 в SMF-28 с достаточно высокой эффективностью. Рассмотрен один из вариантов технической реализации СНС позволяющий наводить два абонента друг на друга (Алису на Боба). Представлены основные тактико-технические характеристики и структурные схемы системы СНС.

#### **Список литературы**

1. Козубов А.В., Гаїдаш А.А., Кынев С.М., Езоров В.И., Иванова А.Е., Глейм А.В., Мирошниченко Г.П., Основы квантовой коммуникации: часть 1. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 85 с.

2. Lun Jiang, Zhengshuang Dai, Xin Yu, Tianjun Dai,Chao Wang, Experimental demonstration of a single-mode fiber coupling over a 1 km urban path with adaptive optics – Journal of Russian Laser Research, Volume 42, Number 3, May, 2021, DOI 10.1007/s10946-021-09971-4

**Construction of a guidance and stabilization system (GNS) for quantum key distribution (QKD) in an atmospheric communication channel**

Petushkov S. V., Murashkin V. V., Grigoriev V. N., Boyarov D. A.  
*Joint Stock Company "Research and Production Corporation "Precision Instrument Engineering Systems", 111024, Russia, Moscow, st. Aviamotornaya, 53, bldg. 26*

Today, the issue of information security is especially relevant due to the growth in the productive computing power of modern systems. Quantum key distribution (QKD) systems ensure that a channel is free from eavesdropping and are used to generate random binary sequences known only to the sender and recipient.

To implement QKD channels, either fiber-optic communication lines (FOCL) or open atmospheric lines are used. In open communication lines, in relation to QKD systems operating on phase protocols, to ensure low losses, a fairly complex system of guidance and stabilization of optical radiation is required, which allows radiation to be fed from single-mode fiber SMF-28 into SMF-28 with sufficiently high efficiency.

One of the options for the technical implementation of a CNN is considered, which allows you to point two subscribers at each other (Alice at Bob). The main tactical and technical characteristics and structural diagrams of the SNS system are presented.

УДК 535.621  
ГРНТИ 29.31.29  
ВАК 1.3.19

### **Двухкратное повышение светоотдачи в импульсных лампах для накачки твердотельных лазеров**

Вальшин А. М.

*Уфимский университет науки и технологий, Уфа*

e-mail: [amvals@mail.ru](mailto:amvals@mail.ru)

Известно, что резонансная диодная накачка твердотельных лазеров позволила создать компактные эффективные генераторы. Однако накачка выходных каскадов больших лазерных комплексов осуществляется только цилиндрическими лампами-вспышками, при этом эффективность накачки лазеров не превышает доли процентов. Несомненно, что проблема снижения порога генерации твердотельных лазеров и повышения их эффективности остается весьма актуальной. Ранее [1-3] мы выявили монотонное снижение порога высокочастотного зажигания разряда цилиндрической лампы-вспышки лазера. Был установлен механизм снижения порога пробоя при непрерывной высокочастотной накачке через электроды лампы, а также цугом (пачками) дипольных высоковольтных гармонических колебаний. Целью данной работы являлось повышение коэффициента светоотдачи ламп-вспышек твердотельного лазера при комбинированной накачке, состоящей из высокочастотного поджига сего последующего высокочастотного розжига-раскачки и далее разряда накопительной ёмкости накачки лазера. В экспериментах использовались высоковольтные ВЧ генераторы собственной разработки, которые перекрывали диапазон частот 1-3 МГц. ВЧ генераторы обеспечивали режим накачки лампы в форме пачек, заполненных синусоидой, длительность пачек и интервал между ними варьировались. Длительность цуга спадающего импульса стандартного поджига составляет менее 10 нс при частоте цуга импульсов 300 кГц. Напротив, длительность ВЧ поджига) не менее 30 нс с частотой импульсов 2 МГц. При этом частота импульсов ВЧ раскачки 2.2 МГц с большей амплитудой длительностью 400 нс. Для сравнения эффективности комбинированной накачки ламп-вспышек по отношению к стандартной накачке были измерены зависимости мощности светового потока от энергии накачки. Энергия ёмкостной ( $C$ )

накачки рассчитывалась по формуле  $W=C*U^2/2$  при известном значении напряжения ( $U$ ) на конденсаторе. Заметим, что потребление энергии генератором ВЧГ (Рис.1) для поддержки режима розжига–раскачки не превышала величины 0.5 Дж. Вариация мощности излучения светового потока оценивалась в относительных единицах с помощью фотодиода ФД24 по амплитуде импульса на осциллографе TDS-2024. Было выявлено, что интенсивность свечения лампы-вспышки при ВЧ розжиге возрастает в 2 раза одновременно с уменьшением импеданса плазмы, что важно для задач сокращения длительности импульса накачки для некоторых активных сред. Мы полагаем, что физика достигнутого повышения эффективности светоотдачи лампы-вспышки обусловлена, как было нами показано ранее [3], увеличением концентрации электронов в объёме лампы и их коллективным перемещением между электродами в поле дипольного ВЧ розжига.

#### **Список литературы**

1. Вальшин А.М., Першин С.М., Михеев Г.М. Ограничение кратного снижения порога пробоя коммерческой лампы-вспышки лазера при кГц-накачке // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2019. No 6. С. 8–16.
2. Valshin A.M., Pershin S.M., Mikheev G.M. Increase in the efficiency of energy injection into discharge plasma and the luminous efficiency of luminescent lamps during high-frequency pumping // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. 2017. V. 44. No 8. P. 228–231.
3. Вальшин А. М., Гарнов С. В., Бельков С. А., Першин С. М. Высококачественное (МГц) зажигание коммерческих ламп-вспышек для твердотельных лазеров // Доклады Российской Академии Наук. Физика, Технические Науки, 2022, том 502, с. 19–24

#### **Twofold increase in light output in pulsed lamps for pumping solid-state lasers**

Valshin A. M.

*Ufa University of Science and Technology, Ufa*

It is known that resonant diode pumping of solid-state lasers made it possible to create compact efficient generators. However, the pumping of the output cascades of large laser complexes is carried out only by cylindrical flash lamps, while the pumping efficiency of lasers does not exceed a fraction of percent. Undoubtedly, the

problem of reducing the threshold of generation of solid-state lasers and increasing their efficiency remains very relevant. Earlier [1-3] we revealed a monotonous decrease in the threshold of high-frequency ignition of the discharge of a cylindrical laser flash lamp. A mechanism was established to reduce the breakdown threshold with continuous high-frequency pumping through the electrodes of the lamp, as well as with a plume (bundles) of bipolar high-voltage harmonic oscillations. The purpose of this work was to increase the light output coefficient of flash lamps of a solid-state laser with combined pumping, consisting of high-frequency ignition, followed by high-frequency ignition-pumping and then discharge of the accumulative capacity of the laser pump. In the experiments, high-voltage RF generators of their own design were used, which overlapped the frequency range of 1-3 MHz. RF generators provided the pumping mode of the lamp in the form of bundles filled with a sine wave, the duration of the bundles and the interval between them varied. The duration of the decaying pulse arc of a standard ignition is less than 10 microseconds at a pulse arc frequency of 300 kHz. On the contrary, the duration of HF ignition) is not less than 30 microseconds with a pulse frequency of 2 MHz. At the same time, the frequency of RF pulses is 2.2 MHz with a larger amplitude with a duration of 400 microseconds. To compare the efficiency of combined pumping of flash lamps with respect to standard pumping, the dependences of the luminous flux power on the pumping energy were measured. The energy of the capacitive (C) pumping was calculated by the formula  $W = C * U^2/2$  at a known voltage value (U) on the capacitor. Note that the energy consumption of the high-frequency generator (Fig.1) to support the ignition-pumping mode did not exceed 0.5 J. The variation of the luminous flux emission power was estimated in relative units using the FD24 photodiode by the pulse amplitude on the TDS-2024 oscilloscope. It was found that the intensity of the glow of the flash lamp during HF ignition increases by 2 times simultaneously with a decrease in the plasma impedance, which is important for the tasks of reducing the duration of the pump pulse for some active media. We believe that the physics of the achieved increase in the efficiency of the flash lamp is due, as we showed earlier [3], to an increase in the concentration of electrons in the lamp volume and their collective movement between the electrodes in the field of bipolar HF ignition.

УДК 535.621  
ГРНТИ 29.31.29  
ВАК 1.3.19

### **Высокочастотная индукционная накачка в газоразрядных лампах низкого давления**

Вальшин А. М.

