

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ КОНФЕРЕНЦИИ

В. Н. Очкин, ФИАН, Москва

А. И. Рудской, СПбПУ, С.-Петербург

Е. И. Евтушенко, БГТУ им. В. Г. Шухова, Белгород

ОРГКОМИТЕТ

В. Е. Привалов (председатель Оргкомитета), СПбПУ, С.-Петербург

И. В. Чистяков (зам. председателя), НФ БГТУ, Новороссийск

В. Г. Шеманин (зам. председателя), НФ БГТУ, Новороссийск

Ю. В. Чербачи (учёный секретарь), НФ БГТУ, Новороссийск

Э. И. Акопов, ФИАН, Москва

В. М. Арпишкин, ООР, С.-Петербург

А. С. Борейшо, БалтГТУ, С.-Петербург

Г. И. Долгих, ТОИ ДВО РАН, Владивосток

В.В. Дьяченко, НПИ КубГТУ, Новороссийск

Г. С. Евтушенко, РИНКЦЭ, Москва

И. Г. Иванов, ЮФУ, Ростов-на-Дону

В. А. Лопота, СПбПУ, С.-Петербург

В. В. Осипов, ИЭФ УрО РАН, Екатеринбург

В. Я. Панченко, ИПЛТИ РАН, Шатура Московской обл.

В. А. Степанов, РГПУ, Рязань,

В. А. Туркин, ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск

В. В. Тучин, СаратовГУ, Саратов

А. Э. Фотиади, СПбПУ, С.-Петербург

И. А. Щербаков, ИОФ РАН, Москва

ОТ РЕДАКТОРА

Наша конференция в нынешнем году пройдёт 35-ый раз. Первая конференция называлась «Лазеры. Измерения. Информация» (1991). Мы провели её в Центральном лектории Ленинградского отделения общества «Знание». С 1992 по 2002 – она проходила в Балтийском государственном техническом университете (БГТУ) им. Маршала Советского Союза Д. Ф. Устинова. С 2002 по 2014 продолжалась ежегодно в Санкт-Петербургском политехническом университете (СПбПУ) Петра Великого.

Параллельно с 1992 года в БГТУ начала проходить конференция «Лазеры для медицины и биологии». Она несколько раз меняла название в дальнейшем, проходила и в СПбПУ до 2006 года включительно. В 2007 году конференция была перенесена в Новороссийск и стала называться «Лазерно-информационные технологии». Продолжается эта конференция и сегодня, существенно расширив лазерную тематику. С 2021 года конференция проходит на базе филиала Белгородского государственного технологического университета имени В. Г. Шухова в г. Новороссийске. Об этом мы подробно рассказывали в Трудах нашей конференции в 2023 и 2024 годах. Там же мы извещали читателей, где ещё печатались и печатаются статьи нашей конференции.

С предложениями и за справками обращаться к профессору В. Е. Привалову в Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, СПбПУ, ул. Политехническая, 29), по электронной почте vaevpriv@yandex.ru и, профессору В. Г. Шеманину в Филиал Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова в г. Новороссийске (353919, Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, 75), по электронной почте vshe-manin@mail.ru.

FROM THE EDITOR

This year our conference will be held for the 35th time. The first conference was called "Lasers. Measurements. Information" (1991). We held it in the Central Lecture Hall of the Leningrad Branch of the Znanie Society. From 1992 to 2002, the next ones have been at the Marshal of the Soviet Union D.F. Ustinov Baltic State Technical University (BSTU). From 2002 to 2014, the next conferences have been continued it annually at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU). In parallel, since 1992, the BSTU has been hosting the conference "Lasers for Medicine and biology". It changed its name several times later, and was held at SPbPU until 2006 inclusive. In 2007, the conference was moved to Novorossiysk and became known as "Laser Information Technologies". This conference continues today, having significantly expanded the laser theme. Since 2021, the conference has been held at the branch of the V.G. Shukhov Belgorod State Technological University in Novorossiysk. We discussed this in detail in the Proceedings of our conference in 2023 and 2024. In the same place, we informed readers where else the articles of our conference were printed and are being printed. For suggestions and information, please contact Professor V.E. Privalov at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (St. Petersburg, SPbPU, Politechnicheskaya str., 29), by e-mail vaevpriv@yandex.ru and to Professor V.G. Shemanin at the Branch of the V.G. Shukhov Belgorod State Technological University in Novorossiysk (353919, Novorossiysk, Myshakskoe shausse, 75), by e-mail vshemanin@mail.ru

УДК543.424
ГРНТИ 29.31.27
ВАК 01.04.05

Рамановская спектроскопия для идентификации штаммов стрептококков и стафилококков

^{1,2*}Тимченко Е.В., ¹Тимченко П.Е., ²Волова Л.Т., ²Лямин А.В., ²Каюмов К.А.,
²Бажутова И.В., ²Трунин Д.А., ¹Фролов О.О., ¹Зотова А.В.

¹Самарский университет, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе 34

²Самарский государственный медицинский университет, 443099, Россия, г. Самара,
ул. Чапаевская 89

email: *laser-optics.timchenko@mail.ru, zotova_alena@bk.ru

Сегодня приобрели широкое распространение различные воспалительные заболевания полости рта, в том числе – пародонтит. Пародонтит не только приводит к потере зубов, нарушению прикуса и функции жевания, но и является фактором риска осложнений при дентальной имплантации [1-2]. Основной причиной пародонтита является инфицирование тканей полости рта. Потенциальными участниками патологического процесса являются стафилококки и стрептококки, выявляемые в пародонтальных карманах [3-5]. Оптические методы исследования нашли широкое применение для медико-биологических исследований [4, 6, 7] и могут быть применены для идентификации бактерий.

Цель работы – исследование трех штаммов стрептококков *Streptococcusmitis*, *Streptococcusoralis* и *Streptococcuspneumoniae* и штамма стафилококков *StaphylococcusEpidermidis* методом спектроскопии комбинационного рассеяния (КР).

В качестве объектов исследований были использованы 4 штамма *S.mitis*, 4 штамма *S.oralis*, 3 штамма *S.pneumoniae* и 12 штаммов *Staphylococcusepidermidis*. Рост культур получен на 5% кровяном агаре с бараньей кровью (ООО ГЕМ, Россия). Идентификация всех штаммов проводилась с использованием метода MALDI-ToFмасс-спектрометрии на приборе MicroflexLT (Bruker, Германия).

Спектры КР снимались с помощью спектрографа Sharmrock SR-303i с цифровой камерой ANDOR DV-420A-OE (разрешение 0,15 нм по длине волны), в который входят полупроводниковый лазер (LML-785.0RB-04), оптический модуль КР (PBL 785) и лазер на 785 нм (до 450 мВт). Нормализация спектров проводилась методом Extended multiplicative signal correction (EMSC). Сглаживание осуществлялось методом Maximum Likelihood Estimation Savitzky- Golayfilter (MLE-SG) с параметром $\sigma = 4$.

Для исключения вклада автофлуоресценции использовался модифицированный метод вычитания флуоресцентной составляющей полиномиальной аппроксимацией Improved Modified Multi-Polynomial Fitting (ExModPoly) со степенью полинома 8. Анализ спектров КР проводился в диапазоне 450-1800 см⁻¹.

Для дополнительного анализа исследуемых образцов был применен метод линейного дискриминантного анализа в программе RS-tool.

В результате были установлены спектральные отличия штаммов *S.mitis*, *S.oralis*, *S.pneumoniae*, которые видны на 527 см^{-1} (S-S disulfide stretching in proteins, Phosphatidylserine или $\nu(\text{S-S})$ gauche-gauche-trans (aminoacidcysteine)), 621 см^{-1} (C-C twisting mode of phenylalanine (proteins)), 1280 см^{-1} (AmideIII, CH_2 wagging vibrations from glycinebackbone или prolineside chains), 1333 см^{-1} (Guanine), 1445 см^{-1} (CH_2 bending modes, deformation C-H bending proteins, deformation CH_2/CH_3 in lipids), 1525 см^{-1} (AmideII), 1692 см^{-1} (Stretching CO), 1749 см^{-1} (C=O, lipids). Также, были введены критерии для идентификации групп образцов на основе интенсивности линий усредненных спектров КР и проведенного дискриминантного анализа. В результате исследования стафилококков были найдены отличия штаммов эпидермального стафилококка с гемолитической активностью и без гемолитической активности, которые наблюдаются на линии КР $\sim 1650\text{ см}^{-1}$ (Amide I vibration (collagen-like proteins)). Полученные результаты могут быть использованы в качестве экспресс-оценки маркеров патогенности стафилококка.

Список литературы

1. Тунева Н.А., Богачева Н.В., Тунева Ю.О. Проблемы дентальной имплантации // Вятский медицинский вестник. – 2019. – № 2 (62). – С.86-93.
2. Николаев А.И., Цепов Л.М. Практическая терапевтическая стоматология. – М.: Медпресс-информ, 2019. – С. 928.
3. Орехова Л.Ю. Заболевания пародонта. – М.: Поли Медиа Пресс, 2004. – С. 218-220.
4. Бажутова И.В., Исмагуллин Д.Д., Лямин А.В., Трунин Д.А. Видовое разнообразие стрептококков при заболеваниях пародонта. // Иммунопатология, аллергология, инфектология. – 2023. – № 1. – С. 81-86.
5. Исмагуллин Д.Д., Бочкарёва П.В., Бажутова И.В., Лямин А.В., Галиева Р.Р., Жестков А.В., Золотов М.О. Видовое разнообразие стрептококков при локальных и системных инфекциях // Клиническая лабораторная диагностика. – 2023. – № 10 (68). – С. 597-603.
6. Привалов В.Е. Оптические квантовые генераторы. – СПб.: Изд. БГТУ, 1997. – 67 с.
7. Привалов В.Е., В.Г Шеманин. Параметры лидаров для дистанционного зондирования газовых молекул и аэрозоля в атмосфере. – СПб.: Изд.БГТУ, 2001. – 56 с.

Raman spectroscopy for identification of streptococcal and staphylococcal strains

^{1,2*}Timchenko E.V., ¹Timchenko P.E., ²Volova L.T., ²Lyamin A.V., ²Kayumov K.A.,
²Bazhutova I.V., ²Trunin D.A., ¹Frolov O.O., ¹Zotova A.V.
¹Samara University, 443086, Russia, Samara, Moskovskoeshosse 34
²Samara State Medical University, 443099, Russia, Samara, Chapaevskayast. 89
email: *laser-optics.timchenko@mail.ru, zotova_alena@bk.ru

Today, various inflammatory diseases of the oral cavity, including periodontitis, have become widespread. Periodontitis not only leads to tooth loss, malocclusion and chewing function disorders, but is also a risk factor for complications in dental

implantation [1-2]. The main cause of periodontitis is infection of the oral tissues. Potential participants in the pathological process are staphylococci and streptococci detected in periodontal pockets [3-5]. Optical research methods have found wide application in medical and biological research [4, 6, 7] and can be used to identify bacteria.

The aim of the work is to study three strains of streptococci *Streptococcus mitis*, *Streptococcus oralis* and *Streptococcus pneumoniae* and a strain of staphylococci *Staphylococcus Epidermidis* using Raman spectroscopy.

The objects of study were 4 strains of *S.mitis*, 4 strains of *S.oralis*, 3 strains of *S.pneumoniae* and 12 strains of *Staphylococcus epidermidis*. The cultures grew on 5% blood agar with sheep blood (OOO GEM, Russia). Identification of all strains was performed using the MALDI-ToF mass spectrometry method on a MicroflexLT device (Bruker, Germany). Raman spectra were recorded using a Sharmrock SR-303i spectrograph with an ANDOR DV-420A-OE digital camera (0.15 nm wavelength resolution), which includes a semiconductor laser (LML-785.0RB-04), an optical Raman module (PBL 785), and a 785 nm laser (up to 450 mW). Spectra normalization was performed using the Extended multiplicative signal correction (EMSC) method. Smoothing was performed using the Maximum Likelihood Estimation Savitzky-Golay filter (MLE-SG) with the parameter $\sigma = 4$.

To exclude the contribution of autofluorescence, a modified method of subtracting the fluorescence component by polynomial approximation Improved Modified Multi-Polynomial Fitting (ExModPoly) with a polynomial degree of 8 was used. The analysis of the Raman spectra was carried out in the range of 450-1800 cm^{-1} . For additional analysis of the studied samples, the linear discriminant analysis method was used in the RS-tool program.

As a result, spectral differences were established between the strains of *S.mitis*, *S.oralis*, and *S.pneumoniae*, which are visible at 527 cm^{-1} (S-S disulfide stretching in proteins, Phosphatidylserine or $\nu(\text{S-S})$ gauche-gauche-trans (amino acid cysteine)), 621 cm^{-1} (C-C twisting mode of phenylalanine (proteins)), 1280 cm^{-1} (Amide III, CH_2 wagging vibrations from glycine back bone or proline side chains), 1333 cm^{-1} (Guanine), 1445 cm^{-1} (CH_2 bending modes, deformation C-H bending proteins, deformation CH_2/CH_3 in lipids), 1525 cm^{-1} (AmideII), 1692 cm^{-1} (Stretching CO), 1749 cm^{-1} (C=O, lipids). Also, there were criteria for identifying groups of samples based on the intensity of the averaged Raman spectra lines and the conducted discriminant analysis were introduced. As a result of the study of staphylococci, differences were found between strains of epidermal staphylococcus with and without hemolytic activity, which are observed on the Raman line $\sim 1650 \text{ cm}^{-1}$ (Amide I vibration (collagen-like proteins)). The results obtained can be used as an express assessment of staphylococcal pathogenicity markers.

References

1. Tuneva N.A., Bogacheva N.V., TunevaYu.O. Problems of dental implantation //Vyatka Medical Bulletin, No. 2 (62), 2019. P.86- 93
2. Nikolaev A.I., Tsepov L.M. Practical therapeutic dentistry // M.: Medpress-inform. - 2019. - P. 928
3. Orekhova L.Yu. Periodontal diseases // M.: Poli Media Press. - 2004. - P.218-220

4. Bazhutova I.V., Ismatullin D.D., Lyamin A.V., Trunin D.A. Species diversity of streptococci in periodontal diseases. // Immunopathology, allergology, infectology, No. 1, 2023. P.81- 86
5. Ismatullin D.D., Bochkareva P.V., Bazhutova I.V., Lyamin A.V., Galieva R.R., Zhestkov A.V., Zolotov M.O. Species diversity of streptococci in local and systemic infections // Clinical laboratory diagnostics, No. 10 (68), 2023. P.597- 603
6. V.E. Privalov. Optical quantum generators. St. Petersburg, 1997, BSTU Publishing House, 67 p.
7. V.E. Privalov, V.G. Shemanin. Parameters of lidars for remote sensing of gas molecules and aerosol in the atmosphere. St. Petersburg, 2001, BSTU Publishing House, 56 p.

УДК543.424

ГРНТИ 29.31.27

ВАК 01.04.05

Оптические методы в исследовании состава аллогенного коллагенсодержащего гидрогеля для 3D-биопечати опорных и соединительных тканей человека

¹Н.А Рябов, ¹Л.Т. Волова, ²П.Е. Тимченко, ^{1,2}Е.В. Тимченко, ^{1,2}С.С. Иванов

¹*Самарский государственный медицинский университет, институт
экспериментальной медицины и биотехнологий, Самара*

²*Самарский национальный исследовательский университет имени академика
С.П. Королёва, Самара*

email: *laser-optics.timchenko@mail.ru, koditek00@yandex.ru

3D-биопечать представляет собой перспективный подход в биофабрикации тканей и органов [1], где определяющим фактором успешности выступают биочернила. Гидрогели на основе природных и аллогенных биополимеров обладают рядом преимуществ, включая высокую биосовместимость, биodeградируемость, низкую антигенность и стимуляцию регенерации [2, 3]. В связи с высокой стоимостью коммерческих биочернил, актуальной задачей является разработка и производство конкурентоспособных отечественных аналогов, соответствующих стратегии импортозамещения. Оптические методы исследования нашли широкое применение для медико-биологических исследований [4-6] и могут быть применены для оценки биочернил.

Целью данной работы является качественная оценка состава биопродуктов – коллагенсодержащих гидрогелей и биочернил на этапах производства.

Материалами исследования являлись 4 группы образцов, соответствующих этапам получения коллагенсодержащего гидрогеля из аллогенного биоматериала костной ткани человека, подвергнутой деминерализации и предварительной очистке с использованием запатентованной технологии “Лиопласт®” в НИИ БиoТexСaмГМУ: I – минерализованная костная ткань, II – деминерализованная костная ткань, III – гидрогель на основе коллагенсодержащего материала (жидкая форма), IV – лиофилизированный коллагенсодержащий материал (лиофилизат).

В качестве методов исследования были использованы метод спектроскопии комбинационного рассеяния и ИК-Фурье-спектроскопия, реализуемые с помощью экспериментального стенда, описанного в работе [6]. Дальнейшая работа с обработкой спектров и статистическим анализом выполнена в программе Mathematica, на основе ресурса Ramantool v.1.0.175.

В результате исследований с помощью рамановской спектроскопии и ИК-Фурье спектроскопии установлено: при деминерализации костной ткани снижаются пики гидроксиапатита (956 см^{-1} , 1068 см^{-1}) и увеличивается интенсивность пиков Амидов I, II и III (1214 см^{-1} , 1415 см^{-1} , 1446 см^{-1} , 1636 см^{-1} , 1648 см^{-1}), указывая на сохранение органического матрикса. Сравнение деминерализованной кости и коллагенсодержащего материала демонстрирует сохранность основных компонентов, снижение липидов (1415 см^{-1}) и увеличение Амидов III. Переход лиофилизата в гидрогель сопровождается исчезновением углеродных связей ($1420\text{--}1450\text{ см}^{-1}$) и снижением интенсивности пиков пролина/гидроксипролина (877 см^{-1}) и Амидов ($1200\text{--}1300\text{ см}^{-1}$, $1539\text{--}1585\text{ см}^{-1}$, $1633\text{--}1700\text{ см}^{-1}$).

Полученные результаты исследований могут быть в дальнейшем использованы в качестве экспресс-оценки каждого этапа производства аллогенных коллагенсодержащих гидрогелей, используемых в 3D-биопринтинге.

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. Волова, Л.Т. Экспериментальное обоснование использования аллогенного деминерализованного костного имплантата (ДКИ) в комплексном лечении хронического остеомиелита / Л.Т. Волова, С.В. Ладонин, Е.А. Белозерцев // Материалы IV Всероссийского симпозиума: «Актуальные вопросы тканевой и клеточной трансплантологии». – СПб., 2010. – С. 85-86.
3. Особенности репарации аллогенных орбитальных биоимплантатов / Е. С. Миллюдин, Л. М. Цурова, Г. А. Николаева [и др.] // Медицинский вестник Башкортостана. – 2017. – Т. 12, № 2(68). – С. 113-116. – EDN YTPXNF.
4. Иванов В.А., Привалов В.Е. Лазеры в угловых измерениях.– Л.: Изд. ЛИТМО, 1987.– 25 с.
5. Привалов В.Е. Лазерные интерферометры для механических измерений.– СПб.: Изд. Механического института, 1992.– 56 с.
6. 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 // J. Optical Technology, 2020. 87(3). С. 161- 167

Optical methods in the study of the composition of allogenic collagen-containing hydrogel for 3D bioprinting of human supporting and connective tissues

¹N.A. Ryabov, ¹L.T. Volova, ²P.E. Timchenko, ^{1,2}E.V. Timchenko, ^{1,2}S.S. Ivanov

¹ Samara State Medical University, Institute of Experimental Medicine and Biotechnology, Samara

²Academician S.P. Korolev Samara National Research University, Samara

email: *laser-optics.timchenko@mail.ru, koditek00@yandex.ru

3D bioprinting is a promising approach to the biofabrication of tissues and organs [1], where bioinks are the determining factor for success. Hydrogels based on natural and allogenic biopolymers have a number of advantages, including high biocompatibility, biodegradability, low antigenicity and stimulation of regeneration [2, 3]. Due to the high cost of commercial bioinks, an urgent task is the development and production of competitive domestic analogues that correspond to the import substitution strategy. Optical research methods have found wide application in biomedical research [4- 6] and can be applied to evaluate bioinks.

The purpose of this work is a qualitative assessment of the composition of bioproducts - collagen-containing hydrogels and bioinks at the production stages.

The study materials were 4 groups of samples corresponding to the stages of obtaining a collagen-containing hydrogel from an allogenic biomaterial of human bone tissue subjected to demineralization and preliminary purification using the patented Lioplast® technology at the Research Institute of BioTech, Samara State Medical University: I - mineralized bone tissue, II - demineralized bone tissue, III - hydrogel based on collagen-containing material (liquid form), IV - lyophilized collagen-containing material (lyophilisate). The research methods used were Raman spectroscopy and FTIR spectroscopy, implemented using the experimental setup described in [4]. Further work with spectra processing and statistical analysis was performed in the Mathematica program, based on the resource Raman tool v.1.0.175. As a result of research using Raman spectroscopy and FTIR spectroscopy, it was established that during demineralization of bone tissue, the peaks of hydroxyapatite (956 cm^{-1} , 1068 cm^{-1}) decrease and the intensity of the peaks of Amides I, II, III (1214 cm^{-1} , 1415 cm^{-1} , 1446 cm^{-1} , 1636 cm^{-1} , 1648 cm^{-1}) increases, indicating the preservation of the organic matrix. Comparison of demineralized bone and collagen-containing material demonstrates the preservation of the main components, a decrease in lipids (1415 cm^{-1}) and an increase in Amide III. The transition of the lyophilisate to hydrogel is accompanied by the disappearance of carbon bonds ($1420\text{--}1450\text{ cm}^{-1}$) and a decrease in the intensity of the peaks of proline/hydroxyproline (877 cm^{-1}) and Amides ($1200\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$, $1539\text{--}1585\text{ cm}^{-1}$, $1633\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$). The obtained research results can be further used as an express assessment of each stage of the production of allogeneic collagen-containing hydrogels used in 3D bioprinting.

References

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. Volova, L.T. Experimental justification of the use of allogeneic demineralized bone implant (DBI) in the complex treatment of chronic osteomyelitis / L.T. Volova, S.V. Ladonin, E.A. Belozertsev // Proceedings of the IV All- Russian Symposium "Topical Issues of Tissue and Cell Transplantation". - St. Petersburg, 2010. - P. 85- 86.
 3. Features of the reparation of allogeneic orbital bioimplants / E.S. Milyudin, L.M. Tsurova, G.A. Nikolaeva [et al.] // Medical Bulletin of Bashkortostan. - 2017. - V. 12, No. 2 (68). - P. 113- 116. – EDN YTPXNF.
 4. V.A. Ivanov, V.E. Privalov Lasers in angular measurements. L., 1987, LITMO Publishing House, 25 p.
 5. V.E. Privalov. Laser interferometers for mechanical measurements. St. Petersburg, 1992, Mechanical Institute Publishing House, 56 p.
 6. 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 // J. Optical Technology, 2020 - 87(3) - P. 161- 167

УДК543.424
ГРНТИ 29.31.27
БАК 01.04.05

Спектральный анализ децеллюляризированных трансплантатов для лечения ожоговых травм

^{1*} Итяксов Ю.Д., ¹Тимченко Е.В., ¹Тимченко П.Е., ¹Фролов О.О., ²Новиков И.В.,
²Миллюдин Е.С., ²Волова Л.Т.

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика
С.П. Королева, 443086, Россия, г. Самара, ул. Московское шоссе 34

²Самарский государственный медицинский университет, 443099, Россия,
г. Самара, ул. Чапаевская 89

email: *yura.ityaksov97@mail.ru

Одной из основных задач лечения пострадавших от ожогов на протяжении всей истории развития комбустиологии является своевременность и полнота восстановления участков кожного покрова, утраченных в результате ожоговой травмы. В последние годы в различных областях медицины широко используются материалы биогенной природы для замещения дефектов тканей. Структура подобного рода материалов может быть бесклеточной либо содержать клетки кожи и факторы роста. Перспективным направлением в лечении глубоких ожогов представляется использование децеллюляризированного материала на основе амниона [1, 2]. В настоящее время для оценки состава биоматериалов широкое применение нашли оптические методы исследований [3-7].

Целью работы является применение рамановской спектроскопии для оценки децеллюляризированных трансплантатов на основе амниона в процессе их изготовления.

В качестве объектов исследований была использована децеллюризированная амниотическая мембрана, которая изготовлена по запатентованной технологии - Патент РФ № 2835347.

Все образцы были условно разделены на две основные исследуемые группы: группа 1 – контроль (полностью нативные образцы); группа 2 – лиофилизированные образцы с отмывкой ультразвуком. Амниотическая мембрана отмывается в проточной воде от сгустков крови, далее биоматериал обрабатывается в ультразвуковой ванне частотой $35 \pm 10\%$ кГц, после чего биоимплантаты помещаются в камеру, в которой создают вакуум с остаточным давлением 1-2 Па, и после промывания в физиологическом растворе 0,9% NaCl, замораживания при температуре -60°C , лиофилизируются.

Исследования проводили «*in vitro*» с помощью метода Рамановской спектроскопии [5]. В результате проведенных исследований установлены спектральные различия между нативной группой исследуемых объектов и группой объектов, обработанных ультразвуком, которые проявляются на следующих линиях КР $\sim 1650\text{ см}^{-1}$ (Amid I), $\sim 1240\text{ см}^{-1}$ (Amid III), $\sim 1100\text{--}375\text{ см}^{-1}$ (Several bands of moderate intensity, belonging to an amide III and other groups (proteins)), $\sim 600\text{--}800\text{ см}^{-1}$ (Nucleotide conformation), $\sim 481\text{ см}^{-1}$ (DNA), $\sim 447\text{ см}^{-1}$ (Ring torsion of phenyl). Данные изменения обусловлены уменьшением антигенности образцов после обработки ультразвуком, а также изменением амидных структур в следствии ангионеза.

Также установлено, что ультразвуковая обработка, по запатентованной методике ЛИОПЛАСТ, обеспечивает сохранность структуры исследуемых биоматериалов.

Детальная математическая обработка с использованием статистическим методов анализа и ROC-анализа показали высокую эффективность разделения между исследуемыми группами.

Показано, что с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния можно проводить экспресс-анализ состава децеллюляризированных биоматериалов при их изготовлении с заданными свойствами для определенных задач.

Список литературы

1. Davis J. W. Skin transplantation with a review of 550 cases at the Johns Hopkins Hospital// Johns Hopkins Med J. 1910. Vol. 5. PP. 307- 396.
2. Lo V., Pope E. Amniotic membrane use in dermatology// Int J Dermatol. 2009. № 48(9). PP. 935-940. DOI: 10.1111/j.1365-4632.2009.04173.x
3. Долгих ГИ, Привалов ВЕ Лазерная физика. Фундаментальные и прикладные исследования.– Владивосток: Изд. Рея, 2016.– 351 с.
4. Murugappan S., Syed A. M., Nanasaheb D Thorat Raman Spectroscopy: A Tool for Molecular Fingerprinting of Brain Cancer// Thorat ACS Omega 2023 №8 (31). PP. 27845- 27861 DOI: 10.1021/acsomega.3c01848
5. Timchenko P.E., Timchenko E.V., Volova L.T., Frolov O.O. Use of Raman spectroscopy for the assessment of dentin materials during their fabrication // J. Optical Technology 2021. Vol. 88. №9. PP. 485- 488.
6. Долгих Г.И., Привалов В.Е. Лазерная физика. Фундаментальные и прикладные исследования.– Владивосток: Изд.Рея, 2016.– 352 с.
7. Долгих Г.И., Привалов В.Е. Лазеры и их применение в сверхточных измерениях.– Владивосток: Изд. ДВО РАН 2024.– 368 с.