*Уфимский университет науки и технологий, Уфа*

e-mail: [amvals@mail.ru](mailto:amvals@mail.ru)

Высокочастотный индукционный разряд отличается от обычного емкостного разрядатем, что формируется в условиях отсутствия каких-либо электродов в активной среде, обеспечивает чистоту разряда, а также может быть реализован большей ресурс работы. Высокочастотная индукционная накачка представляет огромный интерес для получения лазерного излучения в газовых средах за счет импульсного индукционного разряда возбуждения [1], так и для исследования плазмы разряда: электрических и оптических характеристик [2-4]. Импульсная индукционная накачка осуществляется на установке, состоящей из высоковольтного источника постоянного напряжения при напряжениях 20–40 кВ, цепи заряда накопительной емкости и блока управления для разряда емкости на колебательный контур. Индуктивностью в контуре является катушка, намотанная на поверхности активной среды. В работах [2-4] для возбуждения индукционной накачки используется промышленный ВЧ генератор непрерывного действия с регулируемой выходной мощностью выходным сопротивлением 50 или 75 Ом. Для эффективной работы требуется обязательно согласующее устройство между выходом генератора и активной средой, которое обеспечивает согласование фиксированного выходного сопротивления ВЧ генератора с комплексным импедансом плазмы, а это, в свою очередь, ограничивает возможности индукционной накачки. В данной работе для проведения экспериментальных исследований методом высокочастотной индукционной накачки предлагается использовать цуг (пачки) высокочастотных колебаний в МГц диапазоне в импульсно- периодическом режиме. Работа установки в режиме индукционной накачки обеспечивается двухканальным высокочастотным генератором собственной разработки с независимой плавной перестройкой частоты в каждом канале в диапазоне (1-6) МГц с малым выходным сопротивлением (около 1 Ом), с возможностью функционирования работы ВЧ генераторов в

импульсно-периодическом режиме, модернизированный по сравнению с использованием в работах [5-7]. Использование ВЧ генератора с малым выходным сопротивлением избавляет нас от использования согласующих устройств. Отметим, что использование промышленных ВЧ генераторов в непрерывном режиме с унифицированным выходным сопротивлением 50 или 75 Ом не позволяют работать в режиме резонанса напряжения, так как происходит перегрев элементов контура и самое главное, добротность контура будет очень незначительным. В нашем случае импульсно-периодический режим работы генератора не имеет таких недостатков, а также имеет компактные массогабаритные показатели, что очень важно при работе на высоких частотах.

#### **Список литературы**

1. Ражев А.М., Мхитарян В.М., Чуркин Д.С. FI-лазер в области 703–731 нм с возбуждением индукционным поперечным разрядом // Письма в ЖЭТФ. – 2005. – Т. 82. – Вып. 5. – С. 290–294
2. Е. А. Кралькина, Индуктивный высокочастотный разряд низкого давления и возможности оптимизации источников плазмы на его основе УФН. 178, 519 (2008).
3. Д.В. Рафальский, С. В. Дудин, К. И. Положий. Возмущение импеданса индуктора, взаимодействующего с плазмой низкой плотности. ФИП PSE, 2008, т. 6, № 3–4, vol. 6.№. 3–4.с.155–159.
4. Д.В. Рафальский, К. И. Положий. Влияние скин-эффекта на импеданс ВЧ индукционного разряда. Вестник Харьковского университета. 2007, № 763, с. 69–74.
5. Вальшин А.М., Першин С.М., Михеев Г.М. Ограничение кратного снижения порога пробоя коммерческой лампы-вспышки лазера при кГц-накачке // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2019. No 6. С. 8–16.
6. Valshin A.M., Pershin S.M., Mikheev G.M. Increase in the efficiency of energy injection into discharge plasma and the luminous efficiency of luminescent lamps during high-frequency pumping // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. 2017. V. 44. No 8. P. 228–231.
7. А. М. Вальшин, С. В. Гарнов, С. А. Бельков, С. М. Першин ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ (МГц) ЗАЖИГАНИЕ КОММЕРЧЕСКИХ ЛАМП-ВСПЫШЕК ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ // ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. ФИЗИКА, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ, 2022, том 502, с. 19–24

## **High-frequency induction pumping in low-pressure discharge lamps**

Valshin A.M.

*Ufa University of Science and Technology, Ufa*

A high-frequency induction discharge differs from a conventional capacitive discharge, which is formed in the absence of any electrodes in the active medium, ensures the purity of the discharge, and a long service life can also be realized. High-frequency induction pumping is of great interest for the production of laser radiation in gaseous media due to pulsed induction discharge excitation [1], and for the study of discharge plasma: electrical and optical characteristics [2-4]. Pulsed induction pumping is carried out on an installation consisting of a high-voltage DC voltage source at voltages of 20-40 kV, a charge circuit of a storage tank and a control unit for discharging the capacity to an oscillatory circuit. The inductance in the circuit is a coil wound on the surface of the active medium. In works [2-4], an industrial continuous RF generator with an adjustable output power and an output resistance of 50 or 75 ohms is used to excite induction pumping. For effective operation, a matching device is required between the generator output and the active medium, which ensures the matching of the fixed output resistance of the RF generator with the complex impedance of the plasma, and this, in turn, limits the possibilities of induction pumping. In this paper, it is proposed to use zug (bundles) of high-frequency oscillations in the MHz range in a pulse-periodic mode to conduct experimental studies using the method of high-frequency induction pumping. The operation of the installation in the induction pumping mode is provided by a two-channel high-frequency generator of its own design with an independent smooth frequency adjustment in each channel in the range of (1-6) MHz with a low output impedance (about 1 Ohm), with the possibility of operating RF generators in pulse-periodic mode, upgraded compared to the use in the works [5-7]. The use of an RF generator with a low output impedance saves us from using matching devices. It should be noted that the use of industrial RF generators in continuous mode with a unified output resistance of 50 or 75 ohms does not allow working in the voltage resonance mode, since the circuit elements overheat and, most importantly, the quality factor of the circuit will be very insignificant. In our case, the pulse-periodic mode of operation of the generator does not have such disadvantages, and also has compact mass-dimensional indicators, which is very important when working at high frequencies.

УДК 535.621  
ГРНТИ 29.31.29  
ВАК 1.3.19

### **Стабилизация параметров излучения твердотельных лазеров с ламповой накачкой**

Вальшин А. М.

*Уфимский университет науки и технологий, Уфа*

e-mail: [amvals@mail.ru](mailto:amvals@mail.ru)

Традиционный вид накачки (емкостная накачка) обладает минимальным КПД, хотя является наиболее простым и доступным способом. Однако помимо КПД, твердотельные лазеры с емкостной накачкой обладают существенным недостатком, нестабильностью энергии импульса излучения. Нестабильность энергии импульса излучения зависит от двух факторов, нестабильности электронного блока емкостной накачки и нестабильности канала разряда в лампе, используемой для преобразования электрической энергии в световую.

Целью данной работы являлось изучение нестабильности энергии излучения канала разряда цилиндрических ламп-вспышек лазера при импульсно-периодической накачке цузом (пачками) дипольных высоковольтных гармонических колебаний.

Ранее [1-3] мы выявили кратное снижение порога пробоя коммерческих ламп-вспышек без изменения их конструкции при использовании высокочастотной накачки на частоте несколько МГц. Установлено, что снижение порога полного зажигания лампы определяется двумя основными факторами: амплитудой высокочастотного поля и импедансом охлаждающей жидкости. В нашей работе [3] было продемонстрировано, что при ВЧ-накачке последовательностью пачек импульсов с амплитудой выше порога зажигания формирование стримера осуществляется по-разному между электродами при охлаждении водой.

Оказалось, что канал разряда формируется по-разному при одних и тех же условиях возникновения ВЧ пробоя, т.е. длина канала разряда может изменяться от случая к случаю более чем в полтора раза, что может являться истинной причиной нестабильности энергии излучения ламп-вспышек лазера. При разряде лампы, охлаждаемой трансформаторным маслом при тех же условиях, стример разряда формируется между остриями электродов по минимальному расстоянию в отличие от случая

охлаждения водою, когда стример соединял основания электродов и был длиннее на 2–3 см.

Полученные результаты показывают возможность существенно повысить стабильность работы твердотельных лазеров с ламповой накачкой.

### **Список литературы**

1. Вальшин А.М., Першин С.М., Михеев Г.М. Ограничение кратного снижения порога пробоя коммерческой лампы-вспышки лазера при kHz-накачке // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2019. No 6. С. 8–16.

2. Valshin A.M., Pershin S.M., Mikheev G.M. Increase in the efficiency of energy injection into discharge plasma and the luminous efficiency of luminescent lamps during high-frequency pumping // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. 2017. V. 44. No 8. P. 228–231.

3. А. М. Вальшин, С. В. Гарнов, С. А. Бельков, С. М. Першин  
ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ (МГц) ЗАЖИГАНИЕ КОММЕРЧЕСКИХ ЛАМП-  
ВСПЫШЕК ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ // ДОКЛАДЫ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. ФИЗИКА, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ,  
2022, том 502, с. 19–24

### **Stabilization of radiation parameters of lamp-pumped solid-state lasers**

Valshin A.M.

*Ufa University of Science and Technology, Ufa*

The traditional type of pumping (capacitive pumping) has minimal efficiency, although it is the simplest and most affordable way. However, in addition to efficiency, solid-state lasers with capacitive pumping have a significant disadvantage, the instability of the energy of the radiation pulse. The instability of the energy of the radiation pulse depends on two factors, the instability of the capacitive pumping electronic unit and the instability of the discharge channel in the lamp used to convert electrical energy into light.

The purpose of this work was to study the instability of the radiation energy of the discharge channel of cylindrical laser flash lamps during pulsed-periodic pumping of bipolar high-voltage harmonic oscillations with a zug (bundles).

Earlier [1–3] we revealed a multiple decrease in the breakdown threshold of commercial flash lamps without changing their design

when using high-frequency pumping at a frequency of several MHz. It is established that the decrease in the threshold of full lamp ignition is determined by two main factors: the amplitude of the high-frequency field and the impedance of the coolant. In our work [3], it was demonstrated that when RF is pumped by a sequence of pulse packets with an amplitude above the ignition threshold, the formation of the streamer is carried out differently between the electrodes when cooled with water.

It turned out that the discharge channel is formed differently under the same conditions of occurrence of RF breakdown, i.e. the length of the discharge channel can vary from case to case by more than one and a half times, which may be the true cause of the instability of the radiation energy of laser flash lamps. When a lamp cooled by transformer oil is discharged under the same conditions, a discharge streamer is formed between the tips of the electrodes at a minimum distance, unlike in the case of cooling with water, when the streamer connected the bases of the electrodes and was 2-3 cm longer.

The results obtained show that it is possible to significantly increase the stability of the operation of solid-state lasers with tube pumping.

## ПРЕДСТАВЛЯЕМ ЖУРНАЛ INTRODUCING THE MAGAZINE

### **Фотоника**

Научно-технический журнал о новых оптических и фотонных технологиях и их использовании в научных исследованиях, индустрии (металлообработка и стеклопродукция), медицине и биологии; рассматривает широкий круг вопросов оптического материаловедения, оптических систем и элементов (лазерных, светотехнических, электрооптических, оптоволоконных, фотовольтаических), систем машинного зрения и навигации, контрольно-измерительной аппаратуры.

### **Издательство журнала «Фотоника» РИЦ «Техносфера»**

г. Москва, ул. Краснопролетарская, 16, под.5 Для писем: 125319, г. Москва, а/я 91

Тел.: +7(495)234-01-10

Факс: +7(495) 956-33-46

E-mail: [rec-knigi@electronics.ru](mailto:rec-knigi@electronics.ru)

URL: <http://www.technosphere.ru>

Журнал «Фотоника» посвящён оптическим системам любого типа (электрооптическим, оптоволоконным, лазерным, полностью оптическим), их элементам и технологиям. Журнал включён в список ВАК и WebofScience. Издатель – ЗАО «РИЦ Техносфера».

Цель издания – глубокое и подробное освещение вопросов, связанных с оптическими системами передачи, оптическими технологиями, оптическими материалами и элементами, оборудованием и станками, используемыми в оптических системах. Журнал рассматривает следующие темы:

- фотовольтаика, фотозлектронные преобразователи;
- лазеры и лазерные системы;
- оптические системы и элементы;
- электрооптические системы;
- ВОЛС и оптические системы связи;
- оптические волокна и кабели;
- технологическое оптическое оборудование;
- контроль и измерение;

– новые оптические технологии.

Журнал адресован тем, кто принимает решение – руководителям предприятий и ведомств, менеджерам разных уровней; тем, кто отвечает за технический уровень производства – инженерам, технологам и специалистам различного профиля; тем, кто хочет повысить свой технический и образовательный уровень – аспирантам и студентам старших курсов профильных вузов.

Правила оформления статей на сайте – <http://www.technosphere.ru>

### **Photonics**

Scientific and technical journal about new optical and photonic technologies and their use in scientific research, industry (metalworking and glass products), medicine and biology; considers a wide range of issues of optical materials science, optical systems and elements (laser, lighting, electro-optical, fiber-optic, photovoltaic), machine vision and navigation systems, instrumentation.

Publishing house of the magazine "Photonics" RIC "Technosphere"  
Moscow, st. Krasnoproletarskaya, 16, sub.5 For letters: 125319,  
Moscow, PO Box 91

Tel.: +7(495)234-01-10

Fax: +7(495) 956-33-46

E-mail: rec-knigi@electronics.ru

URL: <http://www.technosphere.ru>

Photonics magazine is dedicated to optical systems of any type (electro-optical, fiber-optic, laser, all-optical), their elements and technologies. The journal is included in the list of VAK and WebofScience. Publisher – CJSC "RIC Technosphere".

The purpose of the publication is a deep and detailed coverage of issues related to optical transmission systems, optical technologies, optical materials and elements, equipment and machines used in optical systems.

The journal covers the following topics:

- photovoltaics, photoelectronic converters;
- lasers and laser systems;

- optical systems and elements;
- electro-optical systems;
- FOCL and optical communication systems;
- optical fibers and cables;
- technological optical equipment;
- control and measurement;
- new optical technologies.

The magazine is addressed to those who make decisions - heads of enterprises and departments, managers of different levels; those who are responsible for the technical level of production - engineers, technologists and specialists of various profiles; those who want to improve their technical and educational level - graduate students and senior students of specialized universities.

Rules for the design of articles on the site - <http://www.technosphera.ru>

**ПРЕДСТАВЛЯЕМ ЖУРНАЛ  
INTRODUCING THE MAGAZINE**

**Безопасность в техносфере  
Safety in the Technosphere**

ISSN 1998-071X

Научно-издательский центр "ИНФРА-М"

## БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

Издается с июля 2006 года



2006 г.



2007 г.



2008 г.



2009 г.



2010 г.



2011 г.



2012 г.

**Включён в Перечень ведущих научных журналов,  
рекомендованных ВАК России для публикации  
результатов докторских и кандидатских диссертаций,  
индекс научного цитирования (РИНЦ),  
научную электронную библиотеку**

**Содержание журнала ориентировано на рассмотрение  
комплекса вопросов, связанных с обеспечением безопасности  
в техносфере, в частности промышленной и экологической  
безопасности, защите в чрезвычайных ситуациях, безопаснос-  
ти труда, методам и средствам обеспечения безопасности,  
образованию по безопасности**

**Издается при организационной поддержке:**

- МГТУ им. Н.Э. Баумана;
- научно-методического совета по безопасности жизнедеятельности Минобрнауки России;
- учебно-методического объединения вузов по университетскому политехническому образованию.

**Предназначен для:**

- научных работников;
- практиков;
- преподавателей;
- аспирантов;
- студентов;
- риск-менеджеров;
- конструкторов и проектантов систем безопасности

**Подписной индекс Агентства "Роспечать" - 18316**

**Подписаться можно также в альтернативных агентствах  
и в Научно-издательском центре "ИНФРА-М"**

**Координаты Издательства и редакции журнала можно узнать**

**на сайте журнала [www.magbvt.ru](http://www.magbvt.ru);**

**E-MAIL: [bvt@magbvt.ru](mailto:bvt@magbvt.ru), [magbvt@list.ru](mailto:magbvt@list.ru)**

**Адрес: 127282, Москва, ул. Полярная 31В, стр. 1**

**Тел: (495)380-05-41, (495)363-42-70 (доб.390)**

**Факс: (495) 363-92-12; [www.infra-m.ru](http://www.infra-m.ru)**

**Подписка: тел: (495) 380-05-40 (доб.249),**

**E-MAIL: [poster1@infra-m.ru](mailto:poster1@infra-m.ru)**

## ПРЕДСТАВЛЯЕМ ЖУРНАЛ INTRODUCING THE MAGAZINE

### **Лазеры. Измерения. Информация**

Журнал "Лазеры. Измерения. Информация" является периодическим сетевым научным изданием открытого доступа по проблемам лазерной физики, физическим основам применения лазеров и по вопросам приборостроения для измерения физико-химических свойств материалов, взаимодействию лазерного излучения на вещество. Журнал основан в 2020 году учредителем – БГТУ им. В. Г. Шухова. Издаётся журнал с 2021 года с периодичностью 4 раза в год. Издателем журнала является Новороссийский филиал БГТУ им. В. Г. Шухова (адрес: 353919, Россия, г. Новороссийск, Мысхакское шоссе 75, редак.-издат. отдел НФ БГТУ им. В. Г. Шухова, редакция журнала ЛИИ). На страницах журнала публикуются оригинальные статьи, посвящённые различным направлениям теоретических и прикладных исследований в данных областях.