Spectral analysis of decellularized grafts in the treatment of burn injuries

^{1*} Ityaksov Yu.D., ¹Timchenko E.V., ¹Timchenko P.E., ¹Frolov O.O.,

²Novikov I.V., ²Milyudin E.S., ²Volova L.T.

¹*Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, 34 MoskovskoeShosse str., Samara, 443086, Russia*

²*Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya str., Samara, 443099, Russia*

email: *yura.ityaksov97@mail.ru

One of the main tasks of treating burn victims throughout the history of combus-tiology is the timeliness and completeness of restoration of skin areas lost as a result of burn injury. In recent years, biogenic materials have been widely used in various fields of medicine to replace tissue defects. The structure of such materials can be acellular or contain skin cells and growth factors. A promising direction in the treatment of deep burns is the use of decellularized amnion-based material [1, 2]. Currently, optical research methods have found wide application to assess the composition of biomaterials [3-7].

The aim of the work is to use Raman spectroscopy to assess decellularized am-nion-based transplants during their processing by manufacturing. The objects of the research were decellularized amniotic membrane, which was manufactured using a patented technology - Russian Federation Patent № 2835347.

All samples were conditionally divided into two main study groups: group 1 - control (completely native samples); group 2 - lyophilized samples with ultra-sound washing. The amniotic membrane is washed in running water from blood clots, then the biomaterial is processed in an ultrasonic bath with a frequency of $35 \pm 10\%$ kHz, after which the bioimplants are placed in a chamber in which a vacuum with a residual pressure of 1- 2 Pa is created, and after washing in a phys-iological solution of 0.9% NaCl, freezing at a temperature of -60°C , they are ly-ophilized.

The studies were carried out "in vitro" using the Raman spectroscopy method [5]. As a result of the conducted studies, spectral differences were established between the native group of the studied objects and the group of objects processed with ultrasound, which are manifested in the following Raman lines $\sim 1650\text{ cm}^{-1}$ (Amid I), $\sim 1240\text{ cm}^{-1}$ (Amid III), $\sim 1100\text{--}375\text{ cm}^{-1}$ (Several bands of moderate intensity, belonging to anide III and other groups (proteins)), $\sim 600\text{--}800\text{ cm}^{-1}$ (Nucleotide conformation), $\sim 481\text{ cm}^{-1}$ (DNA), $\sim 447\text{ cm}^{-1}$ (Ring torsion of phenyl).

These changes are due to a decrease in the antigenicity of the samples after ultra-sound treatment, as well as a change in amide structures due to anionesis.

It was also established that ultrasound treatment, according to the patented LI-OPLAST method, ensures the preservation of the structure of the studied bio-materials.

Detailed mathematical processing using statistical methods of analysis and ROC analysis showed high efficiency of separation between the studied groups.

It is shown that using the method of Raman spectroscopy it is possible to carry out express analysis of the composition of decellularized biomaterials during their manufacture with specified properties for specific tasks.

References

1. Davis J. W. Skin transplantation with a review of 550 cases at the Johns Hopkins Hospital// Johns Hopkins Med J. 1910. Vol. 5. PP. 307- 396.
2. Lo V., Pope E. Amniotic membrane use in dermatology// Int J Dermatol. 2009. № 48(9). PP. 935-940. DOI: 10.1111/j.1365- 4632.2009.04173.x
3. Dolgikh G I, Privalov V E Laser Physics. Fundamental and Applied Research. Publishing House Reya, Vladivostok. 2016, PP. 351.
4. Murugappan S., Syed A. M., Nanasaheb D Thorat Raman Spectroscopy: A Tool for Molecular Fingerprinting of Brain Cancer// Thorat ACS Omega 2023 №8 (31). PP. 27845- 27861 DOI: 10.1021/acsomega.3c01848
5. Timchenko P.E., Timchenko E.V., Volova L.T., Frolov O.O. Use of Raman spectroscopy for the assessment of dentin materials during their fabrication // Journal of Optical Technology 2021. Vol. 88. №9. P. 485- 488.
6. GI Dolgikh, VE Privalov Laser Physics. Fundamental and Applied Research, Vladivostok, 2016, Reya Publishing House, 352 p.
7. Dolgikh GI, Privalov VE Lasers and Their Application in Ultra-Precise Measurements. Publishing House of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 2024, 368 p.

УДК543.424

ГРНТИ 29.31.27

БАК 01.04.05

Оптические методы исследования состава фруктового пюре детского питания

¹*Пятаева П.И., ¹Тимченко Е.В.

*1Самарский национальный исследовательский университет имени академика
С.П. Королева, 443086, Россия, г.Самара, ул.Московское шоссе 34*

**email:polina.pyataeva.04@inbox.ru, laser-optics.timchenko@mail.ru*

Питание детей является важным фактором формирования и развития подрастающего организма. Проблема качества детского фруктового пюре актуальна, поскольку от состава потребляемой ребёнком пищи в первые годы жизни зависят его здоровье и получение им необходимого количества питательных веществ и витаминов для полноценного роста и развития. Оптические методы нашли широкое применение для решения медико-биологических задач [1-2], в том числе и для проведения оценки состава фруктового пюре.

Целью исследования является оценка биохимического состава пюре детского питания с помощью оптических методов.

Исследование проводилось с применением методов спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) и конфокальной флуоресцентной микроскопии. Метод КР было осуществлён с использованием установки, состоящей из полупроводникового лазера 1 (LML-785.0RB-04), оптического комбинационного рассеяния света (КР) модуля 2 (PBL785), спектрографа (SharmrokSR-303i) с интегрированной цифровой камерой (ANDORDV-420A-OE). Все исследуемые объекты были измерены в трех различных точках. Обработка полученных спектров проводилась с помощью программного пакета Mathematica 8. Метод конфокальной микроскопии осуществлялся с помо-

щью системы лазерной конфокальной флуоресцентной микроскопии, собранной на базе микроскопа Olympus IX71 и лазерного комбайна ANDOR. Система обеспечивала скорость сканирования до 25 слоёв в секунду с разрешением до 400 нм.

Исследуемыми объектами были выбраны шесть образцов: магазинное пюре трёх вкусов (яблоко, персик яблоко и банан), пюре собственного приготовления из яблока, персика и банана в качестве контрольных образцов. В результате проведенного исследования были выявлены основные линии КР для исследуемых образцов: ~ 845 , 1015 см^{-1} – пектин [1], $\sim 830\text{ см}^{-1}$ – ксиланы [1], ~ 1080 – 1085 , ~ 1127 – $1132,5\text{ см}^{-1}$ – моно и дисахариды (глюкоза, сахароза, фруктоза) [2], ~ 1155 , ~ 1177 – $1187,5\text{ см}^{-1}$ – каротиноиды [1], ~ 822 – 823 см^{-1} – лимонная кислота [1], ~ 625 , $1252,5\text{ см}^{-1}$ – лигнин [1], ~ 350 – 357 , 375 , 425 , 450 – 452 см^{-1} – целлюлоза [1, 3], ~ 480 , 1000 – 1300 см^{-1} – крахмал [4, 5].

Было показано, что спектры исследуемых объектов имели схожий характер во всем исследуемом диапазоне, помимо области ~ 1000 – 1300 см^{-1} , где отмечаются выраженные линии КР, соответствующие крахмалу. Данная линия КР проявлялась у магазинного пюре. Предположительно, в данных образцах пюре, крахмал используется в качестве загустителя.

Результаты исследований подтверждены микроскопическим анализом. На снимках всех образцов магазинного пюре замечены кристаллы лимонной кислоты, которая может быть использована в качестве консерванта. Отмечено большое количество жидкости с волокнистыми частицами в образцах магазинного пюре, что, возможно, связано с добавлением в пюре фруктового сока для придания более однородной консистенции.

Таким образом, с помощью оптических методов можно проводить экспресс-анализ состава продукции.

Список литературы:

1. Долгих Г.И., Привалов В.Е. Лазеры. Лазерные системы.– Владивосток: «Дальнаука», 2009.– 202 с.
2. Привалов В.Е., Фотиади А.Э., Шеманин В.Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы.– СПб.: Изд. Лань, 2013.– 288 с.
3. Huang Y.; Wang H.; Huang H.; Tan Z.; Hou C.; Zhuang J.; Tang Y. Raman Spectroscopy and Its Application in Fruit Quality Detection //Agriculture.– 2025.– №15.– 195.
4. Fernadez P.J.A., Abbas O., Dardenne P., Baeten V. Discrimination of Corsican honey by FT–Raman spectroscopy and chemometrics // Biotechnology, Agronomy and Society and Environment. – 2011. - №15(1). – С. 75- 84.
5. Szymanska Chagot M., Cybulska J., Zdunek A. Sensing the Structural Differences in Cellulose from Apple and Bacterial Cell Wall Materials by Raman and FT–IR Spectroscopy. //Sensors. - 2011. - №11. – С.5543– 5560.
6. Boyaci I.H., Temiza H.T., GenişH.E., Soykut E.A., Yazgan N.N., Güven B., Uysal R.S., Bozkurt A.G., İlaslan K., Torun O., Dudak Şeker F.C. Dispersive and FT–Raman spectroscopic methods in food analysis //RSCAdv. - 2015. - №5, 56606
7. Исматова Р.А., Амонова М.М. Физико-химические аспекты получения и применения полимерной композиции для шлихтования хлопчатобумажной пряжи// Universum: технические науки.– 2021.– №6(87).

Optical methods for studying the composition of fruit puree for baby food

1*Pyataeva P.I., 1Timchenko E.V.

1Academician S.P. Korolev Samara National Research University, 443086, Russia, Samara,
Moskovskoe shosse 34

*email:polina.pyataeva.04@inbox.ru, laser-optics.timchenko@mail.ru

Children's nutrition is an important factor in the formation and development of the growing organism. The problem of the quality of baby fruit puree is relevant, since the composition of the food consumed by the child in the first years of life depends on his health and the receipt of the necessary amount of nutrients and vitamins for full growth and development. Optical methods have found wide application for solving medical and biological problems [1- 2], including for assessing the composition of fruit puree.

The aim of the study is to evaluate the biochemical composition of baby food puree using optical methods.

The study was conducted using Raman spectroscopy (RS) and confocal fluorescence microscopy. The RS method was implemented using a setup consisting of a semiconductor laser 1 (LML-785.0RB-04), optical Raman scattering (KR) module 2 (PBL 785), spectrograph (Sharmrok SR-303i) with integrated digital camera (ANDOR DV-420A-OE). All the objects under study were measured at three different points. The obtained spectra were processed using the Mathematica 8 software package. The confocal microscopy method was carried out with using a laser confocal fluorescence microscopy system assembled on the basis of an Olympus IX71 microscope and an ANDOR laser combine. The system provided a scanning speed of up to 25 layers per second with a resolution of up to 400 nm. Six samples were selected as the studied objects: grape puree of three flavors (apple, peach-apple and banana), self-made puree of apple, peach and banana as control samples. As a result of the conducted research, the main lines of the CR for the studied samples were identified: $\sim 845, 1015 \text{ cm}^{-1}$ – pectin [1], $\sim 830 \text{ cm}^{-1}$ – xylans [1], $\sim 1080-1085, \sim 1127-1132.5 \text{ cm}^{-1}$ – mono- and disaccharides (glucose, sucrose, fructose) [2], $\sim 1155, \sim 1177-1187.5 \text{ cm}^{-1}$ – carotenoids [1], $\sim 822-823 \text{ cm}^{-1}$ – citric acid [1], $\sim 625, 1252.5 \text{ cm}^{-1}$ – lignin [1], $\sim 350-357, 375, 425, 450-452 \text{ cm}^{-1}$ – cellulose [1, 3], $\sim 480, 1000-1300 \text{ cm}^{-1}$ – starch [4, 5].

It was noted that the spectra of the studied objects had a similar character in the entire studied range, except for the region of $\sim 1000-1300 \text{ cm}^{-1}$ in store-bought puree, where pronounced Raman lines corresponding to starch are noted. Presumably, in these puree samples, starch is used as a thickener. The results of the studies were confirmed by microscopic analysis. In the pictures of all the samples of store-bought puree, crystals of citric acid were noticed, which can be used as a preservative. A large amount of liquid with fibrous particles was noted in the samples of store-bought puree, which is probably due to the addition of fruit juice to the puree to give it a more uniform consistency.

Thus, using optical methods, it is possible to carry out express analysis of product composition.

References

1. Dolgikh G.I., Privalov V.E.. Lasers. Laser systems.– Vladivostok, 2009, Dalnauka, 202 p.

2. V.E. Privalov, A.E. Fotiadi, V.G. Shemanin. Lasers and environmental monitoring of the atmosphere St. Petersburg, 2013, Publishing house Lan 288 p.
3. Y. Huang, H. Wang, H. Huang, Z. Tan, C. Hou, J. Zhuang and Y Tang, Raman Spectroscopy and Its Application in Fruit Quality Detection, Agriculture, No. 15, 195, 2025
4. P.J.A. Fernandez, O. Abbas, P. Dardenne and V. Baeten. Discrimination of Corsican honey by FT–Raman spectroscopy and chemometrics //Biotechnology, Agronomy and Society and Environment, No.15(1), 2011, P.75- 84
5. M. Szymanska–Chargot, J. Cybulska and A. Zdunek, Sensing the Structural Differences in Cellulose from Apple and Bacterial Cell Wall Materials by Raman and FT–IR Spectroscopy // Sensors, No.11,2011, P.5543– 5560.
6. I.H. Boyaci, H.T. Temiza, H.E. Geniş, E.A. Soykut, N.N. Yazgan, B. Güven, R.S. Uysal, A.G. Bozkurt, K. İlaslan, O. Torun and F.C. Dudak Şeker, Dispersive and FT–Raman spectroscopic methods in food analysis //RSC Adv., No. 5, 2015.
7. R.A. Ismatova, M.M. Amonova. Physico–chemical aspects of obtaining and applying a polymer composition for dressing cotton yarn //Universum: technical sciences, No 6(87), 2021.

УДК543.424

ГРНТИ 29.31.27

BAK 01.04.05

Сравнительный спектральный анализ биоматериалов после процесса лиофилизации

^{1,2*}Тимченко Е.В., ¹Тимченко П.Е., ²Волова Л. Т., ¹Фролов О.О., ¹Семибратова Е. С.

¹Самарский университет, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе 34

²Самарский государственный медицинский университет, 443099, Россия,
г. Самара, ул. Чапаевская 89

email: *laser-optics.timchenko@mail.ru, timpavel@mail.ru, volovalt@yandex.ru,
frolov679@mail.ru, katerinasemibratova@mail.ru

Тканевая инженерия открывает новые возможности для использования различных биоматериалов в качестве трансплантантов. Патологии мочевого пузыря существенно ухудшают качество жизни и могут приводить к осложнениям со стороны других органов и систем [1- 3]. Одним из новых способов решения данной проблемы является восстановление поврежденных тканей мочевого пузыря биоматериалами из твердой мозговой оболочки. Однако, на данный момент, не проводились исследования, по сравнительной оценке, состава биоматериалов с целью возможности их использования для восстановления тканей мочевого пузыря. Оптические методы нашли широкое применение для решения медико-биологических задач [4-5].

Целью исследования был сравнительный спектральный анализ биоматериалов после процесса лиофилизации с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния.

В качестве объектов исследований были использованы твердая мозговая оболочка (ТМО) и аллогенные капсулы мочевого пузыря различных доноров, размером 1,5х1,5 см±2мм. После изъятия биоматериалы погружали в физраствор с антибиотиком. ТМО хранилась при температуре t=+25°C, мочевой пузырь при t=+4°C. Затем их обработали по технологии «ЛИО-ПЛАСТ» (ТУ-9398-001-01963143-2004).

Метод рамановской спектроскопии был реализован с использованием пробника RPB-785, лазера LuxxMaster LML-785.0RB-04 (мощность до 500 мВт, длина волны $784,7 \pm 0,05$ нм) и спектрометра Shamrock sr-303i с разрешением 0,15 нм со встроенной охлаждаемой камерой DV420A-ОЕ. Анализировались рамановские спектры в диапазоне 500- 1800 см^{-1} . Обработка данных проводилась в Wolfram Mathematica 12 и включала удаление шумов с помощью усредняющего фильтра, полиномную аппроксимацию флуоресцентной составляющей и вычитание ее из спектра для получения обработанного спектра комбинационного рассеяния.

Для улучшения информативности рамановских спектров был проведен нелинейный регрессионный анализ, включающий разложение полученных спектров на спектральные линии. Состав этих линий определен на основе анализа литературы и многоитерационного моделирования.

В результате проведенных исследований с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния были установлены характерные спектры лиофилизированных капсул мочевого пузыря и твердой мозговой оболочки, на которых выделяются линии КР 1264 см^{-1} (Amide III), 1555 см^{-1} (Amide II), 1655 и 1663 см^{-1} (Amide I), 1745 см^{-1} (Phospholipids). Исследуемые группы имеют между собой спектральное сходство, что свидетельствует о сходстве их структурного состава. Наличие общих компонентов в структурном составе исследуемых образцов открывает перспективу использования твердой мочевого оболочки в качестве потенциального материала для замены тканей мочевого пузыря.

Список литературы

1. Pariente J.L. In vitro biocompatibility evaluation of naturally derived and synthetic biomaterials using normal human bladder smooth muscle cells / J.L. Pariente, B.S. Kim, A. Atala // J Urol. 2002. V. 167. P. 1867- 1871.
2. Глыбочко П.В. Экспериментальное обоснование создания гибридной матрицы и тканеинженерной конструкции на основе сетки из полилактогликолида реконструированного коллагена с целью последующей заместительной уретропластики / П.В. Глыбочко, Ю.Г. Аляев, А.Б. Шехтер и соавт. // Урология.– 2015.– № 6.– С. 5-13.
3. Тканевая инженерия в уретральной реконструкции протяженных структур уретры / Образков К. О., Строчкин А. В. // Медицинские новости. – 2022 – № 6 (333). – С. 13-18.
4. Привалов В.Е. Газоразрядные лазеры в измерительных комплексах.– Л.: Изд. Судостроение, 1989.– 260 с.
5. Иванов В.А., Привалов В.Е. Применение лазеров в приборах точной механики. СПб.: Изд. Политехника, 1993.– 215 с.

Comparative spectral analysis of biomaterials after the lyophilization process

^{1,2*}Timchenko E.V., ¹Timchenko P. E., ²Volova L. T., ¹Frolov O.O., ¹Semibratova E.S.

¹Samara University, 443086, Russia, Samara, Moskovskoe shosse 34

²Samara State Medical University, 443099, Russia, Samara, st. Chapaevskaya 89

email: *laser-optics.timchenko@mail.ru, timpavel@mail.ru, volovalt@yandex.ru,

frolov679@mail.ru, katerinasemibratova@mail.ru

Tissue engineering opens up new possibilities for using various biomaterials as transplants. Bladder pathologies significantly worsen the quality of life and can lead to complications in other organs and systems [1-3]. One of the new ways to solve this problem is to restore damaged bladder tissues with biomaterials from the dura mater. However, at the moment, no studies have been conducted to compare the composition of biomaterials for the possibility of using them to restore bladder tissues. Optical methods have found wide application for solving medical and biological problems [4- 5].

The aim of the study was a comparative spectral analysis of biomaterials after the lyophilization process using Raman spectroscopy.

The dura mater (TMO) and allogeneic bladder capsules of various donors, measuring $1.5 \times 1.5 \text{ cm} \pm 2 \text{ mm}$, were used as research objects. After removal, the biomaterials were immersed in a special solution with an antibiotic. TMO was stored at a temperature of $t = +25^\circ\text{C}$, the bladder at $t = +4^\circ\text{C}$. Then they were processed using the "LYOPLAST" technology (TU-9398-001-01963143-2004).

The Raman spectroscopy method was implemented using an RPB-785 probe, a LuxxMaster LML-785.0RB-04 laser (power up to 500 mW, wavelength $784.7 \pm 0.05 \text{ nm}$) and a Shamrock sr-303i spectrometer with a resolution of 0.15 nm with an integrated DV420A-OE cooled camera. Raman spectra in the range of $500\text{--}1800 \text{ cm}^{-1}$ have been analyzed. Data processing was carried out in Wolfram Mathematica 12 and included noise removal using an averaging filter, polynomial approximation of the fluorescent component and its subtraction from the spectrum to obtain the processed Raman spectrum.

To improve the information content of the Raman spectra, a nonlinear regression analysis was performed, including the decomposition of the obtained spectra into spectral lines. The composition of these lines is determined based on literature analysis and multi-iterative modeling.

As a result of the conducted research using the method of Raman spectroscopy, the characteristic spectra of lyophilized capsules of the bladder and dura mater were established. The peaks of 1264 cm^{-1} (Amide III), 1555 cm^{-1} (Amide II), 1655 and 1663 cm^{-1} (Amide I), 1745 cm^{-1} (Phospholipids) stand out among them. The studied groups have some similarities in their structural composition. The presence of common components in the structural composition of the studied samples opens up the prospect of using TMO as a potential material for replacing bladder tissues.

References

1. J.L. Pariente, B.S. Kim, A. Atala. In vitro biocompatibility evaluation of naturally derived and synthetic biomaterials using normal human bladder smooth muscle cells // J. Urol. 2002. V. 167. P. 1867– 1871.
2. P. V. Glybochko, P. V. Glybochko, Yu. G. Alyaev, A. B. Shekhter et al. Experimental substantiation of the creation of a hybrid matrix and tissue engineering structure based on a mesh of reconstructed collagen polylactoglycolide for the purpose of subsequent replacement urethroplasty // Urology. No. 6, 2015, P. 5– 13.
3. K.O. Obrazkov, A.V. Strotsky. Tissue engineering in the urethral reconstruction of extended urethral strictures // Medical News. - 2022 - No. 6 (333). P. 13- 18.

4. V.E. Privalov. Gas-discharge lasers in measuring complexes. L., 1989, Publishing house Sudostroenie, 260 p.
5. V.A. Ivanov, V.E. Privalov. Application of lasers in precision mechanics devices. St. Petersburg, 1993, Publ.house Polytechnic, 215p.

УДК 543.424
ГРНТИ 29.31.27
ВАК 01.04.05

Спектральный анализ воды для биотехнологических лабораторий

¹П.Е. Тимченко, ²А.Д. Волон, ²А.М. Саргсян, ^{1,2}Е.В. Тимченко, ¹О.О. Фролов,
³Л.Т. Волова, ¹А.А. Чернухин

¹Самарский университет, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34

²Самарский государственный технический университет, г. Самара,
ул. Молодогвардейская, 244

³Самарский государственный медицинский университет, НИИ биотехнологий
СамГМУ, г. Самара, ул. Чапаевская, 89

email: *anbik1128@gmail.com, laser-optics.timchenko@mail.ru

Вода в биотехнологических приложениях должна соответствовать строжайшим стандартам чистоты. Малейшие примеси могут ингибировать ферменты, влиять на рост клеток, искажать результаты анализов.

Оптические методы исследований нашли широкое применение в биомедицине [1- 3]. В частности, спектральный анализ, наряду с хроматографией и гравиметрическим анализом, может быть инструментом контроля качества воды в биотехнологических лабораториях, обеспечивая экспрессное, чувствительное и часто неразрушающее определение широкого спектра критически важных примесей (органических, неорганических), что напрямую влияет на достоверность, воспроизводимость и успех биотехнологических исследований и производственных процессов.

Целью работы являлось проведение спектрального анализа водных растворов для биотехнологических лабораторий.

Объектами исследования являлись: 1- БиотехАквалаб AL-2 EDI - деионизированная вода, получена на аппарате Аквалаб AL-2 EDI; 2- Биотех мембрана ДМЭ-2Б, 2- ОПТИМА - деионизированная вода, получена на аппарате ДМЭ-2Б ОПТИМА, 3- Ультрачистая Атлант - деионизированная вода, стороннего производителя, чистота 99,999%

В качестве методов исследования был использован метод спектроскопии комбинационного рассеяния, реализуемый с помощью экспериментального стенда, описанного в работе [1]. Дальнейшая работа с обработкой спектров и статистическим анализом выполнена в программе Raman spectroscopy tool v. 1.0.9.

Также проводился химический анализ исследуемых образцов.

Проведенный спектральный анализ исследуемых образцов показал, что в спектрах деионизированной воды, полученной на аппарате Аквалаб AL-2 EDI практически отсутствуют линии ~ 1560 (n(CN) and d(NH) amide II (protein assignment)) и ~ 1660 cm^{-1} (Amide I) в отличие от двух других исследуемых групп, что возможно свидетельствует о том, что она наиболее очищена от органических соединений.

Результаты проведенных химических исследований показывают, что вода, полученная из каждой из установок – Аквалаб AL-2 EDI и ДМЭ-2/Б ОПТИМА, а также купленная деонизированная вода стороннего производителя, представленная под маркой “ультрачистая” (ООО “Атлант”), имеет примерно одинаковый химический состав.

Несмотря на наличие микробиологического загрязнения в анализируемых образцах, вода, полученная с использованием установки Аквалаб AL-2 EDI, является наиболее подходящей для использования в биотехнологических лабораториях из-за минимального уровня загрязнений.

Список литературы

1. 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 //J. Optical Technology, 2020 - 87(3) - С. 161- 167
2. Привалов В.Е. Газоразрядные лазеры в судовых измерительных комплексах. – Л.: Изд. Судостроение, 1977. – 152 с.
3. Куршев Г.А., Привалов В.Е., Фофанов Я.А. Страты в He-Ne лазерах. – Киев: Наукова думка, 1986. – 86 с.

Spectral Analysis of Water for Biotechnological Laboratories

¹P.E. Timchenko, ²A.D. Volov, ²A.M. Sargsyan, ^{1,3} E.V. Timchenko, ¹O.O. Frolov,

³L.T. Volova, ¹A.A. Chernukhin

¹Samara University, Samara, Moskovskoe Shosse St., 34

²Samara State Tech. University, Samara, Molodogvardeyskaya St., 244

³Samara State Medical University, Research Institute of Biotechnology Samara SMU, Samara, Chapayevskaya St., 89

email: *anbik1128@gmail.com, laser-optics.timchenko@mail.ru

Water in biotechnological applications must meet the strictest purity standards. The slightest impurities can inhibit enzymes, affect cell growth, and distort test results.

Optical research methods have found wide application in biomedicine [1-3]. In particular, spectral analysis, along with chromatography and gravimetric analysis, can be a tool for water quality control in biotechnological laboratories, providing rapid, sensitive and often non-destructive determination of a wide range of critical impurities (organic, inorganic), which directly affects the reliability, reproducibility and success of biotechnological research and production processes.

The aim of the work was to conduct a spectral analysis of aqueous solutions for biotechnological laboratories.

The objects of the study were: 1- BiotechAqualab AL-2 EDI - deionized water, obtained on the Aqualab AL-2 EDI device; 2- Biotech membrane DME-2B, 2- OPTIMA - deionized water, obtained on the DME-2B OPTIMA apparatus, 3- Ultrapure Atlant - deionized water, third-party manufacturer, purity 99.999%

The research methods used were the Raman spectroscopy method, implemented using the experimental setup described in [1]. Further work with spectra processing and statistical analysis was performed in the program Raman spectroscopy tool v. 1.0.9.

A chemical analysis of the studied samples was also carried out. The spectral analysis of the samples showed that the spectra of deionized water obtained with the Aqualab AL-2 EDI device practically do not contain the lines ~ 1560 (n(CN) and d(NH) amide II (protein assignment)) and ~ 1660 cm^{-1} (Amide I), unlike the other two groups studied, which may indicate that it is the most purified from organic compounds.

The results of the chemical studies show that the water obtained from each of the units - Aqualab AL-2 EDI and DME-2/B OPTIMA, as well as purchased deionized water from a third-party manufacturer, presented under the brand name "ultra-pure" (ООО "Atlant"), have approximately the same chemical composition. Despite the presence of microbiological contamination in the analyzed samples, the water obtained using the Aqualab AL-2 EDI unit is the most suitable for use in biotechnological laboratories due to the minimal level of contamination.

References

1. 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 //J. Optical Technology, 2020 - 87(3) - P. 161- 167
2. V.E. Privalov. Gas-discharge lasers in ship measuring systems. L., 1977 Publishing house Sudostroenie, 152 p.
3. G.A. Kurshev, V.E. Privalov, Ya.A. Fofanov. Strata in He-Ne lasers. Kyiv, 1986, Naukova Dumka, 86 p.

УДК 535:621.373.8

ГРНТИ 29.33.15

БАК 01.04.21

Численное исследование пространственно-временных характеристик активных сред рекомбинационных лазеров на парах металлов

Чеботарев Г. Д.

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

Ионные рекомбинационные лазеры на парах стронция и кальция являются эффективными источниками видимого и УФ излучения ($\lambda=430,5$ и $416,2$ нм SrII; $\lambda=373,7$ и $370,6$ нм CaII) [1]. Наличие неоднородностей газоразрядной плазмы может ограничивать энергетические характеристики рекомбинационных лазеров. В настоящей работе с использованием самосогласованной математической модели [2] была численно исследована пространственно-временная эволюция параметров плазмы, а также рассчитаны энергетические характеристики излучения для лазера на парах стронция при оптимальных условиях возбуждения, найденных нами экспериментально. Анализ результатов моделирования показал, что необходимые для достижения высокой однородности плазмы соотношения компонент рабочей смеси оказываются близкими к соотношениям, обеспечивающим максимум скорости рекомбинационной накачки. Полученные в работе результаты позволяют прогнозировать оптимальные условия возбуждения активных сред рекомбинационных лазеров.

Список литературы

1. Солдатов А.Н., Латуш Е.Л., Чеботарев Г.Д., Юдин Н.А., Васильева А.В., Полунин Ю.П., Пруцаков О.О. Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2012. – 526 с.
2. Чеботарев Г.Д., Латуш Е.Л., Пруцаков О.О., Фесенко А.А. Кинетика активной среды рекомбинационного He-Sr⁺ лазера. Пространственно-временные характеристики. // Квантовая электроника. – 2008. – Т.38. – №4. – С. 299-308.

Numerical investigation of the spatio-temporal characteristics of active media of recombination metal vapor lasers

Chebotarev G.D.

Southern Federal University, 344006, Russia, Rostov-on-Don, st. Bolshaya Sadovaya 105/42
email: *gdchebotarev@sfedu.ru

Ion recombination lasers on strontium and calcium vapor are effective sources of visible and UV radiation ($\lambda=430.5$ and 416.2 nm SrII; $\lambda=373.7$ and 370.6 nm CaII) [1]. The presence of inhomogeneities of gas-discharge plasma can limit the energy characteristics of recombination lasers. In the present work, using a self-consistent mathematical model, we numerically studied the spatio-temporal evolution of plasma parameters, and calculated the energy characteristics of radiation for a strontium vapor laser under optimal excitation conditions found by us experimentally. Analysis of the modeling results showed that the ratios of the working mixture components necessary to achieve high plasma homogeneity are close to the ratios that ensure the maximum recombination pumping rate. The results obtained in the work allow us to predict the optimal excitation conditions for active media of recombination lasers.

References

1. Soldatov A.N., Latush E.L., Chebotarev G.D., Yudin N.A., Vasil'eva A.V., Polunin Yu.P., Prutsakov O.O. Impul'sno-periodicheskie lazery na parakh strontsiya i kal'tsiya [Repetitively pulsed strontium and calcium vapor laser]. – Tomsk: TML-Press, 2012. – 526 p.
2. Chebotarev G.D., Latush E.L., Prutsakov O.O., Fesenko A.A. Kinetics of the active medium of a He-Sr⁺ recombination laser: 1. Spatio-temporal characteristics. // Quantum Electronics. 2008. V. 38. N. 4. P.299- 308.

УДК 535:621.373.8

ГРНТИ 29.33.15

ВАК 01.04.21

Оптимизация характеристик лазера на самоограниченных переходах SrII

Чеботарев Г. Д.

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

Особенностью ионного лазера на парах стронция является возможность эффективной реализации двух различных механизмов накачки в плазме импульсно-периодического разряда: рекомбинационного (в фиолетовой области спектра на $\lambda=430,5$ и $416,2$ нм SrII) и ионизационного (в инфракрасной области спектра на $\lambda=1033$ и 1091 нм SrII) [1]. В настоящей работе была

проведена численная многопараметрическая оптимизация характеристик лазера на самоограниченных ИК переходах иона стронция ($\lambda=1033$ и 1091 нм SrII). В частности, была исследована зависимость параметров плазмы, а также временных и энергетических характеристик излучения от условий возбуждения активной среды. Из результатов моделирования, проведенного с использованием модели [2], следует, что имеется достаточно широкий диапазон условий возбуждения, при которых достигаются достаточно высокие характеристики генерации. Полученные в работе результаты дают возможность прогнозировать оптимальные условия возбуждения активных сред лазеров на парах стронция, в том числе необходимые для реализации многоволнового режима излучения при одновременной генерации на видимых и ИК переходах иона стронция.

Список литературы

1. Солдатов А.Н., Латуш Е.Л., Чеботарев Г.Д., Юдин Н.А., Васильева А.В., Полунин Ю.П., Пруцаков О.О. Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2012. – 526 с.
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.

Optimization of the characteristics of a laser on self-terminating transitions of SrII

Chebotarev G. D.

Southern Federal University, 344006, Russia, Rostov-on-Don, st.BolshayaSadovaya 105/42

*email: *gdchebotarev@sfnedu.ru*

A distinctive feature of the ion strontium vapor laser is the ability to efficiently implement two different pumping mechanisms in the plasma of a pulse-periodic discharge: recombination (in the violet spectrum region at $\lambda=430.5$ and 416.2 nm SrII) and ionization (in the infrared spectrum region at $\lambda=1033$ and 1091 nm SrII) [1]. In this paper, a numerical multiparameter optimization of the laser characteristics on self-terminating IR transitions of strontium ions ($\lambda =1033$ and 1091 nm SrII) was performed. In particular, the dependence of the plasma parameters, as well as the time and energy characteristics of the radiation on the excitation conditions of the active medium was investigated. From the results of the simulation carried out using the model [2], it follows that there is a sufficiently wide range of excitation conditions under which sufficiently high generation characteristics are achieved. The results obtained in the work make it possible to predict the optimal conditions for the excitation of active media of strontium vapor lasers, including those necessary for the implementation of a multi-wave radiation mode with simultaneous generation on visible and IR transitions of the strontium ion.

References

1. Soldatov A.N., Latush E.L., Chebotarev G.D., Yudin N.A., Vasil'eva A.V., Polunin Yu.P., Prutsakov O.O. Impul'sno-periodicheskie lazery na parakh strontsiya i kal'tsiya [Repetitively pulsed strontium and calcium vapor laser]. – Tomsk: TML-Press, 2012. – 526 p.
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.

Адаптация двухпоточковой методики передачи в ВОЛС с модовым мультиплексированием при RZ-кодировании данных

Д.В. Свистунов

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

В последнее время исследуется вопрос создания независимых информационных каналов в едином трактовом мало- или многомодовом волокне ВОЛС при использовании метода модового мультиплексирования, что позволяет повысить информационную емкость системы и уровень защиты передаваемых данных.

Последней цели служит предложенная перспективная методика двухпоточковой передачи данных [1]. В этой методике исходный электрический сигнал превращается в отдельные потоки логических 1 и 0. При модовом мультиплексировании эти потоки передаются в виде световых импульсов разными модами трактового волокна, принадлежащими к одной модовой группе. В приемном блоке системы эти потоки детектируются, и восстанавливаются исходные данные. При нелегальном вторжении в тракт такой линии, считывается суммарный сигнал, в котором потоки 1 и 0 складываются в общую последовательность, где промежутки между импульсами одного потока заполнены импульсами другого. Выравнивание амплитуд передаваемых импульсов разных потоков приводит к их неразличимости в суммарном считанном сигнале, что препятствует дешифровке данных в ходе нелегальной процедуры.

В докладе представлен принцип преобразования сигналов, детектированных в приемном блоке, при RZ-формате кодирования исходного электрического сигнала. В этом случае, в принятом сигнале требуется произвести обработку детектированных потоков логических 1 и 0 для восстановления исходного RZ-формата.

Список литературы

1. Свистунов Д.В. Принцип двухпоточковой передачи данных в перспективных оптоволоконных системах с модовым мультиплексированием // Сборник трудов Междунар. конф. «Прикладная оптика-2018». – СПб. – 2018. – Т. 1. – С. 167.

Adaptation of two-stream technique of data transmission in fiber systems with mode division multiplexing under RZ data format

Svistunov D.V.

*Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic university, 195251, Russia, St.-Petersburg,
st.Polytekhnicheskaya 29,
e-mail: svistunov@mail.ru*

Possibility of organization of independent information channels within unique trunk few- or multimode fiber in fiber systems is considered currently under application of mode division multiplexing method. System information capacity and

the level of data protection can be increased significantly in this case.

The latter purpose can be provided by the proposed promising two-stream technique of data transmission [1]. Original electric signals are transformed into separate streams of logic 1s and 0s in this technique. Mode division multiplexing provides transmission of these streams as light impulses via different trunk fiber modes belonging to the same mode group. The streams are detected into the receiving block, and the original data stream is recovered. If illegal intrusion to the trunk line occurs, the summa of logic streams could be registered in this procedure. Logic 1s and 0s form common unipolar consequence of impulses where gaps between impulses of one stream are filled with impulses of another stream. The unique level of impulse amplitude for both streams leads to failing in distinguishing of logic streams from the summarized illegally read signal, and illegal data decryption becomes very difficult.

The report presents the principle of signal transformation upon detecting the logic streams into the receiving block if RZ format of data coding is applied in original electric data signal. Recovering the original RZ format requires special treatment of detected unipolar streams of logic 1s and 0s in this case.

References

1. Svistunov D.V. Principle of two-stream technique of data transmission in advanced fiber systems with mode division multiplexing // Digest of Intern. conf. "Applied optics – 2018" (St.-Perersburg, 2018), V.1, P. 167

УДК535:621.373.8

ГРНТИ29.33.15

BAK01.04.21

Спектральные характеристики ионных лазеров на тройной смеси паров металла с гелием и неоном или с накачкой в разряде с полым катодом

И. Г. Иванов

Южный федеральный университет, 344006, Россия, г.Ростов-на-Дону,

ул. Б. Садовая 105/42

email:igivanov@sfedu.ru

С целью увеличения набора длин волн излучения газоразрядных лазеров на ионных переходах металлов, накачка которых осуществляется реакцией перезарядки в плазме разряда с полым катодом, нами было предложено использовать двухкомпонентный буферный газ: смесь гелия и неона, что обеспечивает одновременную накачку большего числа рабочих ионных лазерных переходов металла по сравнению с однокомпонентным буферным газом [1]. Это является следствием наличия в энергетическом спектре иона рабочего металла двух групп лазерных переходов, каждая из которых избирательно заселяется перезарядкой в столкновениях атома металла с ионами каждого компонента бинарного буферного газа: He^+ и Ne^+ . Найдено, что использование данного метода накачки для пяти рабочих металлов позволяет получить одновременную генерацию на переходах: в лазерах на парах таллия и теллура – в сине-зелёной, красной и ближней ИК частях спектра; в лазере на парах меди – в УФ и ближней ИК частях спектра; в лазере на парах серебра

– в УФ, сине-зелёной и ближней ИК частях спектра; в лазере на парах мышьяка – в сине-зелёной и красной частях спектра. Изменяя соотношение парциальных давлений гелия и неона в бинарном буферном газе, можно изменять соотношение выходных мощностей лазера в разных частях спектра.

Список литературы

1. Ivanov I.G. Multiwave pulsed ion laser on silver vapors when using binary mixture of helium and neon as buffer gas // In Materials of the XVI Int. Conf. Pulsed lasers and laser applications AMPL-2023. (Tomsk. 2023). Tomsk. СТТ. 2023. P. 161.

Spectral characteristics of ion lasers on a triple mixture of metal vapor with helium and neon and with pumping in a hollow cathode discharge

I. G. Ivanov

*Southern federal university 3440006, Russia, Rostov-na-Donu, str. BolshayaSadovaya 105/42
email: igivanov@sfedu.ru*

In order to increase the set of radiation wavelengths of gas-discharge lasers on Tl, Cu, Ag, Te and As ion transitions, whose pumping is carried out by the charge transfer reaction in the plasma of the hollow cathode discharge, we proposed to use a two-component buffer gas – a mixture of helium and neon [1]. This ensured the simultaneous pumping of a larger number of ion laser transitions of these metals compared to a single-component buffer gas. It is a consequence of the presence of the listed metals of two groups of laser transitions in the ion energy spectrum. Each of these groups is selectively populated by the charge transfer in collisions of metal atoms with ions of each binary buffer gas component: He^+ и Ne^+ . It was found that the use of this pumping method for five working metals allows for simultaneous generation at transitions: in lasers on thallium and tellurium vapors - in the blue-green, red and near IR parts of the spectrum; in a copper vapor laser - in the UV and near IR parts of the spectrum; in a silver vapor laser - in the UV, blue-green and near IR parts of the spectrum; in an arsenic vapor laser - in the blue-green and red parts of the spectrum. By varying the ratio of the partial pressures of helium and neon in a binary buffer gas, it is possible to change the ratio of the laser output powers in different parts of the spectrum.

References

1. Ivanov I. G. Multiwave pulsed ion laser on silver vapors when using binary mixture of helium and neon as buffer gas // In Materials of the XVI Int. Conf. Pulsed lasers and laser applications AMPL-2023 (Tomsk. 2023). Tomsk. СТТ. 2023. P. 161.

УДК 53.535
ГРНТИ 29.33
ВАК 1.3.19

Решение системы дифференциально-интегральных уравнений для положительного столба разряда в лазерных трубках

¹ Кожевников В.А., ^{1*} Привалов В.Е., ¹ Бирюков А.М.

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29
email: * vaevpriv@yandex.ru, moraval@mail.ru

Нами была получена система уравнений, связывающих внешние параметры положительного столба разряда в лазерной трубке переменного диаметра с его основными внутренними параметрами для двухкомпонентной атомной смеси (пятикомпонентная плазма), обобщающая соответствующие уравнения из [1-2]. Решение данной системы представляет собой нетривиальную задачу из-за сочетания различных типов уравнений в системе – эллиптические дифференциальные уравнения баланса частиц (в цилиндрических координатах), интегральное соотношение для тока, трансцендентные уравнения для температуры и напряженности. Конвекционные подходы к решению оказались неприменимы по причине сильной взаимосвязи переменных, разнородности уравнений и вычислительной сложности. Был предложен оригинальный итерационный подход с комбинацией метода Ньютона и метода конечных разностей, который позволил эффективно сочетать преимущества метода Ньютона для решения нелинейных уравнений с возможностями конечно-разностных схем для обработки многомерных дифференциальных уравнений, обеспечивая сходимость решения при разумных вычислительных затратах.

Список литературы

1. Кожевников В.А., Привалов В.Е., Фотиади А.Э. Положительный столб разряда постоянного тока в лазерных трубках переменного диаметра // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2019. – Т. 12. – № 4. – С. 97-107.
2. Kozhevnikov V.A., Privalov V.E., Fotiadi A.E., Shemanin V.G. Effect of the He-Ne laser population inversion dependence on its transverse dimensions on the radiation power // Proc. 2021 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech). – 2021. – P. 176-178.

Solution of the system of differential-integral equations for the positive column of the discharge in laser tubes

1Kozhevnikov V.A., 1*Privalov V.E., 1Biryukov A.M.

St. Petersburg State Politechnic University, 195251, Russia, St. Petersburg, Politicheskaya str., 29

e-mail: * vaevpriv@yandex.ru, moraval@mail.ru

We have obtained a system of equations relating the external parameters of a positive discharge column in a laser tube of variable diameter to its main internal parameters for a two-component atomic mixture (five-component plasma), generalizing the corresponding equations from [1, 2]. The solution of this system is a non-trivial problem due to the combination of different types of equations in the system – elliptical differential equations of particle balance (in cylindrical coordinates), integral relation for current, transcendental equations for temperature and tension. Convection approaches to the solution proved to be inapplicable due to the strong interrelation of variables, heterogeneity of equations and computational complexity. An original iterative approach was proposed with a combination of Newton's method and the finite difference method, which made it possible to effectively combine the advantages of Newton's method for solving nonlinear equa-

tions with the capabilities of finite difference schemes for processing multidimensional differential equations, ensuring convergence of the solution at reasonable computational cost.

References

1. Kozhevnikov V.A., Privalov V.E., Fotiadi A.E. A positive DC discharge column in laser tubes of variable diameter. //Scientific and technical bulletin of SPbGPU. Physico- Mathematical Sciences, V.12. No.4, P.97- 107, 2019.
2. Kozhevnikov V.A., Privalov V.E., Fotiadi A.E., Shemanin V.G. The effect of the dependence of the population inversion of a He-Ne laser on its transverse dimensions on the radiation power // Proc. IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech) 2021, P.176- 178, 2021.

УДК 53.535
ГРНТИ 29.33
БАК 1.3.19

Концентрация инверсно населенных атомов в He-Ne лазере на оси трубки

¹ Кожевников В.А., ^{1*} Привалов В.Е.

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251,
Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29
email: * vaevpriv@yandex.ru, moraval@mail.ru

Определение концентрации инверсно населенных атомов на оси трубки важно для определения энергетических характеристик He-Ne лазера – от неё зависит как среднее по сечению значение усиления лазера, так и величина мощности излучения [1]. С помощью численного решения выведенной в [2] системы уравнений было получено распределение концентрации электронов в положительном столбе. Затем, взяв из литературы константы скоростей соответствующих процессов (возбуждения атома гелия, возбуждения от метастабильного атома гелия атому неона, ионизации, ухода метастабильных атомов гелия на стенки разрядной трубки, и др.), была произведена оценка концентрации метастабильных атомов гелия и возбужденных атомов неона в He-Ne лазере при оптимальных условиях его работы, откуда затем получена концентрации инверсно населенных атомов на оси трубки. Причем поскольку изначально исходные уравнения для положительного столба брались для разной геометрии трубки, то и полученные значения концентрации справедливы тоже для разной геометрии активного элемента.

Список литературы

1. Кожевников В.А., Привалов В.Е., Фотиади А.Э. Эффективный модовый объем и оценка мощности выходного излучения гелий-неонового лазера // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки.– 2020.– Т. 13.– № 4.– С. 119– 132.
2. Кожевников В.А., Привалов В.Е., Фотиади А.Э. Положительный столб разряда постоянного тока в лазерных трубках переменного диаметра // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки.– 2019.– Т. 12.– № 4.– С. 97– 107.

The concentration of inversely populated atoms in a He-Ne laser on the tube axis

¹Kozhevnikov V.A., ^{1*}Privalov V.E.

*1 Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 195251, Russia,
St. Petersburg, Politechnicheskaya str., 29,
email: *vaevpriv@yandex.ru, moraval@mail.ru*

Determining the concentration of inversely populated atoms on the tube axis is important for determining the energy characteristics of a He-Ne laser. Both the average cross-sectional gain of the laser and the radiation power depend on it [1]. Using the numerical solution of the system of equations derived in [2], the distribution of the electron concentration in the positive column was obtained. Then, using the rate constants of the corresponding processes from the literature (excitation of a helium atom, excitation from a metastable helium atom to a neon atom, ionization, escape of metastable helium atoms to the walls of the discharge tube, and others), the concentration of metastable helium atoms and excited neon atoms in a He-Ne laser was estimated under optimal operating conditions, from where then, the concentrations of inversely populated atoms on the tube axis are obtained. Moreover, since the initial equations for the positive column were taken for different tube geometries, the obtained concentration values are also valid for different geometries of the active element.

References

1. Kozhevnikov V.A., Privalov V.E., Fotiadi A.E. Effective mode volume and power estimation of the output radiation of a helium-neon laser. //Scientific and technical bulletin of SPbGPU. Physico- Mathematical Sciences, V.13, No.4, P.119- 132, 2020.
2. Kozhevnikov V.A., Privalov V.E., Fotiadi A.E. A positive DC discharge column in laser tubes of variable diameter. //Scientific and technical bulletin of SPbGPU. Physical and Mathematical Sciences, V.12. No.4, P.97- 107, 2019.

УДК 53.535
ГРНТИ 29.33
БАК 1.3.19

Исследование зависимости метода вычисления коэффициента усиления He-Ne лазера от параметров расчета

¹ Кожевников В.А., ^{1*} Привалов В.Е., Шеманин В.Г.

*¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, г.
Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29
email: *vaevpriv@yandex.ru, moraval@mail.ru*

В работе [1] нами предложен метод расчета среднего посещения коэффициента усиления He-Ne лазера, который затем был модифицирован [2] и использовался для расчета различных поперечных сечений активного элемента. Этот метод основан на нахождении приближенного решения задачи Дирихле для уравнения Гельмгольца для произвольной области. В данной работе мы проанализировали влияние на результаты расчета параметров метода – числа точек N на границе области и числа слагаемых n в сумме произведений бесселевых и тригонометрических функций при поиске приближенного решения. Анализ показал, что, начиная с некоторого N (или n), зависимость результатов расчета от дальнейшего увеличения N (или n),

крайне мала. Например, для области в виде правильного пятиугольника рассчитанные значения усиления при $N=400$ и $N=400000$ (для $n=3$) отличаются в 7-м знаке, для области в виде круга рассчитанные значения усиления при $n=5$ и $n=6$ (для $N=400$) отличаются в 6-м знаке. Это означает, что предложенный метод позволяет достигать результатов с хорошей точностью при относительно небольших значениях параметров расчета.

Список литературы

1. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Влияние геометрии сечения активного элемента лазера на усиление его излучения. //Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки.– 2018.– Т.11.– № 2.– С. 84-95,
2. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Усиление в лазерах при неоднородных граничных условиях // Известия ВУЗов. Физика.– 2020.– Т.63.– №9 (753).– С. 165-171.

Investigation of the dependence of the He-Ne laser gain calculation method on the calculation parameters

1Kozhevnikov V.A., 1*Privalov V.E., 1Shemanin V.G.

1 Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 195251, Russia, St. Petersburg, Politechnicheskaya str., 29

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

We proposed in [1] a method for calculating the average cross-sectional gain of a He-Ne laser, which was then modified [2] and used to calculate various cross-sections of the active element. This method is based on finding an approximate solution to the Dirichlet problem for the Helmholtz equation for an arbitrary domain. In this paper, we analyzed the effect on the calculation results of the method parameters– the number of points N on the boundary of the domain and the number n of terms in the sum of products of Bessel and trigonometric functions when searching for an approximate solution. The analysis showed that starting from a certain N (or n), the dependence of the calculation results on a further increase in N (or n) is extremely small. For example, for the area in the form of a regular pentagon, the calculated gain values at $N=400$ and $N=400000$ (for $n=3$) differ in the 7th sign, for the area in the form of a circle, the calculated gain values at $n=5$ and $n=6$ (for $N=400$) differ in the 6th sign. This means that the proposed method allows achieving results with good accuracy with relatively small values of calculation parameters.

References

1. Kozhevnikov V.A., Privalov V.E.. The effect of the cross-sectional geometry of the active element of the laser on the amplification of its radiation. //Scientific and technical bulletin of SPbGPU. Physico-Mathematical Sciences, V.11, No.2, P. 84- 95, 2018.
2. Kozhevnikov V.A., Privalov V.E. Laser amplification under nonuniform boundary conditions. //News of high educational institutions. Physics, V. 63, No.9(753), P.165- 171, 2020.

Моделирование структуры и колебательных спектров модификаций токоферолов для реализации оптического метода их разделения

С.А. Куценко

*Волгоградский государственный университет, 400062, Россия, г. Волгоград,
Университетский проспект 100
email: svetlana_kutsenko@volsu.ru*

Разновидности токоферолов - α , β , γ , и δ относятся к группе витаминов *E*, наряду с токотриенолами. Эти вещества, производные хромана, защищают от разрушения клеточные мембраны, предотвращая разрушение ненасыщенных липидов, поэтому относятся к природным антиоксидантам [1]. Но биологическая активность препаратов на основе витамина *E* сильно зависит от его модификации и типа изомера. Это обусловлено числом одноэлектронных переносов атомов водорода фенольной гидроксильной группы на свободные радикалы, что связано с разным количеством метильных групп в структуре молекулы. Так активность *D* изомера α токоферола, содержащего 3 метильные группы значительно выше активности δ токоферола, содержащего 1 метильную группу [2]. Контроль качества витаминов и лекарственных препаратов на основе токоферолов проводится в основном методами ВЭЖК, химическими, электрохимическими и ЯМР спектроскопии [3]. Среди оптических методов наиболее распространены и эффективны методы электронной спектроскопии в ультрафиолетовой и колебательной в инфракрасной областях.

Представлены результаты численных расчётов структуры молекул семи модификаций витамина *E* и их колебательных спектров. Все расчёты выполнялись в рамках теории функционала плотности (TD DFT) с базисным набором 6-31G* с использованием квантовохимического пакета программ Gaussian 09 [4]. Для достижения минимума потенциальной энергии предварительно проведена полная оптимизация структуры молекул.

Показано, что наиболее сильное отличие длин связей обнаружено в области токолов, что может быть связано с различным количеством в них метильных групп. В радикалах длины связей токоферолов практически не отличаются. В спектрах всех токоферолов присутствуют и наиболее интенсивны полосы с частотами: 3486-3533 см^{-1} , соответствующие валентным колебаниям гидроксогрупп, и 1750-1763 см^{-1} , соответствующие колебаниям бензольного кольца в токолах. Присоединение радикала к α -токолу приводит к смещению полос, соответствующих валентным колебаниям в область меньших частот (для О-Н связи на 88 см^{-1} , для бензольного кольца на 50-60 см^{-1}), а деформационных колебаний метильных групп - в область больших частот. Наиболее предпочтительными для определения типа токоферола являются полосы, соответствующим симметричным деформационным колебаниям CH_2 группы с частотами для α -токоферола $\sim 1461 \text{ см}^{-1}$, а для γ – токоферола $\sim 1395 \text{ см}^{-1}$ и для δ – токоферола $\sim 1350 \text{ см}^{-1}$. Расчёты показали, что наибольшую интенсивность полос, соответствующих колебаниям метил группы в

области токола следует ожидать в колебательном спектре α – токоферола. Результаты численных расчётов согласуются с экспериментальными колебательными спектрами [2].