В журнале "Лазеры. Измерения. Информация" печатаются статьи с результатами оригинальных исследований, обзорные статьи и краткие сообщения. Статьи должны быть оформлены в соответствии с правилами подготовки рукописей.

Разделы журнала:

- Лазерная физика
- Взаимодействие лазерного излучения с веществом
- Лазерная спектроскопия
- Лазерные и оптические измерения
- Приборостроение
- Персоналии

Правила оформления статей на сайте – <https://lasers-measurement-information.ru/ojs/index.php/laser>

### **Lasers. Measurements. Information**

The journal "Lasers. Measurements. Information" is an open-access periodical online scientific publication on the problems of laser physics, the physical foundations of the use of lasers, and on issues of instrumentation for measuring the physical and chemical properties of materials, interaction of laser radiation on matter.. The journal was founded in 2020 by the founder – BSTU V. G. Shukhov. The magazine has been published since 2021 with a frequency of 4 times a year. The publisher of the journal is the Novorossiysk branch of BSTU. V. G. Shukhova (address: 353919,

Russia, Novorossiysk, Myskhakskoe shosse 75, editorial and publishing department of the NF BSTU named after V. G. Shukhov, editorial office of the journal LII). The journal publishes original articles on various areas of theoretical and applied research in these areas.

The journal "Lasers. Measurements. Information" publishes articles with the results of original research, review articles and brief communications. Articles must be formatted in accordance with the rules for preparing manuscripts.

Sections of the journal:

- Laser physics
- Interaction of laser radiation with matter
- Laser spectroscopy
- Laser and optical measurements
- Instrumentation
- Personalities

Rules for the design of articles on the site - <https://lasers-measurement-information.ru/ojs/index.php/laser>

### Содержание

<b>СЕКЦИЯ А-1 ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА И ТЕХНИКА</b>	
<b>Привалов В. Е.</b> От редактора (Privalov V. E. From the Editor)	6
<b>Головицкий А. П., Концевая В. Г., Куликов К. Г.</b> Электродинамическая модель рассеяния лазерного излучения кластерами неоднородных биологических частиц в случае <i>in vitro</i> (Golovitskii A. P., Kontsevaya V. G., Kulikov K. G. An electrodynamic simulation of laser radiation scattering by inhomogeneous biological particles <i>in vitro</i> )	8
<b>Головицкий А. П., Концевая В. Г., Куликов К. Г.</b> <i>In vivo</i> определение характеристик рассеяния лазерного излучения клетками крови, а также функции распределения их по размерам (Golovitskii A. P., Kontsevaya V. G., Kulikov K. G. <i>In vivo</i> evaluation of characteristics of laser radiation scattering by blood corpuscles and their size distribution function as well)	10
<b>Тимченко Е. В., Тимченко П. Е., Лямин А. В., Бажутова И. В., Трунин Д. А., Фролов О. О., Волова Л. Т., Зотова А. В.</b> Применение метода спектроскопии комбинационного рассеяния для идентификации стафилококков с гемолитической активностью у пациентов с пародонтитом (Timchenko E. V., Timchenko P. E., Lyamin A. V., Bazhutova I. V., Trunin D. A., Frolov O. O., Volova L. T., Zotova A. V. The use of Raman spectroscopy for the identification of staphylococci with hemolytic activity in patients with periodontitis)	12
<b>Тимченко П. Е., Тимченко Е. В., Рябов Н., Фролов О. О., Волова Л. Т., Иванов С. С.</b> Оптические методы исследования состава гидрогелей коллагена на основе тканей человека для 3D-биопринтинга и регенеративной медицины (Timchenko P. E., Timchenko E. V., Ryabov N., Frolov O. O., Volova L. T., Ivanov S. S. Optical methods for studying the composition of collagen hydrogels based on human tissues for 3D bioprinting and regenerative medicine)	16
<b>Тимченко Е.В., Тимченко П. Е., Долгушкин Д. А., Фролов О. О., Николаенко А. Н., Волова Л. Т., Иванов В. В., Ионов А. Ю., Самизуллин Р. Т.</b> Хемометрический анализ спектральных изменений поверхности титановых имплантатов, покрытых	20

гидроксиапатитом в доклинических испытаниях у животных (Timchenko E. V., Timchenko P. E., Dolgushkin D. A., Frolov O. O., Nikolayenko A. N., Volova L. T., Ivanov V. V., Ionov A. Y., Samigullin R. T. Chemometric analysis of spectral changes in the surface of titanium implants coated with hydroxyapatite in preclinical trials in animals)	
<b>Тимченко Е. В., Тимченко П. Е., Фролов О. О., Волова Л. Т., Магсумова О. А., Козлова Т. В., Полканова В. А., Джалилова Н. В.</b> Исследование динамики оптических свойств эмали и ротовой жидкости зубов пациентов после процедуры отбеливания (Timchenko E. V., Timchenko P. E., Frolov O. O., Volova L. T., Magsumova O. A., Kozlova T. V., Polkanova V. A., Dzhalilova N. V. Study of the dynamics of the optical properties of the enamel and oral fluid of the teeth of patients after the office whitening procedure)	25
<b>Осипов В. В., Платонов В. В., Лисенков В. В., Тихонов Е. В.</b> Воздействие лазерного излучения на пористые мишени из прозрачных материалов (Osipov V. V., Platonov V. V., Lisenkov V. V., Tikhonov E. V. The effect of laser radiation on porous targets made of transparent materials)	29
<b>Привалов В. Е., Шеманин В. Г.</b> О системе в связке «Лазеры. Измерения. Энергетика» (Privalov V. E., Shemanin V. G. About the system in the bundle «Lasers. Measurements. Energy»)	32
<b>Свистунов Д. В.</b> Адаптация методики торцевой модовой спектроскопии для измерения параметров трёхмерных оптических волноводов (Svistunov D. V. Adaptation of the end-fire mode spectroscopy technique for measurement of parameters of 3D optical waveguides)	34
<b>Мусоров И. С., Тригуб М. В., Евтушенко Г. С.</b> 200 кГц усилитель яркости на парах металлов для скоростной визуализации объектов (Musorov I. S., Trigub M. V., Evtushenko G. S. 200 kHz metal vapor brightness amplifier for high speed visualization of the objects)	37
<b>Тимченко Е. В., Тимченко П. Е., Фролов О. О., Волова Л. Т., Власов М. Ю., Зыбин М. А., Шипко С. С.</b> Рамановская спектроскопия для оценки дентинных материалов в процессе их изготовления (Timchenko E. V.,	42

Timchenko P. E., Frolov O. O., Volova L. T., Vlasov M. Y., Zybin M. A., Shipko S. S. Raman spectroscopy for the evaluation of dentinal materials during their manufacture)	
<b>Коротких И. И., Малахов Ю. И., Скорнякова Н. М.</b> Тенево́й фоново́й метод как беско́нтáктный спосо́д определе́ния температу́рного по́ля разря́да на по́верхности опти́чески про́зрачных диэ́лектриков (Korotkikh I., Malakhov Yu., Skornyakova N. Background oriented shlieren method as a contactless way for determination of the temperature field of discharge on the surface of optically transparent dielectrics)	46
<b>Чеботарев Г. Д.</b> Временна́я эволю́ция парамет́ров активно́й сре́ды много́волново́го ла́зера на пара́х стронци́я (Chebotarev G. D. Temporal evolution of the parameters of the active medium of a multiwavelength strontium vapour laser)	48
<b>Кожевников В. А., Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Аммосов А. П.</b> Положи́тельный столб́ разря́да посто́янного то́ка в ла́зерных тру́бках пере́менно́го ди́аметра для дву́хкомпонентно́го га́за (Kozhevnikov V. A., Privalov V. E., Fotiadi A. E., Ammosov A. P. Positive column of DC discharge in laser tubes of variable diameter for two-component gas)	50
<b>Шиянов Д. В., Евтушенко Г. С.</b> Исследо́вание характе́ристик $MnCl_2$ и $MnBr_2$ -ла́зеров (Shiyanov D. V., Evtushenko G. S. Study of the $MnCl_2$ and $MnBr_2$ -lasers characteristics)	52
<b>Шиянов Д. В., Евтушенко Г. С.</b> Ла́зер на пара́х ме́ди с емкостным спосо́бом возбу́ждения (Shiyanov D. V., Evtushenko G. S. Copper vapor laser with capacitive excitation)	56
<b>Панченко А. Н., Тарасенко В. Ф.</b> Новые мето́ды создáния га́зовых активны́х сре́д (Panchenko A. N., Tarasenko V. F. New methods for obtaining gaseous active media)	60
<b>Тарасенко В. Ф., Панченко А. Н.</b> Спектры излу́чения ксе́нона и а́ргона в об́ласти 120...800 нм при возбу́ждении диффу́зным субна́носекундным разря́дом (Tarasenko V. F., Panchenko A. N. Emission spectra of xenon and argon in the range 120...800 nm upon	63