Список литературы

1. Ещенко А.Ю., Зенкович И.Г. Определение токоферолов и токотриенолов в растительных маслах и некоторые особенности их состава // Вестник СПбГУ.– 2006.– Сер.4, вып.4.– С. 68-75.
2. Тринеева О. В. Методы анализа витамина *E* (обзор). // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация.– 2013.– № 1.– С. 212-224.
3. Ле В.М., Просеков А.Ю., Шарыкин О.В., Сухих А.С. Определение содержания токоферолов в режиме обращенно-фазовой хроматографии в растительных продуктах с высоким содержанием белка // Сорбционные и хроматографические процессы.– 2025.– Т. 25, № 1.– С. 111-121.

Modeling of the structure and vibrational spectra of tocopherol modifications for the realization of an optical method for their separation

S.A. Kutsenko

Volgograd State University, 400062, Russia, Volgograd, University Avenue 100

email: svetlana_kutsenko@volsu.ru

The α , β , γ , and δ tocopherols and tocotrienols belong to the group of vitamins *E*. These substances, chromane derivatives, protect cell membranes from destruction by preventing the destruction of unsaturated lipids, therefore they belong to natural antioxidants [1]. However, the biological activity of preparations containing vitamin *E* strongly depends on its modification and the type of isomer. This is due to the number of single-electron transfers of hydrogen atoms of the phenolic hydroxyl group to free radicals and is associated with the different number of methyl groups in the structure of the molecule. Thus, the activity of the D isomer of α tocopherol containing 3 methyl groups is significantly higher than the activity of δ tocopherol containing 1 methyl group [2]. Quality control of vitamins and medicines based on tocopherols is carried out mainly by HPLC, chemical, electrochemical and NMR spectroscopy [3]. Among optical methods, electron spectroscopy in the ultraviolet and vibrational spectroscopy in the infrared ranges are the most common and effective.

The results of numerical calculations of the structure of molecules of seven vitamin *E* modifications and their vibrational spectra are presented. All calculations were performed within the framework of the density functional theory (TD DFT) with the basis set 6-31G* using the quantum chemical software package Gaussian 09 [4]. To achieve the minimum potential energy, a complete optimization of the molecular structure has been carried out. It is shown that the strongest difference in bond lengths is found in the tocols region, which may be due to the different number of methyl groups in them. In radicals, the bond lengths of tocopherols are practically the same.

The spectra of all tocopherols contain the most intense bands with frequencies: 3486-3533 cm^{-1} , corresponding to valence vibrations of hydroxogroups, and 1750-1763 cm^{-1} , corresponding to vibrations of the benzene ring in tocols. The addition of a radical to the α -tocol leads to a shift of the bands corresponding to

valence vibrations to the region of lower frequencies (for the O-H bond by 88 cm^{-1} , for the benzene ring by 50-60 cm^{-1} , and deformation vibrations of methyl groups to the region of higher frequencies. The most preferable for determining the type of tocopherol are the bands corresponding to the symmetrical deformation vibrations of the CH_2 group with frequencies for α -tocopherol $\sim 1461 \text{ cm}^{-1}$, for γ – tocopherol $\sim 1395 \text{ cm}^{-1}$ and for δ – tocopherol $\sim 1350 \text{ cm}^{-1}$. Calculations have shown that the greatest intensity of the bands corresponding to vibrations of the methyl group in the tocol region should be expected in the vibrational spectrum of α – tocopherol. The results of numerical studies are consistent with the experimentally obtained vibrational spectra [2].

References

1. Yeshchenko A.Y., Zenkovich I.G. Determination of tocopherols and tocotrienols in vegetable oils and some features of their composition. //Bulletin of St. Petersburg State University, Ser.4, 2006, iss.4, P.68- 75.
2. Trineeva O.V. Methods of vitamin E analysis (review). //VSU Bulletin, Series: Chemistry. Biology. Pharmacy, 2013, No.1, P.212- 224.
3. Le V.M., Prosekov A.Yu., Sharykin O.V., Sukhov A.S. Determination of tocopherol content in reverse-phase chromatography in plant products with high protein content. //Sorption and chromatographic processes. 2025. V.25, No.1. P.111- 121.

УДК 621.373.826

ГРНТИ 29.33.15

БАК 01.04.21

Активные среды на парах галогенидов металлов с внутренним реактором

¹Шиянов Д.В., ¹Суханов В.Б., ¹Андриенко О.С., ^{2*}Евтушенко Г.С.

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пл. Академика Зуева 1

²Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, 127055, Россия, г. Москва, ул. Образцова 12 к.2

e-mail: shiyanov73@mail.ru, qel@iao.ru, *evt@tpu.ru

В настоящее время существует ряд разновидностей стандартных лазеров на парах металлов, отличающихся способом получения рабочего вещества[1]. Эти лазеры имеют свои преимущества и недостатки. Поэтому поиск новых способов получения генерации в парах металлов, с целью упрощения работы и конструкции прибора остается актуальной задачей.

В данной работе представлен способ получения генерации в парах металлов, который назван лазеры на парах галогенидов металлов с внутренним реактором[2]. Под внутренним реактором понимается то, что рабочее вещество образуется непосредственно в рабочей зоне отпаянной газоразрядной трубки (ГРТ) за счет использования генератора галогена. Во время работы ГРТ из генератора галогена с помощью нагревателя в рабочий объем подается галоген в чистом виде (I_2 , Br_2 , Cl_2), который взаимодействует с кусочками металла, расположенными по каналу ГРТ и образуется галогенид металла. Затем галогенид металла диссоциирует в разряде термически и за счет

электронного удара. В дальнейшем происходит возбуждение атомов металла электронным ударом на верхний лазерный уровень и происходит генерация.

Исследовались частотно-энергетические характеристики CuBr , CuCl , CuI , MnCl_2 , MnBr_2 – лазеров с внутренним реактором.

Использовались ГРТ диаметром 1,7, 2 см и длиной 40, 50 см, соответственно, с емкостной накачкой (внешние электроды) и традиционной (внутренние электроды).

В лазерах на переходах атома марганца реализована генерация в видимой (534,1, 542,0 нм) и ИК-областях (1,289, 1,332 мкм) спектра при оптимальной температуре стенки ГРТ ($T_{\text{ст}}$) 780-800⁰С. В ГРТ MnCl_2 -лазера диаметром 2 см с емкостной накачкой при мощности накачки ($P_{\text{нак}}$) 1,5 кВт и частоте следования импульсов (f) 30 кГц реализована суммарная мощность излучения 0,75 Вт. В ГРТ MnBr_2 -лазера диаметром 2 см с внутренними электродами при $P_{\text{нак}}=1,2$ кВт и $f=20$ кГц выходная мощность достигала 1 Вт.

CuBr -лазер с внутренним реактором и внутренними электродами диаметром ГРТ 1,7 см показал мощность генерации ($P_{\text{ген}}$) 1,6 Вт при $P_{\text{нак}}=700$ Вт и $f=20$ кГц. Добавка галогеноводорода (HBr) в таких лазерах, как и в стандартных CuBr -лазерах, дополнительно увеличивает $P_{\text{ген}}$ до 3,5 Вт.

Используя емкостную накачку в CuCl лазере с диаметром ГРТ 2 см, удалось получить $P_{\text{ген}}=3,36$ Вт с увеличением $P_{\text{нак}}$ до 1,75 кВт при $f=27$ кГц. Включение в схему накачки обострительной емкости 100 пФ повысило мощность излучения до 4,7 Вт. Оптимальная $T_{\text{ст}}$ ГРТ CuBr и CuCl -лазеров составляет ~ 650⁰С. Использование йода в качестве галогена позволило в CuI -лазере с внутренним реактором в ГРТ диаметром 2 см реализовать мощность генерации 4 Вт. В этом случае оптимальная $T_{\text{ст}}$ составила 450-600⁰С.

Для увеличения энергетических характеристик таких систем исследовалась ГРТ CuBr -лазера с диаметром ГРТ 4 см и длиной 90 см. При $P_{\text{нак}}=1,7$ кВт выходная мощность составила 5-6 Вт, а с добавкой HBr превысила 10 Вт.

Результаты показали, что активные элементы лазеров на парах галогенидов металлов с внутренним реактором демонстрируют практически значимые выходные параметры. Их основные преимущества перед своими аналогами заключаются в простоте и безопасности получения безводных галогенидов, появляется возможность получения любых солей в одной ГРТ, а также возможность регулирования паров галогена с низкой температурой 20-150⁰С, уменьшается время выхода лазера на рабочий режим, при жесткой фиксации металла возможен режим работы ГРТ в вертикальном положении.

Список литературы

1. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. В 2-х томах /под ред. В.М. Батенина.– М.: Физматлит, 2009; 2011.
2. Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С., Ткаченко Н.Ю. Лазер на парах йодида меди с внутренним реактором// Оптика атмосферы и океана.– 2012.– Т.25.– №8.– С. 721-726.

Active media on metal halide vapors with in-built reactor

¹Shiyanov D.V., ¹Sukhanov V.B., ¹Andrienko O.S., ^{2*}Evtushenko G.S.

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

²Republican Research Center for Project Evaluation and consulting services, 127055, Russia,
Moscow, Obratsova Str. 12, Bldg.2

E-mail: shiyanov73@mail.ru, qel@iao.ru, *evt@tpu.ru

This paper presents a method for obtaining generation in metal vapors, which is called metal halide vapor lasers with in-built reactor. By in-built reactor we mean that the working substance is formed directly in the active zone of sealed-off gas discharge tube (GDT) by use of a halogen generator. During operation of the tube, pure halogen (I_2 , Br_2 , Cl_2) is supplied from the halogen generator into the working volume, which interacts with metal pieces located along the GDT channel and a metal halide is formed. The metal halide then dissociates in the discharge thermally and by electron impact. Subsequently, the metal atoms are excited by electron impact to the upper laser level and generation occurs.

The frequency-energy characteristics of CuBr, CuCl, CuI, $MnCl_2$, $MnBr_2$ lasers with in-built reactor were studied. GDTs with a diameter of 1.7, 2 cm and a length of 40, 50 cm, respectively, with capacitive pumping (external electrodes) and traditional (internal electrodes) were used.

In lasers on manganese atoms transitions, lasing in the visible (534.1, 542.0 nm) and IR regions (1.289, 1.332 μm) of the spectrum was realized at the optimal temperature of the GDT wall (T_w) of 780-800°C. In the GDT of a capacitive pumping $MnCl_2$ laser with a diameter of 2 cm with at a pump power (P_{inp}) of 1.5 kW and a pulse repetition rate (f) of 30 kHz, the total radiation power of 0.75 W was realized. In the GDT of a $MnBr_2$ laser with a diameter of 2 cm with internal electrodes at $P_{inp}=1.2$ kW and $f=20$ kHz, the output power (P_{out}) reached 1 W.

A CuBr laser with in-built reactor and internal electrodes with a GDT diameter of 1.7 cm showed a generation power of 1.6 W at $P_{inp}=700$ W and $f=20$ kHz. The addition of hydrogen halide (HBr) in such lasers, as in standard CuBr lasers, additionally increases P_{out} to 3.5 W. Using capacitive pump in CuCl laser with a GDT diameter of 2 cm, it was possible to obtain $P_{out} = 3.36$ W with an increase in P_{inp} to 1.75 kW at $f=27$ kHz. Inclusion of a peaking capacitor (100 pF) in the pumping circuit increased the radiation power to 4.7 W. The optimal T_w of the CuBr and CuCl laser GDTs is $\sim 650^\circ C$. Using iodine as a halogen allowed us to realize a generation power of 4 W in a CuI laser with in-built reactor in GDT with a diameter of 2 cm. In this case, the optimal T_w was 450-600°C. To increase the energy characteristics of such systems, a CuBr laser GDT with a diameter of 4 cm and a length of 90 cm was studied. At $P_{inp} = 1.7$ kW, the output power was 5-6 W, and with the addition of HBr it exceeded 10 W.

The results showed that the active elements of metal halide vapor lasers with in-built reactor demonstrate practically significant output parameters.

Their main advantages over their analogues are the simplicity and safety of obtaining anhydrous halides, the possibility of obtaining any salts in one GDT, as well as the possibility of regulating halogen vapors with a low temperature of 20-150°C, the laser's ramp-up time to operating mode is reduced, and with rigid fixation of the metal, the GDT can operate in a vertical position.

References

1. Lasers on self-terminating transitions of metal atoms – 2. Ed. Batenin V.M. M.: Fizmatlit. 2009, 2011. In 2 volumes.
2. D.V. Shiyarov, V.B. Sukhanov, G.S. Evtushenko, N.Yu. Tkachenko. CuI vapor laser with in-built reactor. Atmospheric and oceanic optics. 2012. Vol.25. N8. P.721-726. (In Rus.).

УДК 621.373.826

ГРНТИ 29.33.15

БАК 01.04.21

Влияние напряженности электрического поля на генерацию лазера на парах галогенида марганца

Шиянов Д.В.

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пл. Академика Зуева 1

E-mail: shiyarov73@mail.ru

Лазер на самоограниченных переходах атома марганца излучает в видимом (534.1-553.8 нм) и ближнем инфракрасном (1.29-1.40 мкм) диапазоне спектра[1]. Отличительной чертой лазера на переходах атома марганца является то, что верхние лазерные уровни для видимой области излучения u^6P^0 расположены на 1.4 эВ выше верхних уровней для ИК части спектра z^6P^0 , а нижний лазерный уровень a^6D является общим. Эта особенность может влиять на интенсивности линий излучения при изменении условий накачки, например, напряженности электрического поля (E).

Влияние напряженности электрического поля на энергетические характеристики лазера на переходах атома марганца изучалось на примере $MnCl_2$ и $MnBr_2$ -лазеров с диаметром газоразрядной трубки (ГРТ) 2 см и длиной 50 см. В первом эксперименте для накачки $MnBr_2$ -лазера использовался источник питания с импульсным зарядом рабочей емкости ($C_{раб}$). При этом увеличение напряженности электрического поля осуществлялось за счет увеличения мощности накачки при постоянной $C_{раб}=750$ пФ и частоте следования импульсов $f=17$ кГц. Напряжение на ГРТ изменялось от 4 до 15 кВ. В качестве коммутатора использовался тиратрон ТГИ1-1000/25.

Результаты показали, что мощность генерации в зеленой области спектра начинает преобладать над мощностью ИК линий при $E=150$ В/см. Дальнейшее увеличение напряженности поля приводит к монотонному росту мощности излучения по всем компонентам спектра, но рост интенсивности видимых линий происходит более эффективнее. При $E=300$ В/см (мощность накачки 1.4 кВт) отношение мощности видимой области спектра к мощности излучения ИК области составляет 2.27. Это соответствует мощности излучения ~ 1.36 Вт и ~ 0.6 Вт, соответственно.

Во втором эксперименте накачка $MnCl_2$ -лазера осуществлялась источником с диодно-резонансной зарядкой $C_{раб}$. В этом случае мощность накачки на уровне 1.44 кВт и $f=17.5$ кГц оставались постоянными величинами. Влияние напряженности поля на выходную мощность лазера исследовалось за счет

увеличения напряжения на электродах ГРТ при уменьшении рабочей емкости. Напряжение варьировалось от 3 до 12 кВ, а $C_{\text{раб}}$ от 2.35 до 0.75 нФ.

Мощность ИК спектра излучения преобладает над видимой до уровня $E=120$ В/см. Как и в предыдущем случае с увеличением напряженности продолжается монотонный рост мощности генерации с преобладанием в зеленой части спектра. При напряженности поля 250 В/см отношение мощностей составляет 2.57. При этом мощности генерации соответствуют величинам ~ 1.5 Вт и ~ 0.6 Вт.

Таким образом, для эффективной накачки активной среды галогенида марганца в видимом диапазоне спектра необходимо прикладывать к ГРТ более высокие напряжения. Также изменяя напряженность электрического поля можно управлять уровнем мощности излучения по разным компонентам спектра. В нашем случае основная доля излучения сосредоточена на первых двух линиях 0.534, 0.542 нм в зеленой области и на 1.29, 1.33 мкм в ИК области.

Список литературы

1. Little C.E. Metal Vapour Lasers. Physics, Engineering & Applications. Chichester. UK.: John Willey & Sons Ltd., 1998. 620 p.

Effect of electric field strength on manganese halide vapor laser generation

Shiyanov D.V.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 634055, Russia, Tomsk,

1, Academician Zuev square

E-mail: shiyanov73@mail.ru

The influence of electric field strength (E) on the energy characteristics of a laser on manganese atom transitions was studied using the example of MnCl_2 and MnBr_2 lasers with a gas-discharge tube (GDT) diameter of 2 cm and a length of 50 cm.

In one of the experiments, the lasers were pumped by a source with diode-resonant charging of the working capacitor. In this case, the pump power at the level of 1.44 kW and pulse repetition rate 17.5 kHz remained constant. The effect of the field strength on the laser output power was studied by increasing the voltage on the GDT electrodes with a decrease in the working capacitor. The voltage varied from 3 to 12 kV, and capacitance from 2.35 to 0.75 nF. The power of the IR spectrum of radiation prevails over the visible one up to the level of $E = 120$ V/cm. A monotonic increase in the generation power continues with a predominance in the green part of the spectrum. At a field strength of 250 V/cm, the power ratio is 2.57. In this case, the generation powers correspond to values of ~ 1.5 W and ~ 0.6 W.

Thus, for efficient pumping of the active medium of manganese halide in the visible range of the spectrum, it is necessary to apply higher voltages to the GDT. Also, by changing the electric field strength, it is possible to control the radiation power level for different components of the spectrum. In our case, the main share of the radiation is concentrated on the first two lines 0.534, 0.542 nm in the green region and at 1.29, 1.33 μm in the IR region.

References

1. Little C.E. Metal Vapour Lasers. Physics, Engineering & Applications. Chichester. UK: John Willey & Sons Ltd., 1998. 620p.

Двухволновой медицинский лазерный аппарат на парах меди

^{1*}Пономарев И.В., ¹Топчий С.Б., ²Ключарева С.В., ³Лябин Н.А., ³Чурсин А.Д.,
⁴Евтушенко Г.С

1 Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991, Россия, г. Москва, пр. Ленинский 53

2 Северо-Западный Государственный Медицинский Университет им. И. И. Мечникова, 195067, Санкт-Петербург, Пискаревский пр. 47

3 АО «НПП Исток», 141190, Московская область, г. Фрязино, ул. Вокзальная, 2а

4 Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, 127055, Россия, г. Москва, ул. Образцова 12, к.2

e-mail: * luklalukla@ya.ru

Двухволновые лазерные системы являются сравнительно новой технологией в дерматологии. Одновременное воздействие на различных длинах волн на кожу используется для достижения оптимальных результатов лечения. Представленный в работе двухволновой лазерный медицинский аппарат на парах меди нового поколения со сканирующим устройством «Яхрома-Мед» имеет Регистрационное удостоверение Росздравнадзора № ФСР 2008/03743 и предназначен для лечения сосудистых, пигментных, неокрашенных дефектов кожи и слизистых оболочек и фотоомоложения с минимальным риском осложнений.

Лазер на парах меди излучает одновременно на двух длинах волн – 510,6 и 578,2 нм, с соотношением по мощности излучения порядка 3/2, причем с помощью дихроичных фильтров можно выделять любую из них, либо использовать для облучения одновременно. Для воздействия на кожу формируется цуг наносекундных импульсов с пиковой мощностью каждого импульса несколько киловатт, частотой повторения десятки кГц и общей длительностью цуга десятки или сотни миллисекунд. В аппарате используется лазерный активный элемент с повышенной наработкой на отказ и стабильными выходными параметрами модели ГЛ-206В производства АО «НПП «Исток» им. Шокина», не имеющий зарубежных аналогов. Максимальная мощность для двухволнового режима составляет 4 Вт (диапазон 0–4 Вт) для 510,6 нм до 2 Вт (диапазон 0–2 Вт) и для 578,2 нм до 1,5 Вт (диапазон 0–1,5 Вт). Режим излучения – импульсно-периодический, с частотой следования импульсов 16,6 кГц и длительностью импульсов 20 нс (с длительностью экспозиции 30 – 900 мс в режиме цуга импульсов). Общая масса – 65 кг; габариты аппарата – 1105 x 450 x 1750 мм. Для позиционирования световых пятен для фотоомоложения кожи, а также для обработки обширных новообразований кожи в работе используется сканирующее устройство (сканер). Каждая область сфокусированного лазерного излучения создает небольшую зону (менее 600 мкм в диаметре) термического повреждения, которая называется микроскопической тепловой зоной (МТЗ). Ее глубина пропорциональна излучаемой энергии лазера и может достигать более 1000 мкм. Лазерное излучение может термически денатурировать дермальный коллаген,

не повреждая роговой слой и сохраняя барьерную функцию кожи. Неповрежденная ткань между соседними МТЗ служит резервуаром здоровой, жизнеспособной ткани, которая помогает в восстановлении коагулированной МТЗ, облегчая восстановление и ремоделирование эпидермиса и дермы. В Лазерном центре кафедры дерматовенерологии Северо-Западного Государственного Медицинского Университета им. И.И. Мечникова на аппарате лазерном на парах меди «Яхрома-Мед» проведено лечение более 50 тыс. пациентов с различной патологией кожи (невус Беккера, винное пятно, пиогенная гранулема и др.), с использованием зеленой, желтой линии и суммарного излучения (Рис. 1).

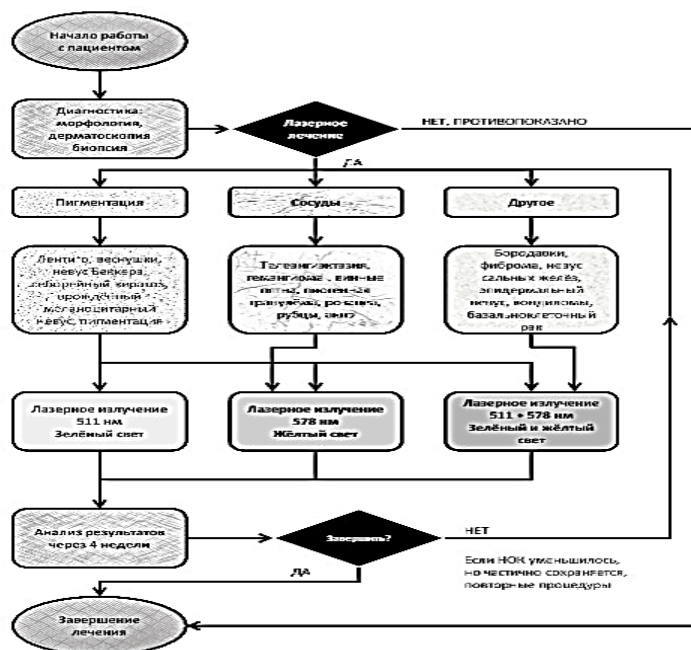


Рисунок 1 – Выбор состава излучения лазеров на парах меди для лечения пациентов с различными новообразованиями кожи (НОК)

Наибольшую группу больных составили пациенты с сосудистой патологией кожи, а также с различными формами пигментаций и доброкачественными новообразованиями. Возраст больных составлял от 6 месяцев до 93 лет. Лечение разнообразной кожной патологии с применением лазерного аппарата «Яхрома-Мед» показало хорошие результаты. Преимуществами данного метода является то, что риск образования рубцов и травмирования окружающих тканей минимальный, период заживления значительно сокращается – средняя продолжительность составила семь дней. Метод лечения можно использовать для всех возрастных групп, а также для пациентов, имеющих сопутствующую соматическую патологию.

Процедура лечения непродолжительна по времени, она бескровна и в большинстве случаев не требует анестезии. Высокая социальная значимость использования новой двухволновой лазерной технологии лечения заболеваний кожи определяется возможностью безопасного устранения косметического дефекта с минимальным риском рецидива, что существенно повышает качество жизни пациентов. Основные компоненты для лазерного аппарата «Яхрома-Мед» производятся в Российской Федерации, что особенно важно в условиях санкционного давления.

Полученные результаты по выбору спектрального состава для лечения различных заболеваний кожи также актуальны для других лазерных аппаратов на парах меди или бромида меди.

The dual-wavelength copper vapor laser medical system

I.V. Ponomarev, S.B. Topchiy, S.V. Klyuchareva,
N.A. Lyabin, A.D. Chursin, G.S. Evtushenko

Simultaneous application of different wavelengths is used to achieve optimal results for skin treatment. The new generation dual-wavelength copper vapor laser medical system with the scanner "Yakhroma-Med" has the Registration Certificate of the Federal Service for Surveillance in Healthcare (Roszdravnadzor) No. FSR 2008/03743 is intended for the treatment of vascular, pigmented, and uncolored defects of the skin and mucous membranes and photorejuvenation with a minimal risk of complications. The "Yakhroma-Med» uses a laser-active element with increased lifetime of up to 2000 h and stable output parameters of the GL-206V model, manufactured by JSC NPP Istok, named after Shokin, which has no foreign analogues. The maximum power for the dual-wavelength mode is 4 W (range 0–4 W), for 510.6 nm up to 2 W (range 0–2 W) and for 578.2 nm up to 1.5 W (range 0–1.5 W). The pulse repetition rate of 16.6 kHz and a pulse width of 20 ns (with exposure time of 30–900 ms in the pulse train mode). Total weight – 65 kg; dimensions – 1105 x 450 x 1750 mm. A scanner is used for light spot positioning on the skin when treating large skin lesions. The scanner provided treatment of the working field with focused laser radiation with a focusing area size of 1mm. The distance between the light spot centers of adjacent irradiation spots was kept at 1mm. Each area of focused laser radiation creates a small zone (less than 600 μm in diameter) of thermal damage, which is called a microscopic thermal zone (MTZ). Its depth is proportional to the emitted laser energy and can reach more than 1000 μm . In the Laser Center of the North-West State Medical University named after I.I. Mechnikov, more than 50 thousand patients with various skin pathologies (Becker's nevus, port-wine stain, pyogenic granuloma, etc.) have been treated using the Yakhroma-Med copper vapor laser system. The largest group of patients were patients with vascular skin pathology, as well as with various forms of pigmentation and benign neoplasms. The age of patients ranged from 6 months to 93 years. Treatment of various skin pathologies using the Yakhroma-Med laser system showed good results. The advantages of this method are the minimal risk of scarring and no injury to surrounding tissues. The healing period is significantly reduced - the average duration was seven days. The treatment method can be used for all age groups, as well as for patients with concomitant somatic pathology. The procedure is short in time, bloodless and in most cases does not require anesthesia. The high social significance of using the new dual-wavelength laser technology for treating skin diseases is determined by the possibility of safely eliminating a cosmetic defect with a minimal risk of relapse, which significantly improves the quality of life in patients. The main components of the Yakhroma-Med laser device are produced in the Russian Federation, which is especially important in the context of sanctions pressure.

Генератор высоковольтных наносекундных импульсов

* Вальшин А. М.

*Уфимский университет науки и технологий, 450076, Россия, г.Уфа, ул.ЗакиВалиди 32
email:*amvals@mail.ru*

Традиционно генераторы высоковольтных наносекундных импульсов строятся на ламповых или тиратронных коммутаторах.

В настоящее время происходит быстрый прогресс в области создания генераторов на основе использования MOSFET и IGBT транзисторов, а также диодов ударной ионизацией и дрейфовых диодов с резким восстановлением [1, 2].

В данной работе показана работа генератора наносекундных импульсов на основе карбид кремниевых транзисторов (SiC). Генератор может работать в двух вариантах. В первом случае вырабатывает импульсы 20нс длительности амплитудой до 2 кВи частотой следования импульсов до 2 кГц. В другом исполнении он вырабатывает двуполярные импульсы с частотой следования 400кГц в пачке импульсов длительностью до 5 мс и частотой следования пачки до 12 Гц. Проведены исследования по замене высокочастотного поджига в работах [3, 4] на генератор наносекундных импульсов.

Список литературы

1. Афанасьев А.В. и др. Трехкиловольтный генератор наносекундных импульсов напряжения на 4H-SiC-диодных сборках //Сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции “Электроника и микроэлектроника СВЧ”. Санкт-Петербург. – 2014. – С. 407-411.
2. Коротков С.В. и др. Генератор высоковольтных наносекундных импульсов на основе динисторов с ударной ионизацией //Приборы и техника эксперимента. – 2023. – №. 6. – С. 23-27.
3. Вальшин А. М. и др. Высокочастотный розжиг лампы YAG: Nd³⁺-лазера с кратным уменьшением интенсивности излучения видимого диапазона //Журнал прикладной спектроскопии. – 2025. – Т. 92. – №. 2. – С. 211-215.
4. Вальшин А.М. и др. Высокочастотное (МГц) зажигание коммерческих ламп-вспышек для твердотельных лазеров //Доклады Российской Академии Наук. Физика, Технические Науки. – 2022. Т. 502. С. 67-72.

High-voltage nanosecond pulse generator

*Valshin A.M.

*Ufa University of Science and Technology, 450076, Russia, Ufa, ZakiValidi 32
email: *amvals@mail.ru*

Traditionally, high-voltage nanosecond pulse generators are built on tube or thyatron switches.

Currently, there is rapid progress in the field of creating generators based on the use of MOSFET and IGBT transistors, as well as shock ionization diodes and drift diodes with sharp recovery [1, 2].

This paper shows the operation of a nanosecond pulse generator based on silicon carbide transistors (SiC). The generator can work in two ways. In the first case, it

generates pulses of 20 ns duration with an amplitude of up to 2 kV and a pulse repetition rate of up to 2 kHz. In another version, it generates bipolar pulses with a repetition frequency of 400 kHz in a burst of pulses lasting up to 5 ms and a repetition frequency of up to 12 Hz. Studies have been conducted to replace high-frequency ignition in [3,4] with a nanosecond pulse generator.

References

1. Afanasyev A.V. et al. Three-kilovolt generator of nanosecond voltage pulses on 4H-SiC-diode assemblies. Collection of works of the III All-Russian scientific and technical conference "Microwave Electronics and Microelectronics". St. Petersburg. – 2014. – P. 407-411.
2. Korotkov S.V. et al. Generator of high-voltage nanosecond pulses based on dinistors with impact ionization. Instruments and experimental equipment. - 2023. - No. 6. - P. 23-27
3. Valshin A.M. et al. High-Frequency Ignition of a YAG: Nd³⁺ Laser Lamp with a Multiple Decrease of Visible Radiation Intensity. J. Applied Spectroscopy. – 2025. – V. 92, No. 2. – P. 288-292.
4. Valshin A.M. et al. High-frequency (MHz) ignition of commercial flash lamps for solid state lasers. // Doklady Physics. Moscow: Pleiades Publishing, 2022. – V. 67. – №. 1. – P. 32-37.

УДК 621.373.826

ГРНТИ29.33.15

БАК 1.3.19

Гибридная накачка твердотельного лазера на гранате

* Вальшин А. М.

Уфимский университет науки и технологий, 450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди 32
email: *amvals@mail.ru

Ранее нами было показано увеличение эффективности светоотдачи и изменение эффективного канала разряда в газоразрядных лампах при переходе от традиционной импульсной накачки к высокочастотной накачке, а также было продемонстрировано 3-х кратное снижение порога генерации и 2-х кратное повышение КПД Nd³⁺:YAG лазера при высокочастотной накачке [1, 2].

Нами предлагается использовать метод гибридной накачки для дальнейшего повышения эффективности лазера на гранате. На первом этапе накачки лампа поджигается генератором высоковольтных наносекундных импульсов, далее после поджига лампы включается высокочастотная раскачка-розжиг канала разряда с последующим разрядом традиционной емкостной накачки.

Генератор наносекундных импульсов вырабатывает пачку биполярных импульсов наносекундной длительности для поджига лампы, а высокочастотный генератор перестраиваемой частоты служит для уширения канала разряда и уменьшения импеданса плазмы в лампе. В дальнейшем происходит разряд традиционной емкостной накачки.

В докладе представлена работа лазера на гранате с гибридной накачкой. Также будут представлены полученные зависимости параметров излучения

от накачки при разных длительностях и мощностях импульсов ВЧ генераторов и емкостной накачки.

Список литературы

1. Вальшин А.М. и др. Высоочастотное (МГц) зажигание коммерческих ламп-вспышек для твердотельных лазеров //Доклады Российской Академии Наук. Физика, Технические Науки. – 2022. Т. 502.– С. 67-72.
2. Вальшин А.М. и др. 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное увеличение КПД Nd^{3+} : YAG лазера при ВЧ раскчке поджига лампы. //Инженерная физика.– 2023.– №12.– С. 3-10.

Hybrid pumping of a solid-state laser on a garnet

* Valshin A. M.

Ufa University of Science and Technology, 450076, Russia, Ufa, ZakiValidi 32

email: *amvals@mail.ru

Previously, we showed an increase in the efficiency of light output and a change in the effective discharge channel in gas-discharge lamps during the transition from traditional pulsed pumping to high-frequency pumping, and also demonstrated a 3-fold decrease in the generation threshold and a 2-fold increase in the efficiency of the Nd^{3+} :YAG laser during high-frequency pumping [1,2].

We propose to use the hybrid pumping method to further enhance the effectiveness of the laser on the grenade. At the first stage of pumping, the lamp is ignited by a generator of high-voltage nanosecond pulses, then after igniting the lamp, high-frequency pumping is activated-ignition of the discharge channel, followed by discharge of traditional capacitive pumping.

A nanosecond pulse generator generates a burst of bipolar nanosecond pulses to ignite the lamp, and a high-frequency tunable frequency generator serves to widen the discharge channel and reduce the impedance of the plasma in the lamp. In the future, the discharge of traditional capacitive pumping occurs.

The report will present the operation of a laser on a hybrid-pumped grenade. The obtained dependences of radiation parameters on pumping at different pulse durations and powers of RF generators and capacitive pumping will also be presented.

References

1. Valshin A. M. et al. High-frequency (MHz) ignition of commercial flash lamps for solid state lasers. Doklady Physics. Moscow: Pleiades Publishing, 2022. – Vol. 67. – №. 1. – P. 32-37.
2. Valshin A.M.et al. 3-fold decrease in the generation threshold and 2-fold increase in the efficiency of the Nd^{3+} :YAG laser with RF pumping of the lamp ignition. Engineering Physics.- 2023. - No. 12. - P. 3-10.

Деформация спектров излучения в импульсных источниках света при высокочастотной накачке

* Вальшин А. М., Абзалилов Д. А.

*Уфимский университет науки и технологий, 450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди 32
email: *amvals@mail.ru*

Накачка больших лазерных комплексов осуществляется только цилиндрическими лампами- вспышками с помощью традиционной емкостной накачки. При этом эффективность такой накачки не превышает доли процентов. В работах [1, 2] было продемонстрировано 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное повышение КПД $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ лазера при высокочастотной накачке.

Целью данной работы является исследование деформации спектров излучений плазмы при высокочастотной накачке. Эксперименты продемонстрировали, что в лампах, заполненных криптоном, при высокочастотной накачке сплошной спектр излучения существенно ослабляется по отношению к традиционной накачке, в то время как, интенсивность линейчатого спектра увеличивается. А в лампах, заполненных ксеноном существенных изменений не происходит независимо от методов накачки. Таким образом, при высокочастотной накачке предпочтительно использовать в качестве лампы накачки криптоновую лампу по сравнению с ксеноновой лампой. Это в свою очередь может привести к существенному увеличению КПД твердотельного лазера на гранате при высокочастотном поджиге и высокочастотной раскачке.

Список литературы

1. Вальшин А. М. и др. Высокочастотный розжиг лампы $\text{YAG}:\text{Nd}^{3+}$ -лазера с кратным уменьшением интенсивности излучения видимого диапазона. //Журнал прикладной спектроскопии. – 2025. – Т. 92. – №. 2. – С. 211-215.
2. Вальшин А.М. и др. 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное увеличение КПД $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ лазера при ВЧ раскачке поджига лампы. //Инженерная физика. – 2023. – №12. – С.3-10.

Deformation of radiation spectra in pulsed light sources during high-frequency pumping

* Valshin A. M., Abzalilov D. A.

*Ufa University of Science and Technology, 450076, Russia, Ufa, Zaki Validi 32
email: *amvals@mail.ru*

Pumping of large laser complexes is carried out only by cylindrical flash lamps using traditional capacitive pumping. At the same time, the efficiency of such pumping does not exceed a fraction of a percent.

In [1,2], a 3-fold decrease in the generation threshold and a 2-fold increase in the efficiency of the $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ laser under high-frequency pumping were demonstrated.

The purpose of this work is to study the deformation of plasma radiation spectra during high-frequency pumping. Experiments have shown that in lamps filled with krypton, with high-frequency pumping, the continuous radiation spectrum is

significantly attenuated relative to traditional pumping, while the intensity of the linear spectrum increases. And in lamps filled with xenon, no significant changes occur regardless of the pumping methods. Thus, for high-frequency pumping, it is preferable to use a krypton lamp as a pumping lamp compared to a xenon lamp. This, in turn, can lead to a significant increase in the efficiency of a solid-state laser on a grenade during high-frequency ignition and high-frequency rocking.

References

1. Valshin A.M. et al. High-Frequency Ignition of a YAG: Nd³⁺ Laser Lamp with a Multiple Decrease of Visible Radiation Intensity. J. Applied Spectroscopy. – 2025. – V.92, No. 2. – P. 288-292.
2. Valshin A.M. et al. 3-fold decrease in the generation threshold and 2-fold increase in the efficiency of the Nd³⁺:YAG laser with RF pumping of the lamp ignition. //Engineering Physics.- 2023. - No. 12. - P. 3-10.

УДК621.373.5, 621.373.826

ГРНТИ29.33.15

БАК1.3.19

Мощный перестраиваемый ВЧ генератор в МГц диапазоне в импульсно-периодическом режиме

* Вальшин А. М., Абзалилов Д. А.

*Уфимский университет науки и технологий, 450076, Россия, г. Уфа, ул.ЗакиВалиди 32
email:*amvals@mail.ru*

Одной из актуальных проблем физики газовых разрядов является поиск новых способов возбуждения активных сред.

Большинство исследователей используют промышленные генераторы ВЧколебанийилиимпульсныйиндукционный способ возбуждения. Особенностью зажигания импульсного индукционного разряда в инертных газах состоит в том, что колебательный процесс является затухающим.

В данной работе проведены исследования процессов возникновения и развития газоразрядных процессов с помощью транзисторных высокочастотных генераторов перестраиваемой частоты, работающих в импульсно-периодическом режиме с регулируемой длительностью и частоты следования пачки импульсов в широком диапазоне. Экспериментальная установка состоит из транзисторного высокочастотного генератора синусоидальных колебаний, благодаря малому выходному сопротивлению непосредственно подключается в последовательный колебательный контур без необходимости в согласующем устройстве.

В работе проведены исследования процессов возникновения и развития газоразрядных процессов.Продемонстрирована возможность получения как одностимерного канала разряда, так и многостимерного канала разряда.

Список литературы

1. Вальшин А. М. и др. Высокочастотный розжиг лампы YAG: Nd³⁺-лазера с кратным уменьшением интенсивности излучения видимого диапазона //Журнал прикладной спектроскопии. – 2025. – Т. 92. – №. 2. – С. 211-215.

2. Вальшин А.М. и др. Высокочастотное (МГц) зажигание коммерческих ламп-вспышек для твердотельных лазеров. //Доклады Российской Академии Наук. Физика, Технические Науки. – 2022. Т. 502. С. 67-72.

Powerful tunable RF generator in the MHz band in pulse-periodic mode

*Valshin A.M., Abzalilov D. A.

Ufa University of Science and Technology, 450076, Russia, Ufa, Zaki Validi 32

email: *amvals@mail.ru

One of the urgent problems of gas discharge physics is the search for new ways to excite active media.

Most researchers use industrial RF oscillators or a pulsed induction excitation method. The peculiarity of the ignition of a pulsed induction discharge in inert gases is that the oscillatory process is damped.

In this paper, studies of the processes of occurrence and development of gas discharge processes are carried out using transistor high-frequency tunable frequency generators operating in a pulse-periodic mode with an adjustable duration and frequency of repetition of a burst of pulses in a wide range. The experimental setup consists of a transistor high-frequency sinusoidal oscillator, which, due to its low output resistance, is directly connected to a serial oscillatory circuit without the need for a matching device.

The paper studies the processes of occurrence and development of gas discharge processes. The possibility of obtaining both a single-dimensional discharge channel and a multi-dimensional discharge channel is demonstrated.

References

1. Valshin A. M. et al. High-Frequency Ignition of a YAG: Nd³⁺ Laser Lamp with a Multiple Decrease of Visible Radiation Intensity. J. Applied Spectroscopy. – 2025. – V. 92, No. 2. – P. 288-292.
2. Valshin A. M. et al. High-frequency (MHz) ignition of commercial flash lamps for solid state lasers. Doklady Physics. Moscow: Pleiades Publishing, 2022. – V. 67. – No. 1. – P. 32-37.

УДК 004.93; 617.735

ГРНТИ 28.23.15; 76.29.56

ВАК 2.3.1.

Алгоритм количественной оценки биомаркеров сетчатки по результатам сегментации ОКТ изображений

Аксенова Л.Е.

Общество с ограниченной ответственностью Пространство интеллектуальных решений, 353905, г. Новороссийск, наб. Имени Адмирала Серебрякова, д. 49

Новороссийский политехнический институт (филиал) КубГТУ,

353900, г. Новороссийск, ул. Карла Маркса, 20

email: axenovalubov@gmail.com

Одним из ключевых направлений современной офтальмологии является количественная оценка биомаркеров сетчатки по оптической когерентной томографии (ОКТ). Особенно актуальна данная задача при мониторинге эффективности анти-VEGF терапии у пациентов с неоваскулярной возрастной

макулярной дегенерацией (н-ВМД), где параметры биомаркеров, таких как PED, SRF и IRF, являются прогностическими факторами [1, 2]. В рамках настоящего исследования была разработана автоматизированная система количественной оценки биомаркеров, основанная на результатах сегментации ОКТ изображений с использованием сверточной нейронной сети U-NET. Алгоритм обучения построен на размеченном наборе данных из 385 ОКТ изображений. На валидационной выборке модель достигла Dicesoefficient 0.9 (PED), 0.72 (SRF) и 0.69 (IRF), что сопоставимо с результатами врача-офтальмолога [3]. На основе полученных масок была реализована система количественного анализа, включающая расчет площади, высоты и протяженности каждого биомаркера с помощью алгоритма обнаружения контуров. Статистическая проверка результатов, полученных алгоритмом и вручную, показала отсутствие значимых различий, что подтверждает точность метода. Были установлены статистически значимые различия в параметрах PED и IRF между клиническими группами пациентов, что демонстрирует клиническую применимость предлагаемого алгоритма. Таким образом, разработанный алгоритм количественной оценки биомаркеров сетчатки может быть использован для объективного мониторинга терапии и персонализации подходов к лечению заболеваний сетчатки.

Список литературы

1. Lai T.T. et al. Biomarkers of optical coherence tomography in evaluating the treatment outcomes of neovascular age-related macular degeneration. *Sci Rep*. 2019;9(1):529.
2. Schmidt-Erfurth U. et al. Artificial intelligence in retina. *Prog Retin Eye Res*. 2018;67:1–29.
3. Aksenova L.E., Aksenov K.D., Kozina E.V., Myasnikova V.V. AUTOMATED SYSTEM FOR ANALYSIS OF OCT RETINA IMAGES DEVELOPMENT AND TESTING // *Doklady Mathematics*. 2023. V. 108. № S2. P. S310-S316.

Algorithm for Quantitative Evaluation of Retinal Biomarkers Based on OCT Image Segmentation Results

Aksenova L.E.

*LLC "Predict Space", 49 Admiral Serebryakov Embankment, Novorossiysk, 353905, Russia
Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) KubSTU, 20 Karl Marx St., 353900,
Novorossiysk, Russia*

email:axenovalubov@gmail.com

One of the key areas of modern ophthalmology is the quantitative evaluation of retinal biomarkers using optical coherence tomography (OCT). This task is especially relevant for monitoring the effectiveness of anti-VEGF therapy in patients with neovascular age-related macular degeneration (n-AMD), where biomarker parameters such as PED, SRF, and IRF serve as prognostic factors [1,2]. In this study, an automated system for quantitative evaluation of biomarkers was developed, based on the results of OCT image segmentation using a convolutional neural network of the U-NET architecture. The training algorithm was built on an annotated dataset of 385 OCT images. On the validation set, the model achieved a Dice coefficient of 0.9 (PED), 0.72 (SRF), and 0.69 (IRF), which is comparable

to the results obtained by an ophthalmologist [3]. Based on the obtained segmented masks, a quantitative analysis system was implemented, which includes the calculation of area, height, and length of each biomarker using a contour detection algorithm. Statistical verification of the results obtained by the algorithm and manually showed no significant differences, which confirms the method's accuracy. Statistically significant differences were found in PED and IRF parameters between clinical patient groups, demonstrating the clinical applicability of the proposed algorithm. Thus, the developed algorithm for quantitative evaluation of retinal biomarkers can be used for objective therapy monitoring and personalization of treatment approaches for retinal diseases.

References

1. Lai T.T. et al. Biomarkers of optical coherence tomography in evaluating the treatment outcomes of neovascular age-related macular degeneration. *Sci Rep.* 2019; 9(1):529.
2. Schmidt-Erfurth U. et al. Artificial intelligence in retina. *Prog Retin Eye Res.* 2018; 67:1–29.
3. Aksenova L.E., Aksenov K.D., Kozina E.V., Myasnikova V.V. AUTOMATED SYSTEM FOR ANALYSIS OF OCT RETINA IMAGES DEVELOPMENT AND TESTING // *Doklady Mathematics.* 2023. V. 108. № S2. P. S310-S316.

УДК 004.94; 535.2; 681.784
ГРНТИ 76.13; 29.31
БАК 05.11.14

Математическое моделирование оптической системы фундус-камеры в ANSYS

^{1,2}Аксенов К.Д., ^{1,2*} Аксенова Л.Е., ^{1,2}Нефедов М.А., ¹Шеманин В.Г.

¹Новороссийский политехнический институт(филиал) КубГТУ, 353900,
г. Новороссийск, ул. Карла Маркса, 20

²Общество с ограниченной ответственностью Пространство интеллектуальных
решений, 353905, г. Новороссийск, наб. Имени Адмирала Серебрякова, д. 49
email: *axenovalubov@gmail.com

Разработка оптических приборов для медицинской визуализации требует высокой точности как в проектировании, так и в оценке характеристик. Одним из таких приборов является фундус-камера — устройство, предназначенное для съёмки глазного дна. Для повышения точности и оптимизации конструкции целесообразно использовать численное моделирование. Применение программного комплекса ANSYS позволяет создать детализированную математическую модель фундус-камеры с учётом всех оптических и конструктивных особенностей. Модель включает световые источники, объективную систему, фильтры и сенсор изображения, а также учитывает оптические характеристики среды (глаза пациента). Подобные подходы к математическому моделированию «глаз–камера» активно развиваются в последние годы, включая использование ray-matrix формализма и масштабированных оптических схем [1]. В ходе моделирования в ANSYS проведён анализ трассировки лучей, оценки aberrаций и оптимизации положения оптических элементов. Особое внимание уделено характеристикам освещения, так как они критически влияют на качество изображения при получении

изображений сетчатки. Кроме того, применялись подходы, аналогичные современным методам проектирования систем освещения, направленным на повышение контрастности и равномерности экспозиции [2]. Также учтены современные решения по расширению динамического диапазона изображения, что особенно важно для визуализации сосудов и макулы [3]. В результате была создана математическая модель, отражающая ключевые оптические особенности фундус-камеры. Оптимизировано положение оптических элементов в системе, что позволило снизить aberrации и минимизировать блики. Обеспечено равномерное освещение сетчатки с высоким контрастом, необходимым для визуализации сосудов и макулы. Модель пригодна для последующего перехода к прототипированию.

Исследование выполняется при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № НТИП-24.1/1.

Список литературы

1. PorsL.J. et al. Correction method for optical scaling of funduscopy images using paraxial matrix ray tracing. //Biomedical Optics Express, 2024. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10829800>
2. Lee S.J. et al. Design of illumination system using characterized illuminance to obtain high-quality fundus images for SBFCs. //Optics and Lasers in Engineering, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2023.107473>
3. Rossi A. et al. A portable wide-field fundus camera with high dynamic range imaging capability. //arXiv, 2022. <https://arxiv.org/abs/2212.13257>

Optical system Mathematical Modeling of a Fundus Camera in ANSYS

^{1,2} Aksenov K.D., ^{1,2} * Aksenova L.E., ^{1,2} Nefyodov M.A., ¹ Shemanin V.G.

1 Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) KubSTU, 20 Karl Marx St., 353900, Novorossiysk, Russia

*2 LLC "Predict Space", 49 Admiral Serebryakov Embankment, Novorossiysk, 353905, Russia
email: * axenovalubov@gmail.com*

The development of optical devices for medical imaging requires high precision both in design and in performance evaluation. One such device is the fundus camera — an instrument intended for capturing images of the eye's fundus. To improve accuracy and optimize the design, it is advisable to use numerical modeling. The use of the ANSYS software package allows for the creation of a detailed mathematical model of the fundus camera, taking into account all optical and structural features. The model includes light sources, the lens system, filters, and the image sensor, and also accounts for the optical properties of the medium (the patient's eye). Such approaches to “eye-camera” mathematical modeling have been actively developed in recent years, including the use of ray-matrix formalism and scalable optical schemes [1]. During the modeling process in ANSYS, ray tracing analysis, aberration evaluation, and optimization of the positions of optical elements were carried out. Special attention was paid to illumination characteristics, as they critically affect image quality during retinal imaging. In addition, approaches similar to modern illumination system design methods were applied, aimed at increasing contrast and achieving uniform exposure [2]. Modern solutions for expanding the dynamic range of the image were also taken into account, which is particularly important for visualizing blood vessels and the macula [3]. As

a result, a mathematical model was created that reflects the key optical characteristics of the fundus camera. The positioning of optical elements in the system was optimized, which helped reduce aberrations and minimize glare. Uniform illumination of the retina with high contrast, necessary for vessel and macula visualization, was achieved. The model is suitable for subsequent transition to prototyping.

The research is carried out with the financial support of the Kuban Science Foundation, LLC PREDICT SPACE in the framework of the project Num. NTIP-24.1/1 «A portable optical device for visualizing the fundus with integrated artificial intelligence technologies.

References

1. Pors L.J. et al. Correction method for optical scaling of fundoscopy images using paraxial matrix ray tracing. //Biomedical Optics Express, 2024. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10829800>
2. Lee S.J. et al. Design of illumination system using characterized illuminance to obtain high-quality fundus images for SBFCs. //Optics and Lasers in Engineering, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2023.107473>
3. Rossi A. et al. A portable wide-field fundus camera with high dynamic range imaging capability. //arXiv, 2022. <https://arxiv.org/abs/2212.13257>

УДК 004.8; 612.84

ГРНТИ 28.23.15; 76.29.56

ВАК 2.3.1.

Применение мультимодальной трансформерной архитектуры к изображениям глазного дна

^{1,2}Аксенов К.Д., ^{1,2}* Аксенова Л.Е., ^{1,2}Присяжнюк А.В., ¹Шеманин В.Г.

¹Новороссийский политехнический институт(филиал) КубГТУ,
353900, г. Новороссийск, ул. Карла Маркса, 20

²Общество с ограниченной ответственностью Пространство интеллектуальных решений, 353905, г. Новороссийск, наб. Имени Адмирала Серебрякова, д. 49
email: *axenovalubov@gmail.com

Классификация заболеваний по изображениям глазного дна является перспективным направлением в области медицинской диагностики, позволяющим выявлять не только офтальмологические, но и системные патологии. Развитие моделей глубокого обучения расширяет границы применения изображений сетчатки как неинвазивного биомаркера. Особенно перспективными являются мультимодальные архитектуры, сочетающие визуальные и текстовые представления [1, 2]. Целью данного исследования являлось создание и обучение модели, способной определять широкий спектр заболеваний на основе цветных фундус-фотографий. В качестве основы использована трансформерная архитектура RETFound [3], объединяющая визуальный энкодер (ViT) и текстовый энкодер (BERT). Предварительно обученная модель была дообучена на расширенном датасете RFMiD v2, включающем изображения, размеченные по 29 классам патологий.

Обработка изображений и обучение проводились с использованием PyTorch 2.1.1 на инфраструктуре YandexCloud. Дообучение выполнялось в течение 75 эпох с использованием оптимизатора AdamW. Модель достигла

AUC = 0.9155 на тестовой выборке, без признаков переобучения. Особенно высокая точность достигнута по классам «диабетическая ретинопатия», «возрастная макулярная дегенерация» и «миопия». Таким образом, представленная модель продемонстрировала высокую эффективность в задачах многоклассовой классификации и подтверждает перспективность использования трансформеров в анализе фундус-изображений. Полученные результаты могут быть применимы как в системах автоматического скрининга, так и в интеграции с портативными диагностическими устройствами.

Исследование выполняется при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № НТИП-24.1/1.

Список литературы

1. L.Y. et al. Prediction of cardiovascular markers and diseases using retinal fundus images and deep learning: a systematic scoping review. //Eur Heart J Digit Health. 2024; 5(6):660–669. doi:10.1093/ehjdh/ztae068.
2. Pachade S. et al. Retinal Fundus Multi-disease Image Dataset (RFMiD). // IEEE Dataport. 2020. doi:10.21227/s3g7-st65.
3. Zhou Y. et al. A foundation model for generalizable disease detection from retinal images. //Nature. 2023; 622:156–163. doi:10.1038/s41586-023-06555-x.

Application of Multimodal Transformer Architecture to Fundus Images

^{1,2} Aksenov K.D., ^{1,2} * Aksenova L.E., ^{1,2} Prisyazhnyuk A.V., ¹ Shemanin V.G.