excitation by a diffuse subnanosecond discharge)	
<b>Мурашкина Т. И., Бадеев В. А., Аксенов А. М.</b> Волоконно-оптический рефрактометрический способ диагностики качества прозрачных жидкостей (Murashkina T. I., Badeev V. A., Aksenov A. M. Fiber-optic refractometric method for diagnosing the quality of transparent liquids)	66
<b>Куценко С. А.</b> Использование полупроводниковых лазеров в поляризационно-оптическом методе определения содержания глутаминовой кислоты и её солей в растворах (Kutsenko S. A. The use of semiconductor lasers in the polarization-optical method for determining the content of glutamic acid and its salts in solutions)	68
<b>Бахус А. В., Казанцев С. Ю., Казиева Т. В., Пчелкина Н. В.</b> Особенности работы детектора одиночных фотонов на установке EMQOS 1.0, сопряженной с АОЛС (Bahus A. V., Kazantsev S. Yu., Kazieva T. V., Pchelkina N. V. The features of the single photon detector on the EMQOS 1.0 platform, connected with the AOCL)	70
<b>Зотова А. М., Казанцев С. Ю., Пчелкина Н. В.</b> Квалитетический анализ тенденций развития квантовых технологий (Zotova A. M., Kazantsev S. Y., Pchelkina N. V. Qualimetric analysis of trends in the quantum technologies)	72
<b>Андреев Д. П.</b> Экспериментальное исследование влияния керровской нелинейности волоконного световода на спектральные характеристики оптического излучения (Andreev D. P. Experimental study of the effect of the Kerr nonlinearity of a fiber fiber on the spectral characteristics of optical radiation)	74
<b>Иванов И. Г.</b> Многоволновый режим генерации ионного лазера на тройной смеси паров мышьяка с гелием и неоном (Ivanov I. G. Multiwave mode of ion laser action on a triple mixture of arsenic vapors with helium and neon)	77
<b>Мурашкина Т. И., Бадеев В. А., Аксенов А. М.</b> Волоконно-оптический рефрактометрический способ диагностики качества прозрачных жидкостей (Murashkina T. I., Badeev V. A., Aksenov A. M. Fiber-optic refractometric method for diagnosing the quality of	80

transparent liquids)	
<b>Бадеева Е. А., Мурашкина Т. И., Паршикова Т. В. Бадеев В. А., Плотникова Е. Ю., Пономаренко Т. В.</b> Метрологическая модель волоконно-оптического датчика давления языка на нёбо аттенюаторно-отражательного типа (Badeeva E. A., Murashkina T. I., Parshikova T. V. Badeev V. A. Plotnikova E. Yu., Vasiliev Yu. A., Ponomarenko T. V. Metrological model of a fiber-optic tongue pressure sensor on the palate of an attenuator-reflective type)	82
<b>Кузейко М. М., Фираго В. А.</b> Влияния параметров и характеристик спектральной аппаратуры на результаты определения оптических характеристик биообъектов (Kugeiko M. M., Firago V. A. Influence of parameters and characteristics of spectral apparatus on the results of determination of optical characteristics of bioobjects)	84
<b>Фираго В. А., Кузейко М. М.</b> Измеритель сатурации венозной крови в коре головного мозга (Firago V. A, Kugeiko M. M. Venous blood saturation meter in the cerebral cortex)	91
<b>Орёл Н. М., Лисенкова А. М, Абакунчик Д. В., Артемук Я. Н., Семченко А. Ю.</b> Активность антиоксидантных ферментов и интенсивность процессов ПОЛ в печени крыс при действии лазерного излучения в сочетании с фенольными соединениями лекарственных растений в опытах <i>in vitro</i> (Oryol N. M., Lisenkova A. M, Abakunchik D. V., Artemuk Ya. N., Semchenko A. Yu. Activity of antioxidant enzymes and intensity of LP processes in the liver of rats under the action of laser radiation in combination with phenolic compounds of medicinal plants in experiments <i>in vitro</i> )	99
<b>Шепелев А. Е., Антипов А. А., Путилов А. Г. Солохин С. А., Тарасова А. А.</b> Оптические системы формирования лазерного излучения с большими углами расходимости (Shepelev A. E., Antipov A. A., Putilov A. G., Solokhin S. A., Tarasova A. A. Optical systems for the formation of laser radiation with large divergence angles)	103
<b>Баскакова А. В., Кузнецов С. Н., Поляков С. Ю., Приходько К. И., Широбакин С. Е.</b> Некоторые аспекты архитектуры терминалов лазерной связи для низкоорбитальной спутниковой группировки	105

(Baskakova A. V., Kuznetsov S. N., Polyakov S. Yu., Prihod'ko K. I., Shirobakin S. E. Some aspects of the architecture of laser communication terminals for a low-orbit satellite constellation)	
<b>Каменский А. А., Огнев Б. И., Пителин Н. О., Трофимов И. М., Широбакин С. Е.</b> Применение мультиспектрального лазерного излучателя в качестве нелетального средства деорнитизации (Kamensky A. A., Ognev B. I., Pitelin N. O., Trofimov I. M., Shirobakin S. E. Application of Multispectral Laser Emitter as Non-lethal Deterrent)	108
<b>Боев А. А., Керносов М. Ю., Кузнецов С. Н., Миронов Ю. Б., Паршин А. А.</b> Оценка возможности реализации системы беспроводной оптической связи с одномодовым приемопередатчиком (Boev A. A., Kernosov M. Yu., Kuznetsov S. N., Mironov Yu. B., Parshin A. A. Evaluation of the wireless optical communication system with a single-mode transceiver implementing possibility)	111
<b>Боев А. А., Каменский А. А., Пителин Н. О., Поляков С. Ю.</b> Вопросы архитектуры оборудования беспроводной оптической связи для соединения подвижных объектов (Boev A. A., Kamensky A. A., Pitelin N. O., Polyakov S. Yu. Architecture issues of wireless optical communication equipment for connecting mobile objects)	114
<b>Приходько К. И., Кузнецов С. Н.</b> Пространственно-временная обработка сигнала удаленного маяка в задачах наведения терминалов атмосферной оптической лазерной связи (Prihodko K. I., Kuznetsov S. N. Space-time signal processing of a remote optical beacon in the tasks of guidance terminals of free space optics systems)	118
<b>Казанцев С. Ю., Кузнецов С. Н., Максимов А. Ю., Пчелкина Н. В.</b> Оценка целесообразности использования атмосферной оптической связи на объектах использования атомной энергии (Kazantsev S. Yu., Kuznetsov S. N., Maksimov A. Yu., Pchelkina N. V. Evaluation of the feasibility of using atmospheric optical communication at nuclear facilities)	121
<b>Лисенкова А. М., Орёл Н. М., Железнякова Т. А.</b> Фитолазерофорез – интенсивно развивающийся метод	123