¹Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) KubSTU, 20 Karl Marx St., 353900, Novorossiysk, Russia

²LLC "Predict Space", 49 Admiral Serebryakov Embankment, Novorossiysk, 353905, Russia
email: * axenovalubov@gmail.com

Disease classification based on fundus images is a promising direction in medical diagnostics, enabling the detection of not only ophthalmic but also systemic pathologies. The development of deep learning models is expanding the potential use of retinal images as non-invasive biomarkers. Particularly promising are multimodal architectures that combine visual and textual representations [1, 2]. The aim of this study was to develop and train a model capable of identifying a wide range of diseases based on color fundus photographs. The RETFound transformer architecture [3] was used as the foundation, combining a visual encoder (ViT) and a textual encoder (BERT). The pre-trained model was fine-tuned on the extended RFMiD v2 dataset, which includes images labeled for 29 disease classes. Image processing and model training were performed using PyTorch 2.1.1 on the Yandex Cloud infrastructure. Fine-tuning was carried out over 75 epochs using the AdamW optimizer. The model achieved an AUC of 0.9155 on the test set, without signs of overfitting. Particularly high accuracy was observed in the classes of diabetic retinopathy, age-related macular degeneration, and myopia. Thus, the presented model demonstrated high efficiency in multiclass classification tasks and confirms the potential of transformers in the analysis of fundus images. The obtained results can be applied in both automatic screening systems and integration with portable diagnostic devices.

The research is carried out with the financial support of the Kuban Science Foundation, LLC PREDICT SPACE in the framework of the project Num. NTIP-24.1/1 «A portable optical device for visualizing the fundus with integrated artificial intelligence technologies.

References

1. L.Y. et al. Prediction of cardiovascular markers and diseases using retinal fundus images and deep learning: a systematic scoping review. Eur Heart J Digit Health. 2024; 5(6):660–669. doi:10.1093/ehjdh/ztae068.
2. Pachade S. et al. Retinal Fundus Multi-disease Image Dataset (RFMiD). IEEE Data-port. 2020. doi:10.21227/s3g7-st65.
3. Zhou Y. et al. A foundation model for generalizable disease detection from retinal images. Nature. 2023; 622:156–163. doi:10.1038/s41586-023-06555-x.

УДК 004.056.55; 681.784

ГРНТИ 81.93.29; 28.23.15

БАК 2.3.6.

Применение систем безопасности на основе стеганографии при визуализации глазного дна оптическим прибором

Аксенов К.Д.

Общество с ограниченной ответственностью Пространство интеллектуальных решений, 353905, г. Новороссийск, наб. имени Адмирала Серебрякова, д. 49

Новороссийский политехнический институт(филиал) КубГТУ,

353900, г. Новороссийск, ул. Карла Маркса, 20

email: axenov.kir@gmail.com

Современные оптические приборы для визуализации глазного дна, такие как фундус-камеры, широко применяются в офтальмологической диагностике. С ростом числа портативных устройств и интеграции технологий искусственного интеллекта возникает необходимость защиты персональных биомедицинских данных, передаваемых по цифровым каналам. Одним из эффективных решений в этом направлении является применение методов стеганографии — сокрытия информации внутри визуальных данных [1]. Целью настоящего исследования является интеграция методов стеганографии в систему съёмки и передачи изображений глазного дна. В качестве базового подхода рассмотрено встраивание защищённых идентификаторов пациента в незаметные участки фундус-изображений, получаемых с оптического прибора. Использовались модифицированные LSB-методы с адаптацией под структуру сетчатки, чтобы минимизировать влияние на качество визуализации и сохранить диагностическую ценность изображения [2]. Проведён сравнительный анализ устойчивости внедрённых стего-сообщений к сжатию, шуму и различным преобразованиям, характерным для телемедицинских систем. Оценивалась сохранность информации и влияние на автоматическую классификацию заболеваний, что особенно важно при работе с ИИ-модулями [3]. Таким образом, внедрение стеганографических механизмов в аппаратное и программное обеспечение съёмки позволяет обеспечить аутентификацию и контроль целостности данных при сохранении высокого качества диагностики. Разработка может быть использована в

КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМАХ МЕДИЦИНСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ С ПОВЫШЕННЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ К БЕЗОПАСНОСТИ.

Список литературы

1. Petitcolas F.A.P., Anderson R.J., Kuhn M.G. Information hiding — a survey. //Proc. IEEE. 1999; 87(7): 1062-1078.
2. Sahu A., Kaushik B.K. Medical Image Steganography: A Review of the Literature. //J. Med. Imaging Health Inform. 2022; 12(1):65–78.
3. Al-Haj A., Odeh A. Secure Medical Image Transmission Using Adaptive LSB-based Steganography. //J. Digit. Imaging. 2023; 36(2): 321-330. <https://doi.org/10.1007/s10278-023-00750-5>

Application of Security Systems Based on Steganography in Fundus Imaging with Optical Devices

Aksenov K.D.

LLC "Predict Space", 49 Admiral Serebryakov Embankment, Novorossiysk, 353905, Russia
Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) KubSTU, 20 Karl Marx St., 353900,

Novorossiysk, Russia

email:axenovalubov@gmail.com

Modern optical devices for fundus imaging, such as fundus cameras, are widely used in ophthalmic diagnostics. With the growing number of portable devices and the integration of artificial intelligence technologies, there is an increasing need to protect personal biomedical data transmitted via digital channels. One effective solution in this area is the use of steganography methods — concealing information within visual data [1]. The aim of this study is to integrate steganographic methods into the system for capturing and transmitting fundus images. As a basic approach, the embedding of secure patient identifiers into imperceptible regions of fundus images obtained from an optical device was considered. Modified LSB methods adapted to the retinal structure were used to minimize the impact on image quality and preserve the diagnostic value of the image [2]. A comparative analysis was conducted to evaluate the robustness of embedded stego-messages against compression, noise, and various transformations typical for telemedicine systems. The preservation of information and the impact on automated disease classification were assessed, which is especially important when working with AI modules [3]. Thus, the integration of steganographic mechanisms into the hardware and software of the imaging system ensures authentication and data integrity control while maintaining high diagnostic quality. This development can be used in comprehensive medical imaging systems with enhanced security requirements.

References

1. Petitcolas F.A.P., Anderson R.J., Kuhn M.G. Information hiding — a survey.// Proc. IEEE. 1999; 87(7):1062-1078.
2. Sahu A., Kaushik B.K. Medical Image Steganography: A Review of the Literature. //J. Med. Imaging Health Inform. 2022;12(1):65–78.
3. Al-Haj A., Odeh A. Secure Medical Image Transmission Using Adaptive LSB-based Steganography. //J. Digit. Imaging. 2023; 36(2): 321-330. <https://doi.org/10.1007/s10278-023-00750-5>

Синтез Yb:Y₂O₃ керамик с различным содержанием ZrO₂ и исследование их микроструктурных и оптических характеристик

^{1,2}* А.А. Щукина, ¹ В.В. Осипов, ¹ В.А. Шитов

¹ Институт электрофизики УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена 106

² Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

e-mail: *fisher-alexa@mail.ru, vlad@iep.uran.ru

Керамика на основе оксида иттрия (Y₂O₃) является перспективным материалом для создания активной среды лазеров, так как обладает высокой теплопроводностью и низким коэффициентом теплового расширения [1]. Однако из-за высокой температуры плавления уплотнение керамики при вакуумном спекании требует высоких температур, что может спровоцировать рост зерен и привести к образованию большого количества пор. Одним из путей повышения спекаемости Y₂O₃ является использование в качестве ингибитора ZrO₂, который замедляет рост зерен и способствует созданию однородной микроструктуры. Но слишком высокое его содержание также нежелательно, поскольку ZrO₂ нарушает упорядоченное расположение ионов кристаллической решетки, что приводит к снижению теплопроводности [2]. В данной работе были синтезированы керамики с содержанием ZrO₂ 3 мол.%, 5 мол.% и 7 мол.%. Наилучший коэффициент пропускания (81,71% на длине волны $\lambda=1077$ нм) был достигнут в образце с содержанием 5 мол.%. Среднее содержание пор, полученное методом прямого подсчета составило 57,3 ppm, 9,1 ppm и 67,8 ppm для образцов 3 мол.%, 5 мол.% и 7 мол.%, соответственно. Средние размеры кристаллитов во всех полученных образцах составили $8,02 \pm 0,2$ мкм.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-20074, <https://rscf.ru/project/24-19-20074/>, при финансовой поддержке со стороны Правительства Свердловской области.

Список литературы

1. Sanghera J. Ceramic laser materials / Sanghera J., Kim W., Villalobos G., Shaw B., Baker C., Frantz J., Sadowski B., Aggarwal I. // Materials – 2012. – №2. – P.258–277.
2. X.D. Xu, Z.W. Zhao, J. Xu, P.Z. Deng, Thermal diffusivity, conductivity and expansion of Yb_{3x}Y_{3(1-x)}Al₅O₁₂ (x=0.05, 0.1 and 0.25) single crystals. // Solid. State Commun. 130(8) (2004) 529-532.

Synthesis of Yb: Y₂O₃ ceramics with different ZrO₂ content and investigation of their microstructural and optical characteristics

^{1,2}* A.A.Shchukina, ¹ V.V. Osipov, ¹ V.A. Shitov

¹ Institute of Electrophysics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 106 Amundsen St., Yekaterinburg, 620016

² Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, 19 Mira St., Yekaterinburg, 620062

e-mail: *fisher-alexa@mail.ru, vlad@iep.uran.ru

Ceramics based on yttrium oxide (Y_2O_3) is a promising material for creating an active laser environment, as it has high thermal conductivity and a low coefficient of thermal expansion [1]. However, due to the high melting point, sealing ceramics during vacuum sintering requires high temperatures, which can provoke grain growth and lead to the formation of a large number of pores. One of the ways to increase the sinterability of Y_2O_3 is to use it as a ZrO_2 inhibitor, which slows down grain growth and helps create a homogeneous microstructure. However, its too high content is also undesirable, since ZrO_2 disrupts the ordered arrangement of ions in the crystal lattice, which leads to a decrease in thermal conductivity [2]. In this work, ceramics with a ZrO_2 content of 3 mol.%, 5 mol.% and 7 mol.%. The best transmission coefficient (81.71% at a wavelength of $\lambda=1077$ nm) was achieved in a sample with a content of 5 mol.%. The average pore content obtained by direct counting was 57.3 ppm, 9.1 ppm and 67.8 ppm for samples of 3 mol.%, 5 mol.% and 7 mol.%, respectively. The average crystallite sizes of all the obtained samples were 8.02 ± 0.2 μm .

The research was supported by the Russian Science Foundation No. 24-19-20074, <https://rscf.ru/project/24-19-20074/>, with financial support from the Government of the Sverdlovsk region.

References

1. SangheraJ. Ceramiclasermaterials / SangheraJ., KimW., VillalobosG., ShawB., BakerC., FrantzJ., SadowskiB., AggarwallI.// Materials – 2012. – №2.– P.258– 277.
2. X.D. Xu, Z.W. Zhao, J. Xu, P.Z. Deng, Thermal diffusivity, conductivity and expansion of $Yb_{3x}Y_{3(1-x)}Al_5O_{12}$ ($x=0.05, 0.1$ and 0.25) single crystals. // Solid. StateCommun. 130(8) (2004) 529-532.

УДК 537.9, 538.9, 537.5

ГРНТИ 29.19.16

БАК 2.2.2

Стабилизация параметров диодов, в частности, варикапов

А.В. Богданов

ООО «Опытное производство электронных приборов (ОПЭП)», 353901, Россия,

Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Шаумяна, 10, к.1.

Email:bogdanov50@gmail.com

Результаты предлагаемого исследования могут быть использованы для стабилизации электрических параметров различных типов диодов, в частности, варикапов. Для увеличения надёжности работы таких структур после изготовления обязательно проводят различные их испытания, в частности, электротренировки и отбраковку. Электротренировки подразумевают нахождение приборов под напряжением при различных температурах в течение 30 и более суток. Это составляет значительную часть затрат при изготовлении приборов за счёт использования значительного количества испытательного оборудования, кроме того, значительно уменьшает выход годных приборов. В результате электротренировки при напряжениях близких к максимальному, указанному в паспорте, значительный процент приборов выходит из строя в результате теплового нагрева.

Цель работы – повышение производительности и выхода годных диодов. Результаты исследований. Поставленная цель достигается модуляцией постоянного обратного напряжения переменным напряжением определённой частоты. Этот метод был нами опробован при исследовании микроплазменного пробоя в синтетическом алмазе [1; 2]. При микроплазменном пробое происходит ударная ионизация неравновесных носителей заряда, резкое возрастание тока и тепловой пробой прибора.

Подбирая определённую частоту переменного тока, удастся добиться двух результатов:

- предотвратить тепловой пробой при достаточно высоких подаваемых напряжениях;

- сосредоточить напряжение на неоднородностях (дефектах) структур диодов.

Реальным достижением поставленных целей исследования удалось получить при серийном производстве варикапов типа 2В119А, КВ129А, КВ132А. На варикапы подавалось обратное напряжение равное 0,8 от максимального. Это уменьшало температуру нагрева части варикапов, имеющих большой обратный ток. После процесса выдержки обратный ток уменьшался, и повторная подача на приборы максимального напряжения уже не выводила их из строя.

Выводы. Использование предлагаемого способа электротренировки при серийном производстве варикапов позволило существенно увеличить их процент выхода; уменьшить не менее, чем в два раза время тренировки, сократить время эксплуатации испытательного оборудования и занимаемой площади.

Список литературы

1. Преснов В.А. Отрицательное сопротивление в полупроводниковых искусственных алмазах / В.А. Преснов, А.В. Богданов, Ю.М. Ротнер // Физика и техника полупроводников. – 1974. – Т. 8, вып. 7. – С. 1389-1390.
2. Богданов А.В. Исследование микроплазменного пробоя в контакте металл – полупроводниковый алмаз / А.В. Богданов, И.М. Викулин, Т.В. Богданова // Физика и техника полупроводников. – 1982. – Т. 16, вып. 6. – С. 1124-1125.

Stabilization of parameters of discrete semiconductor structures, in particular, varicaps

A.V. Bogdanov

ООО "Experimental production of electronic devices (OPEP), 353901, Russia, Krasnodar region, Novorossiysk, Shaumyanast., 10, bldg. 1.

email: bogdanov50@gmail.com

The results of the proposed study can be used to stabilize the electrical parameters of various discrete semiconductor diode structures, in particular, varicaps. To increase the reliability of such structures after manufacture, various tests are mandatory, in particular, electrical training and rejection. Electrical training implies keeping devices under continuous voltage at various temperatures for 30 days or more. This constitutes a significant part of the costs in the manufacture of devices due to the use of a significant amount of testing equipment, in addition, it significantly reduces the yield of suitable devices. As a result of electrical training at

voltages close to the maximum specified in the passport, a significant percentage of devices fail due to thermal heating.

The purpose of the work is to increase the productivity and yield of suitable discrete diodes.

Research results. The set goal is achieved by modulating the direct current reverse voltage with an alternating voltage of a certain frequency. We tested this method in the study of microplasma breakdown in synthetic diamond [1; 2]. During microplasma breakdown, impact ionization of nonequilibrium charge carriers, a sharp increase in current and thermal breakdown of the device occur.

By selecting a certain frequency of alternating current, it is possible to achieve two results:

- prevent thermal breakdown at sufficiently high applied voltages;
- concentrate the voltage on the inhomogeneities (defects) of the diode structures.

We were able to obtain real results in achieving the set research objectives during serial production of 2B119A, KB129A, KB132A varicaps. A reverse voltage equal to 0.8 of the maximum was applied to the varicaps. This reduced the heating temperature of some varicaps with a high reverse current. After the holding process, the reverse current decreased, and repeated application of the maximum voltage to the devices no longer put them out of order.

Conclusions. The use of the proposed method of electrical training in serial production of varicaps made it possible to significantly increase their output percentage; reduce the training time by at least two times, reduce the operating time of the testing equipment and the occupied area.

References

1. Presnov, V.A. Negative resistance in semiconductor artificial diamonds / V.A. Presnov, A.V. Bogdanov, Yu.M. Rotner // Physics and technology of semiconductors, 1974. - Vol. 8, issue 7. - P. 1389-1390
2. Bogdanov, A.V. Study of microplasma breakdown in a metal-semiconductor diamond contact / A.V. Bogdanov, I.M. Vikulin, T.V. Bogdanova // Physics and Technology of Semiconductors, 1982. - Vol. 16, issue 6. - P. 1124-1125

УДК 537.9, 538.9, 537.5

ГРНТИ 29.19.16

БАК 2.2.2

Высокотемпературный выпрямительный диод на гетеропереходе алмаз-кремний

А.В. Богданов

ООО «Опытное производство электронных приборов (ОПЭП)», 353901, Россия,

Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Шаумяна, 10, к.1.

email: bogdanov50@gmail.com

Алмаз, как активный элемент полупроводникового прибора повышает его рабочую температуру [1; 2].

Цель работы - получение высокотемпературного выпрямляющего гетероперехода синтетический алмаз *p* - типа проводимости и кремний *n*-типа проводимости.

Результаты исследований. Особенностью предложенной нами одними из первых в мире ещё в 1990 году технологии является нанесение в плазме газового разряда на кремний n - типа проводимости плёнки синтетического алмаза p - типа проводимости толщиной 0,1 ... 0,7 мкм. Метод плазменного газового разряда позволяет получать наиболее качественные алмазные плёнки. Специальное их легирование не производилось.

Технология заключалась в следующем. На поверхность кремниевой пластины кремния n - типа проводимости с удельным сопротивлением 1,7 Ом · см в плазме газового разряда наносилась алмазная плёнка соответствующей толщины. На эту плёнку и на непланарную сторону кремниевой пластины напылялись и вжигались алюминиевые омические контакты и к ним припаивались выводы.

Удельное сопротивление алмазных плёнок $10^5 - 10^6$ Ом · см, что намного выше, чем кремния. Высокое сопротивление алмаза обусловлено глубоким залеганием основной акцепторной примеси бора 0,37 эВ и сильной компенсацией примесей в нём. При более низких сопротивлениях алмазных плёнок их качество ухудшается, а рабочая температура понижается. На качестве выпрямления сказывается в основном последовательное сопротивление алмазной плёнки, а не кремния.

Для повышения рабочих температур необходимы высокое сопротивление алмаза и определённая концентрация примеси в нём. Это определяет ширину обеднённой области, а, значит, и толщину алмазных плёнок. Толщина плёнки определялась шириной обеднённой области $d = (23 ... 71)$ нм, при напряжении $V = (10 ... 100)$ В и $N_d = 10^{18}$ см $^{-3}$.

Выводы. Повышена рабочая температура таких диодов до 650 К. Невысокий коэффициент выпрямления ограничивает их применение в электронике.

Список литературы

1. Богданов А.В. Приборы на основе полупроводниковых алмазов: Министерство электронной промышленности СССР. Обзоры по электронной технике / А.В. Богданов, И.М. Викулин. – М.: ЦНИИ "Электроника". Сер.2. Полупроводниковые приборы, 1987. - Вып.3 (1274). - 56 с.
2. Хмельницкий Р.А. Синтетический алмаз для электроники и оптики / Р.А. Хмельницкий, Н.Х. Талипов, Г.В. Чучева. – М.: Издательство ИКАР, 2017. – 228 с.

High-temperature rectifier diode on a diamond-silicon heterojunction

A.V. Bogdanov

ООО "Experimental production of electronic devices (OPEP), 353901, Russia,
Krasnodar region, Novorossiysk, Shaumyanast., 10, bldg. 1.

Email: bogdanov50@gmail.com

Diamond, as an active element of a semiconductor device, increases its operating temperature [1; 2].

The aim of the work is to obtain a high-temperature rectifying heterojunction of synthetic diamond of p -type conductivity and silicon of n -type conductivity.

Research results. The peculiarity of the technology proposed by us among the first in the world back in 1990 is the application of a film of synthetic diamond of p -

type conductivity with a thickness of $0,1 \dots 0,7 \mu m$ to silicon of n -type conductivity in a gas discharge plasma. The plasma gas discharge method allows obtaining the highest quality diamond films. They were not specially alloyed.

The technology consisted of the following. A diamond film of the corresponding thickness was applied to the surface of a silicon wafer of n -type conductivity with a specific resistance of $1,7 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ in a gas discharge plasma. Aluminum ohmic contacts were sprayed and burned onto this film and onto the non-planar side of the silicon wafer, and leads were soldered to them.

The specific resistance of diamond films is $10^5 - 10^6 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$, which is much higher than that of silicon. The high resistance of diamond is due to the deep location of the main acceptor impurity of boron $0,37 \text{ eV}$ and strong compensation of impurities in it. At lower resistances of diamond films, their quality deteriorates, and the operating temperature decreases. The quality of rectification is mainly affected by the series resistance of the diamond film, not silicon.

To increase the operating temperatures, high resistance of diamond and a certain concentration of impurity in it are necessary. This determines the width of the depletion region, and, therefore, the thickness of the diamond films. The film thickness was determined by the width of the depletion region $d = (23 \dots 71) \text{ nm}$, at a voltage of $V = (10 \dots 100) \text{ V}$ and $N_d = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

Conclusions. The operating temperature of such diodes is increased to 650 K . The low rectification coefficient limits their use in electronics.

References

1. Bogdanov A.V. Devices based on semiconductor diamonds: USSR Ministry of Electronic Industry. Reviews on electronic engineering / A.V. Bogdanov, I.M. Vikulin. - M.: Central Research Institute "Electronics". Ser. 2. Semiconductor devices, 1987. - Issue 3 (1274). - 56 p.
2. Khmel'nitsky R.A. Synthetic diamond for electronics and optics / R.A. Khmel'nitsky, N.Kh. Talipov, G.V. Chucheva. - M.: IKAR Publishing House, 2017. - 228 p.

УДК 517.443, 519.2:004, 531.36

ГРНТИ 30.19.21

БАК 1.3.19

Электронные состояния и их локальная плотность в кристаллах YAG

Ермаков Л.К.

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, 195251,

Российская Федерация, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29,

email: ermakov-lk@mail.ru

Дальнейшее развитие лазерной техники требует новых материалов, в которых возможно создание лазерного эффекта за счет образования инверсной населенности уровней [1]. Весьма перспективными для этого являются кристаллы с большой шириной запрещенной зоны и, в частности иттрий-алюминиевые гранаты (YAG) [2]. У них данный параметр имеет значение около 6 эВ , что позволяет путем введения примесных атомов создавать системы уровней, излучение с которых лежит в видимом спектре, которое без потерь можно вывести из кристалла [3]. Факт создания инверсной населенности за-

висит от локальной плотности электронных состояний (ЛПС). Теоретическое исследование её для YAG имеет определенные проблемы из-за большого размера элементарной ячейки (куб с ребром 12.010 Å), а также большим числом атомов в ней (260). Аналитически анализ электронной структуры сделать практически невозможно, поэтому более эффективны полуэмпирические методы, одним из которых является метод разложения функции Грина в непрерывную дробь (НД) [4]. Этот метод использует рекурсивную процедуру тридиагонализации матрицы исходного гамильтониана. Есть несколько методов тридиагонализации матриц, но метод НД позволяет использовать только три одномерных массива размером (n) каждый вместо матрицы размером $(n \times n)$. Матрица гамильтониана в полуэмпирическом виде использует потенциалы ионизации для диагональных элементов, а для недиагональных элементов полусумму диагональных умноженную на интеграл перекрывания. Вышеуказанную матрицу нет необходимости хранить полностью, достаточно генерировать матричные элементы по ходу расчета, тем более, что многие из них повторяются и их проще запомнить в отдельный небольшой массив. Однако метод НД обладает некоторой неустойчивостью, связанной с тем, что по ходу алгоритма матрица многократно умножается сама на себя и поэтому числа быстро растут, нередко выходя за разрешенную для компьютера величину. Избавиться от этого можно масштабированием диагональных матричных элементов - делением на максимальный диагональный матричный элемент, что нетрудно сделать автоматически. Мнимая часть функции Грина, умноженная на коэффициент $(-1/\pi)$ и дает ЛПС. Локальна при таком подходе из-за того, что в полуэмпирическом варианте используются атомные орбитали, локализованные на конкретном месте данного атома в методе ЛКАО. Результаты расчета ЛПС неплохо согласуются с экспериментом [5].

Список литературы

1. Долгих Г.И., Привалов В.Е., Долгих С.Г. Лазеры и их применение в сверхточных измерениях. – Владивосток, 2024. – 361 с.
2. Заморянская М.В. //Опт. и спектроск.– 1993.– Т. 75, В.4.– С. 805-811.
3. Menzer G. //Zeitschrift fur Kristallografie, V.69, Leipzig, 1928, P. 300-396.
4. Solid State Physics, V.35, 1980, Acad. Press, N.Y.
5. Orekhova K., Zamoryanskaya M. Decay kinetics in single crystals and ceramics based on yttrium aluminum garnet doped with rare earth ions // J. Luminescence, V. 251, 2022, P. 119228, <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2022.119228>

Electronic states and their local density in crystals of YAG

Ermakov L.K.

Saint Petersburg Polytechnical University, 195251, Russian Federation, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29
email: ermakov-lk@mail.ru

Further development in laser technology requires new materials in which it is possible to create a laser effect due to the formation of inverse population levels [1]. Very promising for this are crystals with a large width of the prohibited zone and in particular yttrium-aluminium garnets (YAG) [2]. They have this parameter has a value of about 6 eV, which allows by introducing impurity atoms to create level

systems, the radiation from which lies in visible spectrum, which can be deduced from the crystal without loss [3]. The fact of creating an inverse population depends on the local density of electronic states (LDS). A theoretical study for YAG has certain problems due to the large size of the elementary cell (cube with edge 12.010 Å), as well as the large number of atoms in it (260). Analytical analysis of the electronic structure is almost impossible, therefore, semi-empirical methods are more effective, one of which is the method of decomposition of the Green function into a continuous fraction (ND)[4]. This method uses the recursive tridiagonalization procedure of the original Hamiltonian matrix. There are several methods for tridiagonalizing matrices, but the ND method allows only three one-dimensional arrays of size (n) each to be used instead of a matrix of size ($n \times n$). The Hamiltonian matrix in semi-empirical form uses ionization potentials for diagonal elements, and for non-diagonal elements the semi-sum of diagonal multiplied by the overlap integral. The above matrix does not need to be stored completely, it is enough to generate matrix elements during the calculation, especially since many of them are repeated and it is easier to remember them in a separate small array. However, the ND method has some instability due to the fact that during the algorithm the matrix multiplies itself many times and therefore the numbers grow rapidly, often going beyond the value allowed for the computer... You can get rid of this by scaling diagonal matrix elements by dividing by the maximum diagonal matrix element, which is not difficult to do automatically. The imaginary part of Green's function is multiplied by the coefficient $(-1/\pi)$ and gives the LPS. It is local in this approach due to the fact that in the semi-empirical method, the atomic orbitals localized at a specific place of a given atom in the LKAO method are used. The results of the calculation of the LPS are in good agreement with the experiment [5].

References

1. Dolgikh G.I., Privalov V.E., Dolgikh S.G. Lasers and Their application in Ultra-precise Measurements, Vladivostok, 2024, 362 p.
2. Zamoryanskaya M.V. //Opt. and spectrosc. 1993, V.75, B.4, P. 805-811
3. Menzer G. //Zeitschrift fur Kristallografie, B.69, Leipzig, 1928, P.300-396.
4. Solid State Physics, V.35, 1980, Acad. Press, N.Y.
5. K.Orekhova, M.Zamoryanskaya, Decay kinetics in single crystals and ceramics based on yttrium aluminum garnet doped with rare earth ions //J. Luminescence, V. 251, 2022, 119228, <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2022.119228>

УДК 535.394.5, 53.082.539

ГРНТИ 29.19.21

БАК 1.3.6

Определение оптимальных пространственных характеристик микроструктурированных световодов различной структуры на основе монокристаллов системы AgCl – AgBr – AgI

¹ Воробьёва Д. А., ¹ Южакова А. А., ¹ Салимгареев Д.Д., ¹ Львов А.Е., ^{1*} Жукова Л. В.