лазеротерапиу (Lisenkova A. M., Oryol N. M., Zheleznyakova T. A. Phytolaserophoresis is an intensively developing method of laser therapy)	
<b>Болотов Д. В., Бушуев Э. В., Грычкин С. Е., Казанцев С.Ю., Казиева Т. В., Колесников О. В., Строганова Е. П.</b> Воздействие атмосферных разрядов на квантовое распределение ключей по оптическому волокну (Bolotov D. V., Bushuev E. V., Grychkin S. E., Kazantsev S.Yu., Kazieva T. V., Kolesnikov O. V., Stroganova E. P. The effect of atmospheric discharges on the quantum keys distribution through an optical fiber)	126
<b>Прокопьев В. Е., Лубенко Д. М.</b> О механизме генерации направленного широкополосного суперконтинуума возникающего при абберационном распространении в воздухе фемтосекундного лазерного излучения с центральной длиной волны 940 нм (Prokoriev V. E., Lubenko D. M. On the mechanism of generation of a directional broadband supercontinuum of femtosecond laser radiation with a central wavelength of 940 nm arising during aberrational propagation in air)	128
<b>Юран С. И., Зарипов М. Р., Вершинин М. Н.</b> Об использовании полупроводникового лазера в агротехнологиях (Yuran S. I., Zaripov M. R., Vershinin M. N. The use of a semiconductor laser in agricultural technologies)	132
<b>Тимошенко А. С., Жуковский Д. Д., Казанцев С. Ю., Пчелкина Н. В.</b> Выбор оптимальной длины волны для квантового распределения ключей через ИСЗ (Timoshenko A. S., Zhukovsky D. D., Kazantsev S. Y., Pchelkina N. V. Choice of the Optimal Wavelength for Quantum Key Distribution via artificial Earth satellites)	134
<b>Ларионов Н. В., Молчановский В. М.</b> Влияние параметров лазерного импульса на формирование квантовых вихрей, образующихся при надбарьерной ионизации двумерной квантовой системы (Larionov N. V., Molchanovskiy V. M. Influence of laser pulse parameters on the formation of quantum vortices formed during over-barrier ionization of a two-dimensional quantum system)	136
<b>Бадеев В. А., Васильев Ю. А., Бадеева Е. А., Павлюченко И. И., Истомина Т. В.</b> Лазерные технологии, как альтернативный метод	139

<p>диагностики в акушерско-гинекологической и неонатологической работе (Kulikova I. A., Plotnikova E. Yu., Murashkina T. I., Badeev V. A., Vasiliev Yu. A., Badeeva E. A., Pavlyuchenko I. I., Istomina T. V. Laser technologies as an alternative diagnostic method in obstetric-gynecological and neonatology work)</p>	
<p><b>Кожебников В. А., * Привалов В. Е.</b>          Новый метод решения уравнения Гельмгольца для расчёта энергетических характеристик He-Ne лазера (Kozhevnikov V. A., Privalov V. E. A new method for solving the Helmholtz equation for calculating the energy characteristics of a He-Ne laser)</p>	143
<p><b>Васильева А. В., Прокопьев В. Е., Реймер И. В., Солдатов А. Н., Шумейко А. С.</b>          Энергетические и спектроскопические исследования генерации на электронных переходах атома и иона бария при возбуждении высоковольтным импульсным разрядом (Vasil'eva A. V., Prokoriev V. E., Reimer I. V., Soldatov A. N., Shumeyko A. S. Energy and spectroscopic studies of generation on electronic transitions of a barium atom and ion upon excitation by a high-voltage pulsed discharge)</p>	145
<b>СЕКЦИЯ Б-2 НАНОТЕХНОЛОГИИ</b>	
<p><b>Бойченко А. П., Лифиренко В. А.</b>          Испытания устройства с программным управлением анодирования металлов по их электролюминесценции (Boychenko A. P., Lifirenko V. A. Tests of a device with program control for anodizing metals by their electroluminescence)</p>	147
<p><b>Шеманин В. Г., Мкртычев О. В.</b>          Параметры лазерной абляции для кристаллических световодов ИК-диапазона (Shemanin V. G., Mkrtychev O. V. Laser ablation parameters for crystalline optical fibers in the IR range)</p>	151
<p><b>Пестерева П. В., Южакова А. А., Южаков И. В., Салимгареев Д. Д., Львов А. Е., Шмыгалев А. С.,* Жукова Л. В.</b>          Электрические свойства оптических материалов на основе галогенидов серебра и одновалентного таллия (Pestereva P. V., Yuzhakova A. A., Yuzhakov I. B., Salimgareev D. D., L'von A. E., Shmygalev A. S., Zhukova L. V. Electrical properties of optical materials based on silver and univalent thallium halides)</p>	153

<p><b>Салимгареев Д. Д., Шатунова Д. В., Южакова А. А., Львов А. Е., Пестерева П. В., Жукова Л. В.</b>          Функциональные свойства монокристаллов и керамики системы <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-AgI}</math> (Salimgareev D. D., Shatunova D. V., Yuzhakova A. A., L'vov A. E., Pestereva P. V., Zhukova L. V. Functional properties of single crystals and ceramics of the system <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-AgI}</math>)</p>	<p>155</p>
<p><b>Львов А. Е., Южакова А. А., Салимгареев Д. Д., Пестерева П. В., Шатунова Д. В., Корсаков А. С., Жукова Л. В.</b>          Пропускание материалов системы <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-AgI}</math> в ТГц диапазоне (L'vov A. E., Yuzhakova A. A., Salimgareev D. D., Pestereva P. V., Shatunova D. V., Korsakov A. S., Zhukova L. V. Transmission of <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-AgI}</math> system materials in the THz range)</p>	<p>157</p>
<p><b>Кучеренко Ф. М., Воробьева Д. А., Жукова Л. В., Корсаков А. С., Салимгареев Д. Д., Львов А. Е.</b>          Получение спектров сцинтилляции хлорида неодима в матрицах галогенидов серебра (Kucherenko F. M., Vorobyova D. A., Zhukova L. V., Korsakov A. S., Salimgareev D. D., L'vov A. E. Obtaining scintillation spectra of neodymium chloride in silver halide matrices)</p>	<p>159</p>
<p><b>Салимгареев Д. Д., Южакова А. А., Львов А. Е., Пестерева П. В., Кондрашин В. М., Кабыкина Е. Ю., Жукова Л. В.</b>          Исследование оптических свойств монокристаллов и оптической керамики систем <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}</math> и <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}</math> (Salimgareev D. D., Yuzhakova A. A., L'vov A. E., Pestereva P. V., Kondrashin V. M., Kabykina E. Y., Zhukova L. V. Investigation of optical properties of single crystals and optical ceramics of systems <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}</math> and <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}</math>)</p>	<p>161</p>
<p><b>Львов А. Е., Южакова А. А., Салимгареев Д. Д., Шукина А. А., Барыкина С. Е., Южаков И. В., Кабыкина Е. Ю., Жукова Л. В.</b>          Исследование оптических свойств материалов систем <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}</math> и <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}</math> в диапазоне 0,2-1,0 ТГц (L'vov A. E., Yuzhakova A. A., Salimgareev D. D., Schukina A. A., Barykina S. E., Yuzhakov I. V., Kabykina E. Y., Zhukova L. V. Investigation of the optical properties of materials of the <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}</math> and <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}</math> systems in the range of 0.2-1.0 THz)</p>	<p>163</p>
<p><b>Салимгареев Д. Д., Южакова А. А., Львов А. Е., Южаков И. В.,</b></p>	<p>165</p>

<p><b>Корсаков А. С., Жукова Л. В.</b> Инфракрасные световоды из монокристаллов и оптической керамики систем <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}</math> и <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}</math> (Salimgareev D. D., Yuzhakova A. A., L'vov A. E., Yuzhakov I. V., Korsakov A. S., Zhukova L. V. Infrared fiber-optic light guides from single crystals and optical ceramics systems <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}</math> and <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}</math>)</p>	
<p><b>Кондрашин В. М., Шатунова Д. В., Салимгареев Д. Д., Южакова А. А., Львов А. Е., Корсаков А. С., Жукова Л. В.</b> Влияние воздействия <math>\beta</math>-излучения на оптические материалы на основе твёрдых растворов системы <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-AgI}</math> (Kondrashin V. M., Shatunova D. V., Salimgareev D. D., Yuzhakova A. A., L'vov A. E., Korsakov A. S., Zhukova L. V. Effect of <math>\beta</math>-radiation on optical materials based on solid solutions of <math>\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}\text{-AgI}</math> system)</p>	167
<p><b>Фахрутдинова Е. Д., Волокитина А. В., Гончарова Д. А., Светличный В. А.</b> Фотокаталитические и антибактериальные свойства металл-оксидных нанокмпозитов <math>\text{ZnO-Ag}</math>, полученных импульсной лазерной абляцией (Fakhrutdinova E. D., Volokitina A. V., Goncharova D. A., Svetlichnyi V. A. Photocatalytic and Antibacterial Properties of <math>\text{ZnO-Ag}</math> Metal-Oxide Nanocomposites Obtained by Pulsed Laser Ablation)</p>	169
<p><b>Фахрутдинова Е. Д., Реутова О. А., Водянкина О. В., Светличный В. А.</b> Лазерный синтез и модификация наночастиц темного <math>\text{TiO}_2</math> для фотокаталитических применений (Fakhrutdinova E. D., Reutova O. A., Vodyankina O. V., Svetlichnyi V. A. Laser Synthesis and Modification of Dark <math>\text{TiO}_2</math> Nanoparticles for Photocatalytic Applications)</p>	171
<p><b>Куц Р. И., Белоусов Д. А., Корольков В. П.</b> Прямая лазерная запись дифракционных микроструктур на тонкой двуслойной плёнке <math>\alpha\text{-Si/Cr}</math> (Kuts R. I., Belousov D. A., Korol'kov V. P. Direct laser writing of diffractive microstructures on a thin bi-layer <math>\alpha\text{-Si/Cr}</math> film)</p>	173
<b>СЕКЦИЯ В-3 КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ</b>	
<p><b>Воробьев А. Е., Дьяченко В. В., Воробьев К. А.</b> Влияние информационных технологий и цифровизации на интернационализацию вузов (Vorob'yov A. E., D'yachenko</p>	175

V. V., Vorob'yov K. A. The impact of information technology and digitalization on the internationalization of universities)	
<b>Колачев И. О., Кочин Л. Б.</b> Учебный аппаратно-программный комплекс для обработки изображений (Kolachev I. O., Kochin L. B. Training computer aided system for image processing)	183
<b>Кукушкин А. Н, Мурашкина Т. И., Бадеев В. А.</b> Функция преобразования волоконно-оптического преобразователя угла наклона маятникового типа (Kukushkin A. N, Murashkina T. I., Badeev V. A. The conversion function of the fiber-optic converter of the angle of inclination of the pendulum type)	186
<b>Аль-Дарраджи Часиб Хасан, Сухомлинов А. Ю.</b> Двумерное спектральное преобразование Уолша в задачах анализа ультразвуковых изображений внутренних органов человека (Al-Darrajji Chasib Hasan, Sukhomlinov A. Y. Two-Dimensional Walsh Spectral Transform in Human Ultrasound Image Analysis Problems)	188
<b>Бутусов А. В.</b> Гибридный классификатор для системы дистанционного мониторинга функционального состояния органов дыхания (Butusov A. V. Hybrid classifier for the system of remote monitoring of the functional state of the respiratory system)	192
<b>Горбачев И. Н., Заикин Я. О., Рыбаков А. Ю.</b> Алгоритм управления беспилотным летательным аппаратом при экологическом мониторинге (Gorbachev I. N., Zaikin Ya. O. Rybakov A. Yu. Control algorithm for an unmanned aerial vehicle during environmental monitoring)	196
<b>Ермаков Д. А., Карачевцев Р. А.</b> Метод контроля мышечной усталости оператора медицинского экзоскелета (Ermakov D. A., Karachevtsev R. A. Method for controlling muscle fatigue of a medical exoskeleton operator)	200
<b>Лукаш О. Ю., Лях А. В., Фатнев Д. А.</b> Метод оценки структуры нечетких данных в медицинских исследованиях (Lukash O. Yu., Lyakh A. V., Fatnev D. A. Method for assessing the structure of fuzzy data in medical research)	204
<b>Серебровский А. В., Новоселов А. Ю., Шаталова О. В.</b> Моделирование биомпедансных цепей в системах	208

интеллектуальной поддержки принятия клинических решений (Serebrovsky A. V., Novoselov A. Yu., Shatalova O. V. Modeling of Bioimpedance Circuits in Intelligent Clinical Decision Support Systems)	
<b>Алауси Хайдер Х.А., Песок В. В., Пшеничный А. Е.</b> Автоматизированная система мониторинга кардиореспираторного синхронизма (Alawsi Hyder H. A., Pesok V. V., Pshenichny A. E.. Automated monitoring system for cardiorespiratory synchronism)	212
<b>Колючкин В. Я., Маренов Н. Е., Егоров А. О.</b> Алгоритмы обработки сигналов в системе для оперативного контроля прямолинейности железнодорожных рельсов в условиях фоновых засветок (Koluchkin V. Ya., Marenov N. E., Egorov A. O. Algorithms for signal processing in a system for high-speed monitoring of the corrugation of railway rails under backlight conditions)	216
<b>Михайлов Г. П., Кадин А. А.</b> DFT расчёт магнитной восприимчивости кластеров $Fe_nO_{n+1}$ ( $n = 1-4$ ) в водной среде (Mikhailov G. P., Kadin A. A. DFT calculation of the magnetic susceptibility of clusters $Fe_nO_{n+1}$ ( $n = 1-4$ ) in an aqueous medium)	218
<b>Зарипов М. Р., Алексеев В. А.</b> Экономия энергопитания лазерных автономных систем зондирования неоднородных сред (Zaripov M. R., Alekseev V. A. Power supply economy of laser autonomous systems for probing inhomogeneous media)	220
<b>Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И.</b> Система защиты охраняемой территории с использованием видеонаблюдения (Alekseev V. A., Usol'tsev V. P., Yuran S. I. The system of the protection of the protected area using video surveillance)	223
<b>Ермаков Л. К.</b> Определение численными методами плотности электронных состояний в иттрий-алюминиевых гранатах (YAG) (Ermakov L. K. Determination by numerical methods of the density of electronic states in yttrium-aluminum granats (YAG))	225
<b>Плотникова Е. Ю., Мурашкина Т. И., Бадеева Е. А., Клименко Я. В., Истомина Т. В., Арутюнов А. В., Паршикова Т. В.</b> Особенности давления языка новорожденных, находящихся	229

на грудном и смешанном вскармливании (Plotnikova E. Yu., Murashkina T. I., Badeeva E. A., Klimenko Ya. V., Istomina T. V., Arutyunov A. V., Parshikova T. V. Features of the pressure of the tongue of newborns who are breast-feeding and mixed feeding)	
<b>Адьян Д. Р., Вишневецкая В. В.</b> Роль информационного обеспечения в системе развития турпотоков (Adiyan D. R., Vishnevetskaya V. V. The role of information support in the system of tourist flows development)	231
<b>СЕКЦИЯ Г-4 ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ</b>	
<b>Татур В. В., Тихомиров А. А.</b> Измерение концентрации паров бензола и толуола анализатором паров ртути ДОГ-07 (Tatur V. V., Tikhomirov A. A. Measurement of the concentration of benzene and toluene vapors by the mercury vapor analyzer DOG-07)	236
<b>Тихомиров А. А., Кальчихин В. В., Кобзев А. А.</b> Применение лазерного дисдрометра для определения кинетической энергии осадков, выпадающих в виде дождя (Tikhomirov A. A., Kalchikhin V. V., Kobzev A. A. Using a laser disdrometer to determine the kinetic energy of precipitation that falls as rain)	238
<b>Александров Д. В., Дубров М. Н.</b> Изучение сейсмодеоформационных явлений системой пространственно разнесенных лазерных интерферометров (Aleksandrov D. V., Dubrov M. N. Study of seismic-strain phenomena by system of spatially distanced laser interferometers)	240
<b>Туркин В. А., Игнатенко Г. В., Беляев В. В., Зубко С. С., Грякалов Н. А., Арутюнян С. А.</b> Измерение выбросов загрязняющих веществ судовыми энергетическими установками методом лазерного зондирования (Turkin V. A., Ignatenko G. V., Belyaev V. V., Zubko S. S., Gryakalov N. A., Arutyunyan S. A. Measurement of pollutant emissions from ship power plants by laser sensing)	243
<b>Аблязов Э. К., Авдонькин А. С., Васильев А. О., Сарычев И. А., Чартий П. В., Шеманин В. Г.</b> Дистанционное измерение суммарной концентрации метана в газовом сырье методом дифференциального	245

поглощения ИК излучения (Ablyazov E. K., Avdonkin A. S., Vasiliev A. O., Sarychev I. A., Chartiy P. V., <sup>2</sup> Shemanin V. G. Remote measurement of the total methane concentration in the gas feedstock by differential absorption of IR radiation)	
<b>Воронина Э. И., Колпакова Е. В., Чербачи Ю. В., Шеманин В. Г.</b> Урабнение для азрозольного лидара с учётом неоднородности атмосферы (Ablyazov E. K., Avdonkin A. S., Vasiliev A. O., Sarychev I. A., Chartiy P. V., <sup>2</sup> Shemanin V. G. Remote measurement of the total methane concentration in the gas feedstock by differential absorption of IR radiation)	248
<b>Привалов В. Е., Шеманин В. Г.</b> Лидар комбинационного рассеяния света для зондирования молекул аммиака в атмосфере (Privalov V. E., Shemanin V. G. Raman light scattering lidar for probing ammonia molecules in the atmosphere)	251
<b>Авдонькин А. С., Воронина Э. И., Закалова Е. Ю., Сарычев П. И., Шеманин В. Г.</b> Лидарные дистанционные измерения концентрации молекул меркаптанов в атмосфере (Avdonkin A. S., Voronina E. I., Zakalova E. Yu., Sarychev P. I., Shemanin V. G. Lidar remote measurements of the concentration of mercaptan molecules in the atmosphere)	254
<b>Дьяченко В. В., Девисилов В. А., Привалов В. Е., Шеманин В. Г.</b> Лидар комбинационного рассеяния света для организации карбоновых полигонов (Dyachenko V. V., Devisilov V. A., Privalov V. E., Shemanin V. G. Raman Lidar for Carbon Polygons arranging)	258
<b>Веденин Е. И., Дьяченко В. В., Сарычев И. А., Чартий П. В.</b> Лазерное устройство для автоматического контроля параметров азрозольных выбросов в реальном времени (Vedenin E. I., Dyachenko V. V., Sarychev I. A., Chartiy P. V. Laser device for automatic monitoring of aerosol emissions parameters in real time)	262
<b>Кравцова Н. С., Садовников С. А., Яковлев С. В.</b> Численное моделирование функционирования лидарной системы для дистанционного зондирования парниковых газов (Kravtsova N. S., Sadovnikov S. A., Yakovlev S. V. Numerical simulation of the operation of the lidar system for remote sensing of greenhouse gases)	264