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира 19.

email: *l.v.zhukova@urfu.ru

В недавнее время была подробно исследована трёхкомпонентная система $\text{AgCl} - \text{AgBr} - \text{AgI}$ [1], в виде последовательного получения, изучения свойств, поиска и обоснования корреляций между технологией синтеза-структурой-свойствами галогенидсеребряных монокристаллов и керамики. Благодаря комплексному исследованию данной системы были достигнуты широкие возможности по вариации показателя преломления, фото- и радиационной стойкости, твердости и плотности. Все эти возможности важны для производства качественной, функциональной волоконной оптики среднего ИК диапазона, необходимой для лазерных и диагностических медицинских технологий, зондовой спектроскопии и термографии.

На данный момент актуальным является вопрос изготовления микроструктурированных световодов (МС) [2] на основе новых инфракрасных материалов, так как они обладают характеристиками, отличными от классических двухслойных волокон. Эти свойства открывают новые области применения. В стандартных волокнах одномодовый режим передачи излучения возможен лишь при малом диаметре сердцевины, что усложняет ввод света и повышает нелинейность. МС же являются фундаментально одномодовыми, что достигается посредством «отсечения» высших мод микроструктурированной оболочкой на любых длинах волн. Таким образом, использование МС может упростить оптические схемы, исключая межмодовую дисперсию и обеспечивая высокое качество передаваемого сигнала в широком спектре, упрощая ввод мощного излучения.

В ходе работы с помощью ПО ComsolMultyphysics [3] было проведено исследование двух типов структур: с центральной вставкой, обладающей большим по отношению к матрице и периферийным вставкам показателем преломления, и без неё. Предварительно было выполнено построение геометрии поперечного сечения МС. При моделировании варьировались показатели преломления и диаметры элементов структуры световода, а также задавались длины волн передаваемого излучения: 5, 10,6 и 14 мкм. По результатам моделирования был проведён расчет распределения энергий в поперечном сечении и оптических потерь.

Таким образом были выявлены несколько оптимальных наборов составов с высокими значениями энергий при низких оптических потерях, значения которых не превышают порядка 10^{-5} . Для изготовления МС как с центральной вставкой, так и без неё, наиболее оптимальными оказались наборы монокристаллов: $\text{AgBr}_{0,87}\text{I}_{0,13}$, AgBr , $\text{AgBr}_{0,97}\text{I}_{0,03}$ и $\text{AgBr}_{0,97}\text{I}_{0,03}$, $\text{AgCl}_{0,14}\text{Br}_{0,60}\text{I}_{0,26}$, AgBr . Для МС без центральной вставки оптимальными наборами составов являются также: $\text{AgBr}_{0,87}\text{I}_{0,13}$ и $\text{AgBr}_{0,75}\text{I}_{0,25}$; $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ и $\text{AgCl}_{0,24}\text{Br}_{0,72}\text{I}_{0,04}$; AgCl и $\text{AgCl}_{0,85}\text{Br}_{0,10}\text{I}_{0,05}$; $\text{AgCl}_{0,58}\text{Br}_{0,29}\text{I}_{0,13}$ и $\text{AgCl}_{0,30}\text{Br}_{0,47}\text{I}_{0,23}$; $\text{AgCl}_{0,14}\text{Br}_{0,60}\text{I}_{0,26}$ и $\text{AgCl}_{0,08}\text{Br}_{0,62}\text{I}_{0,30}$. Во всех наборах диаметры вставок составляли 20 мкм, а размеры шага структуры и матрицы – от 100 до 150 и от 1000 до 1120 мкм соответственно.

В результате работы были получены оптимальные значения составов и геометрических параметров для МС на основе монокристаллов системы $\text{AgCl} - \text{AgBr} - \text{AgI}$, планируемых к дальнейшему изготовлению.

Список литературы

1. Zhukova L.V., Shatunova D.V., Salimgareev D.D., Lvov A.E., Yuzhakova A.A., Korsakov A.S., Pestereva P.V. Single crystals and optical ceramics based on solid solutions of AgCl – AgBr – AgI system, //J. Crystal Growth 627 (2024).– P. 127528.
2. Millo A., Lobachinsky L., Katzir A., Single-Mode index-guiding photonic crystal fibers for the middle infrared, //IEEE Photonics Technology Letters 20 (10) (2008) 869–871.
3. Comsol, Multiphysics® V. 6.0, COMSOL AB, Stockholm, Sweden, Version 6.0, www.comsol.com

Determination of optimal spatial characteristics of photonic crystal fibers of various structures based on single crystals of the AgCl – AgBr – AgI system

¹Vorobyeva D. A., ¹Yuzhakova A. A., ¹Salimgareev D. D., ¹Lvov A. E., ^{1*}Zhukova L. V.

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, Mira street, 19.
email: *l.v.zhukova@urfu.ru

Recently, the three-component AgCl – AgBr - AgI system [1] has been studied in detail, in the form of sequential preparation, study of properties, search and substantiation of correlations between synthesis technology, structure and properties of silver halide single crystals and ceramics. Thanks to a comprehensive study of this system, wide possibilities have been achieved for varying the refractive index, photo and radiation resistance, hardness and density. All these capabilities are important for the production of high-quality, functional fiber optics in the mid-IR range, necessary for laser and diagnostic medical technologies, probe spectroscopy and thermography.

At the moment, the issue of manufacturing photonic crystal fibers [2] based on new infrared materials is relevant, since they have characteristics different from classical two-layer fibers. These properties open up new areas of application. In standard fibers, single-mode radiation transmission is possible only with a small core diameter, which complicates light input and increases non-linearity. Photonic crystal fibers, on the other hand, are fundamentally single-mode, which is achieved by "clipping" higher modes with a microstructured shell at any wavelength. Thus, the use of photonic crystal fibers can simplify optical circuits, eliminating intermode dispersion and providing high-quality transmitted signal in a wide range, simplifying the input of high-power radiation.

In the course of the work, two types of structures were studied using Comsol Multiphysics [3] software: with a central insert having a high refractive index relative to the matrix and peripheral inserts, and without it. The geometry of the photonic crystal fibers cross-section was preliminarily constructed. During the simulation, the refractive indices and diameters of the fiber structure elements were varied, and the wavelengths of the transmitted radiation were set: 5, 10.6, and 14 microns. Based on the simulation results, the energy distribution in the cross section and optical losses were calculated.

Thus, several optimal sets of compositions with high energy values at low optical losses have been identified, the values of which do not exceed the order of 10^{-5} . Single crystal sets $\text{AgBr}_{0.87}\text{I}_{0.13}$, AgBr , $\text{AgBr}_{0.97}\text{I}_{0.03}$ and $\text{AgBr}_{0.97}\text{I}_{0.03}$, $\text{AgCl}_{0.14}\text{Br}_{0.60}\text{I}_{0.26}$, AgBr proved to be the most optimal for the manufacture of MS with and without a central insert. For photonic crystal fibers without a central insert, the optimal composition sets are also: $\text{AgBr}_{0.87}\text{I}_{0.13}$ and $\text{AgBr}_{0.75}\text{I}_{0.25}$; $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ and $\text{AgCl}_{0.24}\text{Br}_{0.72}\text{I}_{0.04}$; AgCl and $\text{AgCl}_{0.85}\text{Br}_{0.10}\text{I}_{0.05}$; $\text{AgCl}_{0.58}\text{Br}_{0.29}\text{I}_{0.13}$ and $\text{AgCl}_{0.30}\text{Br}_{0.47}\text{I}_{0.23}$; $\text{AgCl}_{0.14}\text{Br}_{0.60}\text{I}_{0.26}$ and $\text{AgCl}_{0.08}\text{Br}_{0.62}\text{I}_{0.30}$. In all sets, the insert diameters were 20 microns, and the pitch sizes of the structure and matrix were from 100 to 150 and from 1000 to 1120 microns, respectively. As a result of the work, optimal values of compositions and geometric parameters for photonic crystal fibers based on single crystals of the $\text{AgCl} - \text{AgBr} - \text{AgI}$ system, planned for further production, were obtained.

References

1. L.V. Zhukova, D.V. Shatunova, D.D. Salimgareev, A.E. Lvov, A.A. Yuzhakova, A.S. Korsakov, P.V. Pestereva, Single crystals and optical ceramics based on solid solutions of $\text{AgCl} - \text{AgBr} - \text{AgI}$ system, //J. Crystal Growth 627 (2024) P. 127528.
2. A. Millo, L. Lobachinsky, A. Katzir, Single-Mode index-guiding photonic crystal fibers for the middle infrared, //IEEE Photonics Technology Letters 20 (10) (2008) 869–871.
3. Comsol, Multiphysics® V. 6.0, COMSOL AB, Stockholm, Sweden, Version 6.0, www.comsol.com

УДК 535.394.5, 53.082.539
ГРНТИ 29.19.21
БАК 1.3.6

Влияние технологии синтеза на оптические свойства

$\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54} - \text{AgBr}_{0.7}\text{I}_{0.3}$

¹Барыкина С.Е., ¹Костров В.С., ¹Львов А.Е., ¹Изотова О.М., ¹Салимгареев Д.Д., ^{1*}Жукова Л.В.
¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира 19.
email: *l.v.zhukova@urfu.ru

В недавнее время была исследована новая система твердых растворов галогенидов металлов – $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54} - \text{AgBr}_{0.7}\text{I}_{0.3}$ путем построения фазовой диаграммы и ее последующего анализа. По результатам данного исследования были определены области гомогенности и гетерогенности диаграммы, в которых возможен синтез монокристаллов и двухфазной керамики, соответственно. Следующий этап изучения твердых растворов указанной системы подразумевал разработку технологии получения материалов каждого класса, основанной на гидрохимическом синтезе высокочистой шихты по методу ТЗКС [1], выращивании монокристаллов по методу Бриджмена [1] и производству керамики с использованием направленной кристаллизации. Первый этап технологии получения является ключевым, так как позволяет очистить исходные компоненты от катионных примесей и образовать твер-

дый раствор заданного состава, однако эти результаты достигаются правильными режимами синтеза.

В случае получения материалов с матрицей на основе $\text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$ был принят маточный раствор 1,5 МНВr, характерный для системы $\text{AgBr} - \text{AgI}$ [1]. В результате синтеза шихты по режимам, аналогичным [1], и дальнейшего производства оптической керамики были получены качественные оптические материалы однородной структуры, с широким диапазоном пропускания и люминесцентными свойствами. Однако при получении материалов с матрицей на основе $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ данный режим синтеза при ТЗКС привел к получению неоднородного образца, визуально непрозрачного в видимой области. Так был получен образец состава 98 мол. % $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54} - \text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$ желтого цвета, что нехарактерно для материалов с высоким содержанием йодида таллия, с пропусканием в видимой области 5–10 %. Согласно СЭМ анализу, этот образец имел дефекты и содержал крупные агломераты ромбической фазы R-3. В результате был получен образец оптической керамики, несмотря на то, что согласно фазовой диаграмме данный состав относится к гомогенной области.

С целью повышения качества исходной шихты было принято решение об изменении состава и концентрации кислот. Было предложено два варианта: использование маточного раствора состава $\text{HBr} + \text{HI} \sim 3\text{М}$ с кислотами класса х.ч. и применение кислоты класса о.с.ч. с повышенной кислотностью – $\text{HCl} \sim 6\text{М}$. Полученные в результате синтеза образцы были подвергнуты визуальному, СЭМ и спектральному анализу. СЭМ анализ образца из шихты при маточном растворе $\text{HCl} \sim 6\text{М}$ позволил выявить равномерно распределенные агломераты ромбической фазы R-3, размер которых достигал 10 мкм, что говорит о керамической структуре. Образец имел красный цвет. Спектральное пропускание полученной оптической керамики показало незначительное увеличение прозрачности материала до 20 % в видимой и ближней ИК области.

При использовании маточного раствора $\text{HBr} + \text{HI} \sim 3\text{М}$ из полученной шихты удалось вырастить монокристалл состава 98 мол. % $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}\text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$, что было подтверждено СЭМ. Образец имел красный цвет. На полученном спектре в районе коротковолнового края поглощения наблюдается скачкообразное увеличение уровня прозрачности материала, достигающей в ближней ИК области 25%, что также свидетельствует об отсутствии центров рассеяния излучения (фазы R-3). Таким образом было экспериментально установлено, что режим ТЗКС с маточным раствором на основе $\text{HBr} + \text{HI} \sim 3\text{М}$ лучше остальных подходит для системы твердых растворов $\text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3} - \text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ с высоким молярным содержанием $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-13-00506, <https://rscf.ru/project/25-13-00506/>.

Список литературы

1. Salimgareev D., Zhukova L., Yuzhakova A., Lvov A., Korsakov A. Synthesis of the $\text{AgBr} - \text{AgI}$ system optical crystals // Opt. Mater. 2021.

The influence of synthesis technology on optical properties of

$\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54} - \text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$

¹Barykina S.E., ¹Kostrov V.S., ¹Lvov A.E., ¹Izotova O.M., ¹Salimgareev D.D., ^{1*}Zhukova L.V.

¹Ural Federal University Named After the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Ekaterinburg, 620002, Russia, Yekaterinburg, Mira St. 19.

email: *l.v.zhukova@urfu.ru

Recently, a new system of metal halide solid solutions – $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54} - \text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$ was investigated by constructing a phase diagram and its subsequent analysis. This study identified the regions of homogeneity and heterogeneity in the diagram, where the synthesis of single crystals and two-phase ceramics is possible, respectively. The next stage of studying these solid solutions involved developing a technology for obtaining materials of each class, based on hydrochemical synthesis of high-purity raw material using the method of thermozone crystallization-synthesis (TZCS) [1], single crystal growth by the Bridgman method [1], and ceramic production using directional crystallization.

The first stage of the production technology is crucial, as it allows purification of initial components from cationic impurities and formation of a solid solution with the desired composition, but these results are achieved only with correct synthesis parameters.

For materials with an $\text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$ matrix, a 1.5 M HBr mother solution typical for the AgBr – AgI system [1] was used. The raw material synthesized under conditions similar to [1] and subsequent production of optical ceramics yielded high-quality optical materials with homogeneous structure, wide transmission range, and luminescent properties. However, for materials with a $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ matrix, the same TZCS synthesis conditions resulted in a heterogeneous sample that was visually opaque in the visible range. A sample with composition 98 mol.% $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54} - \text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$ was obtained, showing yellow coloration (untypical for materials with high thallium iodide content) and only 5–10% visible light transmission. SEM analysis revealed defects and large agglomerates of rhombic R-3 phase, resulting in optical ceramic formation despite the phase diagram classifying this composition as belonging to the homogeneous region.

To improve the raw material quality, modifications of acid composition and concentration were implemented. Two approaches were proposed: using a HBr + HI ~3M mother solution with analytical grade acids, and using high-purity HCl ~6M with increased acidity. The synthesized samples underwent visual, SEM and spectral analysis. SEM analysis of the sample from charge obtained with HCl ~6M mother solution showed uniformly distributed R-3 phase agglomerates up to 10 μm in size, indicating ceramic structure. The sample appeared red. Spectral transmission of the obtained optical ceramic showed slight improvement of transparency up to 20% in visible and near-IR ranges.

Using HBr + HI ~3M mother solution enabled growth of a single crystal with composition 98 mol.% $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ in $\text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$, as confirmed by SEM. The sample was red-colored. Its transmission spectrum showed abrupt increase of transparency near the short-wavelength absorption edge, reaching 25% in near-IR, which also indicates absence of radiation scattering centers (R-3 phase). Thus, it was experimentally established that TZCS process with HBr + HI ~3M mother

solution is most suitable for $\text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$ – $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ solid solution system with high $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ molar content.

The study was supported by Russian Science Foundation grant No. 25-13-00506, <https://rscf.ru/project/25-13-00506/>.

References

1. Salimgareev D., Zhukova L., Yuzhakova A., Lvov A., Korsakov A. Synthesis of the AgBr – AgI system optical crystals // Opt. Mater. 2021.

УДК 544.6, 536.21

ГРНТИ 29.19.09, 29.19.23

БАК 1.3.8

Температурный коэффициент показателя преломления монокристаллов и керамики системы AgCl – AgBr – AgI

¹Кабыкина Е.Ю., ¹Южаков И.В., ¹Воробьева Д.А., ¹Сабитова Ю.Э., ¹Южакова А.А.,
^{1*}Жукова Л. В.

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19

email: *l.v.zhukova@urfu.ru

Показатель преломления является одним из ключевых параметров любого оптического материала, в связи с чем он обязан быть определен для новых оптических материалов, какими являются монокристаллы и керамика на основе трехкомпонентной системы AgCl – AgBr – AgI . Данные материалы предназначены для инфракрасной области спектра, лазерных технологий и пирометрии, поэтому в процессе эксплуатации могут подвергаться тепловому воздействию. Вследствие этого при внедрении новых материалов в оптические и оптоэлектронные приборы и системы требуется информация о температурном коэффициенте показателя преломления во всем рабочем диапазоне монокристаллов и керамики на основе AgCl – AgBr – AgI .

Исследование показателя преломления осуществлялось с использованием спектроскопической методики. Для регистрации влияния температуры на показатель преломления была создана новая установка для нагрева до 200 °С плоскопараллельных образцов с возможностью расчета дисперсии в диапазоне длин волн 2,0–14,0 мкм [1].

С использованием указанных методики и установки были зарегистрированы спектры пропускания с устойчивой интерференцией, которая позволила по уравнениям, описанным в [2], рассчитать показатели преломления на длинах волн $\lambda = 5,0; 8,0; 10,6; 12,0$ мкм при температурах 26; 50; 100; 150; 200 °С.

Все значения показателя преломления были объединены в зависимости от длины волны и температуры образца. Для всех составов в рамках системы AgCl – AgBr – AgI наблюдается рост показателя преломления при повышении температуры и уменьшении длины волны ($\lambda = 5$ –12 мкм). Для системы AgCl – $\text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$ характерно изменение показателя от 2,022 до 2,210. Температурный коэффициент показателя преломления составил 0,00014. Для системы AgBr – AgI показатель преломления изменяется в диапазоне от 2,174 до 2,242, а температурный коэффициент равен 0,00007. Наконец, для

системы $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{AgI}$ исследуемые значения изменялись в диапазоне 2,144–2,368. Температурный коэффициент показателя преломления в данной системе в среднем составляет 0,00013.

Полученные значения для всех составов в рамках трехкомпонентной системы $\text{AgCl} - \text{AgBr} - \text{AgI}$ коррелируют между друг другом. Для всех систем характерны низкие значения температурных коэффициентов, которые не внесут значительного искажения в оптический сигнал и могут быть учтены для высокоточных применений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства "Приоритет-2030".

Список литературы

1. Жукова Л.В. Инфракрасные кристаллы. Теория и практика: учебник / Л.В. Жукова, А.С. Корсаков, Д.Д. Салимгареев // Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2015.
2. Korsakov A. Investigating the optical properties of polycrystalline $\text{AgCl}_{1-x}\text{Br}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) and $\text{Ag}_{0,95}\text{Tl}_{0,05}\text{Br}_{0,95}\text{I}_{0,05}$ for IR engineering / Korsakov A., Vrublevsky D., Korsakov V., Zhukova L. // *Applied Optics*. – 2015. – No. 54. P. 8004–8009.

Temperature coefficient of the refractive index of single crystals and ceramics of the $\text{AgCl} - \text{AgBr} - \text{AgI}$ system

¹Kabykina E.Y., ¹Yuzhakov I.V., ¹Vorob'eva D. A., ¹Sabitova Y.E., ¹Yuzhakova A.A.,
^{1*} Zhukova L.V.

¹*Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, 19 Mira St., Yekaterinburg, 620002, Russia*
email: *l.v.zhukova@urfu.ru

The refractive index is one of the key parameters of any optical material, and therefore it must be determined for new optical materials, such as single crystals and ceramics based on the three-component $\text{AgCl} - \text{AgBr} - \text{AgI}$ system. These materials are engineered for infrared spectral applications, laser technologies, and pyrometry, hence they may experience thermal loading during operation. Consequently, integrating these materials into optical and optoelectronic devices mandates comprehensive characterization of their thermo-optic coefficient (dn/dT) across the operational temperature range for both $\text{AgCl} - \text{AgBr} - \text{AgI}$ monocrystals and ceramics.

The refractive index was studied using a spectroscopic technique. To register the effect of temperature on the refractive index, a new installation was created for heating plane-parallel samples to 200 °C with the possibility of calculating dispersion in the wavelength range of 2.0–14.0 μm [1].

Using this technique and setup, transmission spectra with stable interference were recorded, which made it possible to calculate refractive indices at wavelengths of $\lambda = 5.0; 8.0; 10.6; 12.0 \mu\text{m}$ at temperatures 26; 50; 100; 150; 200 °C using the equations described in [2].

All refractive index values were combined depending on the wavelength and temperature of the sample. For all compositions within the AgCl – AgBr – AgI system, an increase in the refractive index is observed with increasing temperature and decreasing wavelength ($\lambda = 5\text{--}12\text{ }\mu\text{m}$). The AgCl – AgBr_{0.7}I_{0.3} system is characterized by a change in the index from 2.022 to 2.210. The temperature coefficient of the refractive index was 0.00014. For the AgBr – AgI system, the refractive index varies from 2.174 to 2.242, and the temperature coefficient is 0.00007. Finally, for the AgCl_{0.25}Br_{0.75} – AgI system, the values studied varied in the range of 2.144–2.368. The temperature coefficient of the refractive index in this system averages 0.00013.

The obtained values for all compositions within the framework of the three-component AgCl – AgBr – AgI system correlate with each other. All systems are characterized by low values of temperature coefficients, which will not significantly distort the optical signal and can be taken into account for high-precision applications.

The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the Development Program of the Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin in accordance with the strategic academic leadership program "Priority 2030".

References

1. Zhukova L. V., Korsakov A. S., Salimgareev D. D., "Infrared crystals. Theory and practice" : textbook, Yekaterinburg : UMTS UPI Publishing House, 2015.
2. Korsakov A. Investigating the optical properties of polycrystalline AgCl_{1-x}Br_x ($0 \leq x \leq 1$) and Ag_{0.95}Tl_{0.05}Br_{0.95}I_{0.05} for IR engineering / Korsakov A., Vrublevsky D., Korsakov V., Zhukova L. // Applied Optics. – 2015. – No. 54. P. 8004–8009.

УДК 544.6, 536.21

ГРНТИ 29.19.09, 29.19.23

БАК 1.3.8.

Электро- и теплофизические характеристики галогенидов серебра в зависимости от температуры

¹ Южаков И. В., ¹ Южакова А. А., ¹ Беляева А. В., ¹ Бочарова Е. К., ¹ Воробьева Д. А.,
¹ Кабыкина Е. Ю., ^{1*} Жукова Л. В.

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира 19.

email: *l.v.zhukova@urfu.ru

Монокристаллы и керамика на основе галогенидов серебра представляют высокий научный интерес благодаря своим уникальным свойствам и перспективам применения в современных технологиях, в том числе в оптоэлектронике. Одними из важных функциональных параметров данных материалов являются электрофизические и теплофизические свойства, которые были исследованы в настоящей работе.

Галогенидсеребряные монокристаллы и керамика являются оптическими материалами, представляющими собой ионные проводники. В связи с этим

для исследования их ионной проводимости применялась двухконтактная схема [1], при которой регистрировались напряжение и ток, проходящий через образец, с использованием вольтметра В7-58 и специальной оснастки, включающей электроды на основе серебра, изолированные от нагревателей керамическими пластинами. Образцы представляли собой плоскопараллельные пластины толщиной $320 - 390 \pm 5$ мкм и диаметром 15 ± 3 мм, полученные методом горячего прессования. Измерения проводились от комнатной температуры до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ с шагом $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Анализ температурных зависимостей в координатах « $1000/T - \lg(\sigma T)$ » показал, что с ростом температуры проводимость увеличивается, что характерно для ионных кристаллов. В системах AgBr – AgI и AgI – $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ монокристаллы демонстрируют резкий рост проводимости ($\sigma = 1,5 - 5,9$ мСм и $1,9 - 7,9$ мСм при $170\text{ }^{\circ}\text{C}$), что связано с фазовым переходом в модификацию α -AgI, и свидетельствует о сверхионном состоянии. В отличие от монокристаллов, керамические образцы имеют более плавную зависимость проводимости от температуры и меньшие значения ($\sigma = 0,4 - 1,1$ мСм). В системе AgCl – $\text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$ проводимость возрастает постепенно, достигая $0,02-0,09$ мСм при $170\text{ }^{\circ}\text{C}$, без перехода в суперионное состояние. Такое поведение объясняется стабилизирующим действием хлорид-ионов на кристаллическую решетку.

Исследование теплоемкости и температуропроводности проводилось с использованием метода лазерной вспышки [2] в температурном диапазоне от 30 до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ с шагом $20-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Образцы представляли собой диски толщиной 2 мм и диаметром $12,5$ мм, предварительно очищенные и покрытые графитом. Оценка температурных зависимостей в диапазоне $30-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ показала снижение температуропроводности с ростом температуры, характерное для твёрдых тел. Наибольшие значения температуропроводности при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответствуют монокристаллам 14 мол. % AgCl в $\text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$ ($0,409\text{ мм}^2/\text{с}$) и 3 мол. % AgI в AgBr ($0,405\text{ мм}^2/\text{с}$), а наименьшие – для керамики 20 мол. % AgI в $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$, полученной без гидрохимического синтеза ($0,237\text{ мм}^2/\text{с}$). В исследуемой серии материалов максимальные значения теплоемкости при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ зарегистрированы для 3 мол. % AgI в AgBr ($1,986\text{ Дж}/(\text{г}\cdot\text{K})$), наименьшие – для 14 мол. % AgCl в $\text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$ ($1,648\text{ Дж}/(\text{г}\cdot\text{K})$). Для всех составов характерен рост теплоемкости при увеличении температуры. В случае теплопроводности, наибольшее ее значение соответствует 3 мол. % AgI в AgBr ($4,972\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$), а наименьшее – для керамики 20 мол. % AgI в $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ ($3,363\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$). В исследованном интервале температур теплопроводность материалов демонстрирует слабую температурную зависимость. Полученные результаты выявили закономерности в поведении галогенидов серебра, что важно для их дальнейшего применения в приборах оптоэлектроники и фотоники.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства "Приоритет-2030".

Список литературы

1. Saito T., Tatsumisago M., Minami T. Electrical conductivities of the superionic composites composed of frozen α -AgI and AgI-based glasses. // Solid State Ionics 61 (1993) 285–291.
2. Parker W. J., Jenkins R. J., Butler C. P. and Abbott G. L. Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity. // J. Appl. Phys. 1961.32(9) 1679–84.

Electrical and Thermal-Physical Characteristics of Silver Halides Depending on Temperature

¹Yuzhakov I. V., ¹Yuzhakova A. A., ¹Belyaeva A. V., ¹Bocharova E. K., ¹Vorobyeva D. A.,
¹Kabykina E. Y., ¹Zhukova L. V.