<b>Соин Е. Л., Лукин В. П., Копылов Е. А.</b> Влияние потери части исходных данных на ошибку восстановления волнового фронта в адаптивной оптической системе Большого солнечного вакуумного телескопа (Soin E. L., Lukin V. P., Kopylov E. A. The effect of the loss of part of the initial data on the wavefront reconstruction error in the adaptive optical system of a Large solar vacuum Telescope)	266
<b>Насонова А. С.</b> Оценка скорости переноса атмосферных аэрозольных неоднородностей между двух точек наблюдений на основе лазерного корреляционного анализа (Nasonova A. S. Estimation of the movement speed of atmospheric aerosol inhomogeneities between two observation points based on laser correlation analysis)	268
<b>Прокопьев В. Е., Андреев М. В., Коновалов И. Н., Панченко Ю. Н., Пучикин А. В.</b> Разработка новых дистанционных оптико-спектроскопических методов определения биогенных аэрозолей (Prokoriev V. E., Andreev M. V., Konovalev I. N., Panchenko Yu. N., Puchikin A. V. Development of new remote optical-spectroscopic methods for determining biogenic aerosols)	270
<b>Дьяченко В. В., Шеманин В. Г., Сарычев И. А.</b> Ландшафтно-геохимические особенности организации карбонового полигона «Малая Земля» для лазерного мониторинга климатически активных газов с низкими концентрациями (Dyachenko V. V., Shemanin V. G., Sarychev I. A. Landscape-geochemical features of the organization of the Malaya Zemlya carbon landfill for laser monitoring of climatically active gases with low concentrations)	272
<b>Мурашко С. Н., Бобровников С. М., Горлов Е. В., Жарков В. И., Сафьянов А. Д.</b> Дистанционное детектирование органофосфатов методом двухимпульсной лазерной фрагментации/лазерно-индуцированной флуоресценции (Murashko S.N., Bobrovnikov S.M., Gorlov E.V., Zharkov V.I., Safyanov A.D. Remote detection of organophosphates by two-pulse laser fragmentation/laser-induced fluorescence)	278
<b>СЕКЦИЯ Д-5 ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ</b>	
<b>Жмырко Т. Г., Нобикова Т. К., Стихова А. М.</b> Биологически активные вещества из листьев свеклы и	280

моркови (Zhmyrko T. G., Novikova T. K., Stikhova A. M. Biologically active substances from beet and carrot leaves)	
<b>Загурский Е. Ф., Туркин В. А.</b> Оптимизация энергопотребления систем контроля выбросов паров морских танкеров (Zagursky E. F., Turkin V. A. Energy optimization of marine tanker vapor emission control systems)	282
<b>Стяжкин А. А., Туркин В. А.</b> Влияние информационных технологий на безопасность эксплуатации судового энергетического оборудования (Styazhkin A. A., Turkin V. A. The influence of information technologies on the safety of operation of ship power equipment)	285
<b>Мартынов Д. В., Бодин О. Н., Безбородова О. Е.</b> Обеспечение техносферной безопасности на основе предметно-экономических групп (Martynov D. V., Bodin O. N., Bezborodova O. E. Ensuring technosphere safety based on subject-economic groups)	287
<b>Чура М. Н., Грицова А. Ц., Дацко Л. Ю., *Чура Н. Н.</b> От «Экологической безопасности» к «Техносферной безопасности» (Chura M. N., Gritsova A. T., Datsko L. Y., Chura N. N. From «Ecological safety» to «Technosphere safety»)	290
<b>Мышкина А. Н., Берёза И. Г.</b> Использование щелочных растворов в судовых скрубберах (Myshkina A. N., Beryoza I. G. Use of alkaline solutions in ship scrubbers)	293
<b>Стихова А. М., Новикова Т. К., Жмырко Т. Г.</b> Акустическая нагрузка на окружающую среду при городском строительстве (Stikhova A. M., Novikova T. K., Zhmyrko T. G. Acoustic load on the environment in urban construction)	295
<b>Дьяченко В. В., Досугова А. Е.</b> Аэральное загрязнение окружающей среды горнодобывающей отраслью и производством строительных материалов (Dyachenko V. V., Dosugova A. E. Aerial pollution of the environment by the mining industry and the production of building materials)	297
<b>СЕКЦИЯ Ж-6 POST DEADLINE</b>	
<b>Матасова И. Ю., Бурлова А. А.</b> Гидрохимические показатели участка развития	306

марикультуры в акватории Цемесской бухты Чёрного моря (Matasova I. Yu., Burlova A. A. Hydrochemical indicators of the mariculture development site in the waters of Tsemes Bay of the Black Sea)	
<b>Матасова И. Ю.</b> Оценка состояния донных отложений порта Новороссийск (Matasova I. Yu. Assessment of the state of bottom sediments in the port of Novorossiysk)	310
<b>Мурашкин В. В., Петушков С. В., Григорьев В. Н., Бояров Д. А.</b> Концепция построения современных терминалов высокоскоростной космической лазерной связи (ВК/ЛС) (Murashkin V. V., Petushkov S. V., Grigoriev V. N., Boyarov D. A. The concept of building modern high-speed space laser communication terminals (HSLC))	314
<b>Петушков С. В., Мурашкин В. В., Григорьев В. Н., Бояров Д. А.</b> Построение системы наведения и стабилизации (СНС) для квантового распределения ключа (КРК) в атмосферном канале связи (Petushkov S. V., Murashkin V. V., Grigoriev V. N., Boyarov D. A. Construction of a guidance and stabilization system (GNS) for quantum key distribution (QKD) in an atmospheric communication channel)	316
<b>Вальшин А. М.</b> Двухкратное повышение светоотдачи в импульсных лампах для накачки твердотельных лазеров (Valshin A. M. Twofold increase in light output in pulsed lamps for pumping solid-state lasers)	318
<b>Вальшин А. М.</b> Высокочастотная индукционная накачка в газоразрядных лампах низкого давления (Valshin A. M. High-frequency induction pumping in low-pressure discharge lamps)	321
<b>Вальшин А. М.</b> Стабилизация параметров излучения твердотельных лазеров с ламповой накачкой (Valshin A. M. Stabilization of radiation parameters of lamp-pumped solid-state lasers)	324
<b>Представляем журнал (Introducing the magazine)</b> Фотоника (Photonics)	327
<b>Представляем журнал (Introducing the magazine)</b> Безопасность в техносфере (Safety in the Technosphere)	330
<b>Представляем журнал (Introducing the magazine)</b>	331

Лазеры. Измерения. Информация (Lasers. Measurements. Information)	
СОДЕРЖАНИЕ	333

Научное издание

**Лазерно-информационные технологии  
(ЛИТ-2023)**

Труды XXXI международной научной конференции  
г. Новороссийск, 11-16 сентября 2023 г.

Науч. редактор Привалов Е. В.  
Корректура Мкртычев О. В.  
Верстка Сауткина А. А.  
Тех. поддержка Сарычев П. И.

Подписано в печать 29.09.23. Формат \_\_\_\_\_. Усл. печ. л. \_\_\_\_\_.

Уч.-изд. л. \_\_\_\_\_. Тираж 500 экз. Заказ №7. Отпечатано на МФУ.

Электронный вариант опубликован в режиме доступа для  
зарегистрированных пользователей

URL: <https://bgtu-nvrsk.ru/research/conferences/lit/2023/info>

Издательство филиала федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования «Белгородский  
государственный технологический университет им. В. Г. Шухова»  
в г. Новороссийске.

353919, г. Новороссийск, Мысхакское шоссе, 75.