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002,
Russia, Yekaterinburg, Mira street, 19.
email: *l.v.zhukova@urfu.ru

Single crystals and ceramics based on silver halides are of high scientific interest due to their unique properties and prospects for application in modern technologies, including optoelectronics. Among the important functional parameters of these materials are the electrophysical and thermophysical properties, which were investigated in this work.

Silver halide single crystals and ceramics are optical materials that are ionic conductors. In this regard, a two-contact scheme [1] was used to study their ionic conductivity, in which voltage and current passing through the sample were recorded using a V7-58 voltmeter and special equipment, including silver-based electrodes insulated from heaters by ceramic plates. The samples were plane-parallel plates with a thickness of $320\text{--}390 \pm 5 \mu\text{m}$ and a diameter of $15 \pm 3 \text{ mm}$, obtained by hot pressing. Measurements were carried out from room temperature to 200°C in 5°C increments. Analysis of the temperature dependences in the " $1000/T - \lg(\sigma T)$ " coordinates showed that conductivity increases with temperature, which is typical for ionic crystals. In the $\text{AgBr} - \text{AgI}$ and $\text{AgI} - \text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ systems, single crystals exhibit a sharp increase in conductivity ($\sigma = 1.5\text{--}5.9 \text{ mS}$ and $1.9\text{--}7.9 \text{ mS}$ at 170°C), which is associated with a phase transition to the α -AgI modification and indicates a superionic state. Unlike single crystals, ceramic samples have a smoother dependence of conductivity on temperature and lower values ($\sigma = 0.4\text{--}1.1 \text{ mS}$). In the $\text{AgCl} - \text{AgBr}_{0.7}\text{I}_{0.3}$ system, conductivity increases gradually, reaching $0.02\text{--}0.09 \text{ mS}$ at 170°C , without transitioning to a superionic state. This behavior is explained by the stabilizing effect of chloride ions on the crystal lattice. The study of heat capacity and thermal diffusivity was carried out using the laser flash method [2] in the temperature range from 30 to 200°C in $20\text{--}50^\circ\text{C}$ increments. The samples were disks with a thickness of 2 mm and a diameter of 12.5 mm , preliminarily cleaned and coated with graphite. Evaluation of the temperature dependences in the $30\text{--}200^\circ\text{C}$ range showed a decrease in thermal diffusivity with increasing temperature, which is typical for solids. The highest thermal diffusivity values at 30°C correspond to single crystals of $14 \text{ mol.}\% \text{ AgCl}$ in $\text{AgBr}_{0.7}\text{I}_{0.3}$ ($0.409 \text{ mm}^2/\text{s}$) and $3 \text{ mol.}\% \text{ AgI}$ in AgBr ($0.405 \text{ mm}^2/\text{s}$), while the lowest are for ceramics with $20 \text{ mol.}\% \text{ AgI}$ in $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$, obtained without hydrochemical synthesis ($0.237 \text{ mm}^2/\text{s}$). In the studied series of materials, the highest

heat capacity values at 30 °C were recorded for 3 mol.% AgI in AgBr (1.986 J/(g·K)), and the lowest for 14 mol.% AgCl in AgBr_{0,7}I_{0,3} (1.648 J/(g·K)). For all compositions, an increase in heat capacity with rising temperature is characteristic. In the case of thermal conductivity, its highest value corresponds to 3 mol.% AgI in AgBr (4.972 W/(m·K)), and the lowest to ceramics with 20 mol.% AgI in AgCl_{0,25}Br_{0,75} (3.363 W/(m·K)). In the studied temperature range, the thermal conductivity of the materials exhibits a weak temperature dependence. The obtained results revealed patterns in the behavior of silver halides, which is important for their further application in optoelectronic and photonic devices. The study was carried out with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the Development Program of Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, in accordance with the strategic academic leadership program "Priority-2030."

References

1. T. Saito, M. Tatsumisago, T. Minami, Electrical conductivities of the superionic composites composed of frozen a-AgI and AgI-based glasses. // Solid State Ionics 61 (1993) 285–291.
2. Parker W. J., Jenkins R. J., Butler C. P. and Abbott G. L. Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity. // J. Appl. Phys. 1961.32(9) 1679–84.

УДК 549.451, 535-15, 535.016

ГРНТИ 29.31.21, 29.31.27

БАК 1.3.6

Химическая обработка галогенидов серебра и таллия

¹ Каркавина Е. Д., ¹ Салимгареев Д. Д., ¹ Кучеренко Ф. М., ¹ Львов А. Е., ^{1*} Жукова Л. В.

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира 19.

email: *l.v.zhukova@urfu.ru

Оптические кристаллы на основе твердых растворов галогенидов серебра и одновалентного таллия являются перспективными материалами для создания нового поколения волоконно-оптических приборов, работающих в среднем инфракрасном диапазоне. Эти материалы обладают широким спектром пропускания [1, 2], а также высокой устойчивостью к воздействию ультрафиолетового и радиационного облучения. Данные материалы являются пластичными, негигроскопичными вследствие этого пригодны для изготовления световодов среднего ИК диапазона.

Одним из ограничивающих факторов получения оптических световодов высокого качества является обработка поверхности торцов. В связи с пластичностью материалов галогенидов металлов при механической обработке могут возникать проблемы, связанные с образованием нарушенного слоя. Нарушенный слой сильно снижает лазерную устойчивость изготовленных волоконных изделий, а также сказывается на оптических свойствах [2]. В связи

с этим встала задача в комплексном исследовании процесса травления монокристаллов и оптической керамики галогенидов серебра и таллия (I).

В рамках представленной работы подбор растворов для травления проводился для двух классов оптических материалов. Представителем класса галогенидов серебра был выбран монокристаллический образец состава $\text{AgBr}_{0,95}\text{I}_{0,05}$, а для систем второго класса все исследования проводили на монокристаллах $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$. Для проведения исследований были использованы следующие составы травителей: соляная кислота, спирт этиловый, вода дистиллированная в соотношении компонентов 1:1:2; гидроксид аммония, спирт этиловый, вода дистиллированная в соотношении компонентов 1:1:2; соляная кислота, гидроксид аммония, вода дистиллированная, в соотношении компонентов 1:1:2; гидроксид аммония, вода дистиллированная в соотношении 1:1, с добавлением 0,25 мл пероксида водорода 37,5 %; водные растворы тиосульфата натрия, концентраций 5, 10, 15 и 30 %. Составы травителей подбирались исходя из данных о растворимости галогенидов серебра и одновалентного таллия. Методика травления заключалась в следующем. Предварительно отполированную и отшлифованную заготовку подвергали травлению в описанных растворах в течение 1–5 мин., после чего заготовку промывали в течение минуты в трех промывочных емкостях с дистиллированной водой [1]. По результатам эксперимента наиболее эффективным травителем для систем галогенидов серебра стал 10 % водный раствор тиосульфата натрия. После травления в данном растворителе в течение двух минут наблюдалось увеличение коэффициента пропускания образца в диапазоне длин волн от 490 до 1000 нм на 10–20 % (в зависимости от длины волны). Для систем, на основе твердых растворов галогенидов таллия травление в растворах соляной кислоты и спирта, а также в растворе соляной кислоты и гидроксида аммония приводит к удалению нарушенного слоя, без существенного просветления кристалла. В остальных травителях наблюдалось ухудшение качества материалов (их деградация) и образования различных пленок на поверхности образца.

По результатам проведенных работ подобраны составы травителей, позволяющие удалить нарушенный слой и добиться просветления исследуемых образцов двух кристаллических систем. В дальнейшем, на основе проведенных работ будут разработаны технологические режимы обработки торцов инфракрасных световодов на основе галогенидов серебра и одновалентного таллия.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-72-00096, <https://rscf.ru/project/25-72-00096/>.

Список литературы

1. Жукова Л. В. Инфракрасные кристаллы. Теория и практика : учебник / Л. В. Жукова, А. С. Корсаков, Д. Д. Салимгареев. – Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2015. – 215 с.
2. Жукова Л. В. Волоконные световоды для среднего инфракрасного диапазона / Л. В. Жукова, А. С. Корсаков, А. Е. Львов, Д. Д. Салимгареев. – Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2016. – 247 с.

Silver and thallium halides chemical treatment

¹ Karkavina E.D., ¹ Salimgareev D.D., ¹ Kucherenko F.M., ¹ Lvov A.E., ^{1*} Zhukova L.V.

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, Mira street, 19.

email: *l.v.zhukova@urfu.ru

Optical crystals based on solid solutions of silver halides and monovalent thallium are promising materials for creating a new generation of fiber-optic devices operating in the mid-infrared range. These materials have a wide transmission spectrum [1, 2], as well as high resistance to ultraviolet and radiation exposure. These materials are plastic, non-hygroscopic, and therefore suitable for the manufacture of light guides in the mid-IR range.

One of the limiting factors in obtaining high-quality optical fibers is the surface treatment of the edges. Due to the ductility of metal halide materials, mechanical treatment may cause problems associated with the formation of a broken layer. The broken layer greatly reduces the laser stability of the manufactured fiber products and also affects the optical properties [2]. In this regard, the task arose in a comprehensive study of the etching process of single crystals and optical ceramics of silver and thallium(I) halides.

In this work, the selection of etching solutions was carried out for two classes of optical materials. As a representative of the silver halide class was chosen single crystal sample of the $\text{AgBr}_{0.95}\text{I}_{0.05}$ composition, and for the second-class systems all research was carried out on single crystals $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$. The following etchant compositions were used for the research: hydrochloric acid, ethanol, distilled water in a ratio of components 1:1:2; ammonium hydroxide, ethyl alcohol, distilled water in a ratio of 1:1:2 components; hydrochloric acid, ammonium hydroxide, distilled water, in a ratio of 1:1:2 components; ammonium hydroxide, distilled water in a ratio of 1:1, with the addition of 0.25 ml of hydrogen peroxide 37.5%; water solutions of sodium thiosulfate, concentrations 5, 10, 15 and 30%.

The etchant compositions were selected based on data on the solubility of silver halides and monovalent thallium. The etching technique was as follows: the pre-polished sample of crystal was etched in the described solutions for 1-5 minutes, after which the sample was washed for a minute in three tanks with distilled water [1]. According to the experimental results, a 10% water solution of sodium thiosulfate became the most effective etchant for silver halide systems.

After etching in this solvent for two minutes, an increase in the sample transmission coefficient in the wavelength range from 490 to 1000 nm was observed by 10-20% (depending on the wavelength). For systems based on solid solutions of thallium halides, etching in solutions of hydrochloric acid and alcohol, as well as in a solution of hydrochloric acid and ammonium hydroxide, leads to the removal of the disturbed layer, without significant clarification of the crystal. In the remaining etchants, deterioration of the quality of materials (their degradation) and the formation of various films on the surface of the sample were observed.

Based on the results of the work carried out, etchant compositions were selected that make it possible to remove the disturbed layer and achieve enlightenment of the researched samples of two crystal systems. In the future, based on the work

carried out, technological modes for processing the edges of infrared light guides based on silver halides and monovalent thallium will be developed.

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 25-72-00096, <https://rscf.ru/project/25-72-00096/>.

References

1. Zhukova L.V. Infrared Crystals. Theory and Practice: Textbook /L.V. Zhukova, A.S. Korsakov, D.D. Salimgareev.– Yekaterinburg: UMI UPI Publishing House, 2015.– 215 p.
2. Zhukova L. V. Fiber Optic Waveguides for the Mid-Infrared Range / L. V. Zhukova, A. S. Korsakov, A. E. Lvov, D. D. Salimgareev. – Yekaterinburg: UMI UPI Publishing House, 2016. – 247 p.

УДК 544.2, 544.01, 544.016.2

ГРНТИ 29.19.15, 31.15.17

БАК 1.4.4, 2.6.7

Исследование фазовой диаграммы системы $\text{TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ – AgBr для получения инфракрасной оптики

1 Космачев В.О., 1 Пестерева П. В., 1 Львов А.Е., 1 Малышкина Е.Н., 1 Вольхина Е.А.,
1* Жукова Л.В.

¹Уральский Федеральный Университет, 620062, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира 19
email: * l.v.zhukova@urfu.ru

Для развития инфракрасной оптики требуется разработка материалов, обладающих высокими функциональными свойствами. Кристаллы и керамика на основе галогенидов серебра и таллия (I) обладают широким спектром пропускания от 0.4 до 60.0 мкм без окон поглощения в зависимости от системы и состава, негигроскопичностью, устойчивостью к УФ-излучению и радиационному облучению, пластичностью, что позволяет изготавливать на их основе оптические волокна [1].

Кристаллы $\text{TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ и AgBr пригодны для изготовления различных оптических окон, линз и призм. Данные кристаллы являются фотостойкими, однако световоды на их основе неустойчивы. Например, волокна на основе $\text{TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ со временем перекристаллизуются, вследствие чего становятся хрупкими. Поэтому представляло интерес изучить фазовую диаграмму системы $\text{TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ – AgBr с целью получения новых твердых растворов, соединяющих наилучшие свойства индивидуальных вышеуказанных соединений, позволяющих изготовить устойчивые, долговечные ИК световоды.

Для изучения фазовой диаграммы применялся метод дифференциально-термического анализа (ДТА). Исследование проводили с шагом в 5 и 10 мас. % AgBr в $\text{TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ при температуре от 25 до 450 °С (от 298,15 до 723,15 К) при давлении 1 атм.

Фазовая диаграмма системы $\text{TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ – AgBr имеет неограниченную растворимость в жидком состоянии (расплаве системы) и ограниченную растворимость в твердом состоянии. При комнатной температуре она характеризуется двумя областями гомогенности, в которых можно выращивать монокристаллы: в концентрационном диапазоне от 0 до 7 мас. % AgBr в $\text{TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ присутствует твердый раствор системы на основе $\text{TiCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ структурного типа $\text{Pm}\bar{3}\text{m}$ (тип CsCl), а в диапазоне от 96 до 100 мас. % AgBr

в $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ присутствует твердый раствор системы на основе AgBr структурного типа $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$ (тип NaCl). Также присутствуют области гетерогенности в диапазоне от 7 до 96 мас. % AgBr в $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$, в которых возможно получать оптическую керамику со структурами $\text{Pm}\bar{3}\text{m} + \text{R-3}$ и $\text{Fm}\bar{3}\text{m} + \text{R-3}$. Фазовые составы, типы кристаллических решеток и параметры при комнатной температуре могут быть определены рентгенофазовым анализом (РФА), однако на данный момент он не проводился. Указанные фазовые составы и пространственные группы являются предположительными и основаны на структурных типах граничных твердых растворов и близких системах галогенидов металлов. Непосредственно РФА является следующим этапом работы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства "Приоритет-2030".

Список литературы

1. Жукова Л. В. Инфракрасные кристаллы. Теория и практика: учебник / Л. В. Жукова, А. С. Корсаков, Д. Д. Салимгареев. – Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2015. – 215 с.

Phase Diagram Investigation of the $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ - AgBr System for Infrared Optics Applications

¹Kosmachev V.O., ¹Pestereva P.V., ¹Lvov A.E., ¹Malyshkina E.N., ¹Volkhina E.A.,
^{1*} Zhukova L.V.

¹ Ural Federal University, 620062, Russia, Yekaterinburg, 19 Mira Str
email: * l.v.zhukova@urfu.ru

The advancement of infrared optics necessitates the development of materials with enhanced functional characteristics. Crystals and ceramics based on silver and thallium(I) halides exhibit a broad transmission spectrum (0.4–60.0 μm) devoid of absorption bands, contingent on their composition and structure. These materials demonstrate non-hygroscopicity, stability under UV and ionizing radiation, and mechanical flexibility, enabling their use in the fabrication of optical fibers [1].

The $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ and AgBr crystals are suitable for manufacturing various optical windows, lenses, and prisms. While these crystals exhibit photostability, their derived optical fibers demonstrate poor stability. For instance, $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ -based fibers undergo recrystallization over time, resulting in increased brittleness. Consequently, investigation of the phase diagram for the $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ – AgBr system was undertaken to develop novel solid solutions that combine the optimal properties of the individual aforementioned compounds, enabling production of stable, durable IR optical fibers.

The phase diagram was investigated using differential thermal analysis (DTA). The study was conducted with 5 and 10 wt.% AgBr in $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ across a temperature range of 25–450°C (298.15–723.15 K) at a constant pressure of 1 atm. The phase diagram of the $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ – AgBr system demonstrates unlimited solubility in the liquid state (system melt) and limited solubility in the solid state.

At room temperature, it is characterized by two homogeneity regions suitable for growing single crystals: in the concentration range from 0 to 7 wt.% AgBr in $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$, there exists a solid solution of the system based on the $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ (Pm3m structural type or CsCl-type), while in the range from 96 to 100 wt.% AgBr in $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$, a solid solution of the system based on the AgBr (Fm3m structural type or NaCl-type) is present. Heterogeneity regions also exist in the range from 7 to 96 wt.% AgBr in $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$, where optical ceramics with Pm3m+R-3 and Fm3m+R-3 structures can be synthesized.

The phase compositions, crystal lattice types, and room-temperature parameters could be determined by X-ray diffraction analysis (XRD), though this analysis has not yet been performed. The indicated phase compositions and space groups are tentative and based on the structural types of boundary solid solutions and related metal halide systems. Direct XRD constitutes the next stage of investigation. This research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the Development Program of Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, in accordance with the strategic academic leadership program "Priority 2030".

References

1. L. V. Zhukova, A. S. Korsakov, D. D. Salimgareev, "Infrared Crystals: Theory and Practice," Textbook. - Yekaterinburg: UMC UPI Publishing House, 2015. - 215 p.

УДК 549.452, 620.178.152.341, 531.754

ГРНТИ 29.19.03, 29.19.13

БАК 1.3.8

Определение физических свойств галогенидов серебра

¹ Пестерева П. В., ¹ Южакова А. А., ¹ Южаков И. В., ¹ Шварц С. К., ^{1*} Жукова Л. В.

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира 19.

email: *l.v.zhukova@urfu.ru

Получение информации о физических свойствах новых материалов является неотъемлемой частью процесса их исследования. В недавнее время были получены монокристаллы и керамика на основе новых твердых растворов в рамках системы $\text{AgCl} - \text{AgBr} - \text{AgI}$, которые являются перспективными оптическими материалами для широкоспектральных ИК и ТГц систем.

Экспериментальные образцы, синтезированные на первых этапах исследования, имеют малую массу до 20 г, поэтому измерение их плотности путем гидростатического взвешивания не представляется возможным с достаточной точностью. Однако все образцы являются однородными по высоте и диаметру, изотропными (в случае монокристаллов, решетка NaCl), этому для них возможно определение рентгенографической плотности [1].

Результаты расчетов плотности (ρ) показали следующие значения: для системы $\text{AgBr} - \text{AgI}$ – $\rho = 6,482 - 6,612$ г/см³, $\text{AgI} - \text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ $\rho = 6,129 - 6,331$ г/см³, $\text{AgCl} - \text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$ $\rho = 5,717 - 6,471$ г/см³. Плотность увеличивается с ростом доли AgI в твердом растворе для всех изученных систем. Это связано

с большим, по отношению к ионам Cl^- и Br^- , размером ионов йода, что приводит к увеличению плотности материалов. Двухфазная керамика имеет малую долю гексагональной фазы $\beta\text{-AgI}$ в кубической матрице типа NaCl . В связи с этим значения ее плотности были определены по параметру решетки кубической фазы и приняты как приблизительные значения. При росте доли ромбической фазы в керамике параметры кристаллической решетки уменьшаются, что ведёт к уплотнению материала. Данная закономерность соответствует общей тенденции в керамических системах, где высокая плотность обусловлена плотной упаковкой зёрен в микроструктуре.

Следующим этапом является исследование микротвердости. Из множества методов измерения твердости [2], метод Виккерса является наиболее универсальным. Для проведения исследования микротвердости по Виккерсу (HV) оптических материалов использовалась установка ПМТ-3М [3], которая была откалибрована путем определения твердости кристалла NaCl по нагрузкам 20, 50, 100, 200, 500 г. Полученные для NaCl значения соответствовали справочным данным. Исследование микротвердости происходило путем вдавливания алмазного индентора с углом при вершине 136° в исследуемый материал под нагрузкой 0.98 N (100 г) с выдержкой 15 с и расчетом величины диагоналей отпечатков.

Проведённые измерения показали следующие значения микротвёрдости: в случае системы $\text{AgBr} - \text{AgI} - 15,77\text{--}23,16$ HV, $\text{AgI} - \text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - 19,4\text{--}35,82$ HV, $\text{AgCl} - \text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3} - 22,31\text{--}38,98$ HV. Зависимость микротвёрдости от состава в первую очередь обусловлена эффектом твёрдорастворного упрочнения. Введение второго и третьего анионов в кристаллическую решетку путем замещения приводит к искажению решетки, повышению сил взаимодействия между ионами, увеличению сопротивления деформации и, как следствие, повышению микротвёрдости. Результаты исследования плотности и микротвердости представляют собой информацию фундаментального характера и составляют основу для изготовления оптики на основе твердых растворов системы $\text{AgCl} - \text{AgBr} - \text{AgI}$.

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. Бараз В.Р. Строение и физические свойства кристаллов // УГТУ-УПИ, 2009.
2. Куперкова Е. И. Физика твердого тела. Сборник заданий: учебное пособие // ТПУ. 2014.
3. Теплоухов. А.А. Измерение микротвердости поверхностных слоев материалов: метод. указания // ОмГТУ. 2017.

Determination of Physical Properties of Silver Halides

¹Pestereva P. V., ¹Yuzhakova A. A., ¹Yuzhakov I. V., ¹ Schwartz S. K., ^{1*}Zhukova L. V.

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, Mira street, 19.

email: *l.v.zhukova@urfu.ru

Obtaining information about the physical properties of new materials is an integral part of the process of their study. Recently, monocrystals and ceramics based

on new solid solutions within the system AgCl – AgBr – AgI, were obtained, which are prospective optical materials for wide-spectrum IR and THz systems. The experimental samples synthesized at the initial stages of the study have a small mass up to 20 g, therefore measuring their density by hydrostatic weighing is not possible with sufficient accuracy. However, all samples are homogeneous in height and diameter, isotropic (in case of single crystals, NaCl lattice), therefore for them determination of X-ray density is possible [1].

The results of density (ρ) calculations showed the following values: for the system AgBr – AgI $\rho = 6.482\text{--}6.612\text{ g/cm}^3$, AgI – AgCl_{0.25}Br_{0.75} $\rho = 6.129\text{--}6.331\text{ g/cm}^3$, AgCl – AgBr_{0.7}I_{0.3} $\rho = 5.717\text{--}6.471\text{ g/cm}^3$. The density increases with growth of the AgI fraction in the solid solution for all studied systems. This is connected with the larger, relative to Cl⁻ and Br⁻ ions, size of iodine ions, which leads to increase of material density. The two-phase ceramics have a small fraction of hexagonal β -AgI phase in a cubic NaCl-type matrix. In connection with this, its density values were determined by the lattice parameter of the cubic phase and taken as approximate values. With growth of the orthorhombic phase fraction in ceramics, the crystal lattice parameters decrease, which leads to densification of the material. This regularity corresponds to the general tendency in ceramic systems, where high density is conditioned by dense packing of grains in the microstructure. The next stage is the study of microhardness. From the multitude of hardness measurement methods [2], the Vickers method is the most universal. For conducting the study of microhardness by Vickers (HV) of optical materials, the PMT-3M setup [3] was used, which was calibrated by determining the hardness of NaCl crystal under loads of 20, 50, 100, 200, 500 g. The obtained values for NaCl corresponded to reference data. The microhardness study was conducted by indenting a diamond indenter with apex angle of 136° into the studied material under load of 0.98 N (100 g) with dwell time of 15 s and calculation of imprint diagonal lengths.

The conducted measurements showed the following microhardness values: in case of system AgBr – AgI – 15.77–23.16 HV, AgI – AgCl_{0.25}Br_{0.75} – 19.4–35.82 HV, AgCl – AgBr_{0.7}I_{0.3} – 22.31–38.98 HV. The dependence of microhardness on composition is primarily conditioned by the solid-solution strengthening effect. Introduction of second and third anions into the crystal lattice by substitution leads to distortion of the lattice, increase of interaction forces between ions, increase of deformation resistance and, as a consequence, increase of microhardness.

The results of density and microhardness studies represent information of fundamental character and form the basis for fabrication of optics based on solid solutions of the AgCl – AgBr – AgI system.

The work was performed within the framework of agreement with the Ministry of Science and Higher Education No. 075-03-2023-006 dated 16.01.2023 (project number FEUZ-2023-0021).

References

1. Baraz V.R. Structure and Physical Properties of Crystals // USTU-UPI. 2009.
2. Kuperkova E. I. Solid State Physics. Problem Book: Textbook // TPU. 2014.
3. Teploukhov A.A. Measurement of Microhardness of Material Surface Layers: Guidelines // OmSTU. 2017.

УДК 004.942

ГРНТИ 28.23.15; 28.23.37

ВАК 2.2.12

Биотехническая система реабилитации постинсультных больных с гибридными обратными связями

¹Петрунина Е.В., ^{2*}Ермаков Д.М., ²Ефремов М.Ю.

¹Московский политехнический университет, 107023, г. Россия, г. Москва,
ул. Большая Семёновская, 38

²Юго-Западный Государственный Университет, 305040, Россия, г. Курск,
ул. 50 лет Октября 94

email: petrulinaelenav@gmail.com, *dmitriyermakov98@yandex.ru

Одной из ведущих причин инвалидизации во всем мире остаются последствия острого нарушения мозгового кровообращения, включающие в себя сенсорно-двигательные, когнитивные и эмоциональные нарушения [1]. Основой успешного восстановления пациентов является мониторинг эффективности всех этапов реабилитации [2]. Учитывая важным аспектом является объективизация эффективности восстановительного лечения [3]. В настоящее время для этого используются специализированные шкалы и тесты, результатом которых является субъективная оценка, основанная на опыте и квалификации медицинского специалиста.

Объективизировать этот процесс может помочь использование специализированных носимых устройств, реализующих биотехнические обратные связи, а также классификаторов суррогатных маркеров, построенных на их основе, позволяющих осуществлять мониторинг динамики функционального состояния паретичных конечностей в процессе процедуры реабилитации. Однако контроль только функционального состояния паретичных конечностей не позволяет полностью объективизировать мониторинг эффективности реабилитации, так как не учитывает общего функционального состояния пациента, которое может быть определено через латентную переменную, например, адаптационный потенциал.

Для контроля функционального состояния паретичных конечностей в качестве носимых сенсоров, используемых в качестве датчиков биотехнической обратной связи, использовались датчики электромиосигнала, снимаемого с мышц паретичных конечностей, а также датчики электродермального ответа, используемого в качестве сенсора реакции на воображаемые движения. Для стимуляции воображаемых движений использовались клипы виртуальной реальности.

Для оценки адаптационного потенциала использовались хорошо известные модели классификаторов сердечно-сосудистого риска. Слабыми классификаторами в этих моделях являлись одноместные функции принадлежности по предикторам: x_1 – возраст, x_2 – наследственная отягощенность, x_3 – уровень артериального давления, x_4 – ожирение, x_5 – показатели вариационной пульсометрии. Для агрегирования оценки функционального состояния паретичных конечностей и адаптационного потенциала пациента использовалась система нечеткого логического вывода [4].

Апробация биотехнической системы реабилитации постинсультных больных показала повышение эффективность реабилитации по шкале LEFS на 11 %. Эффективность использования в процесс реабилитации мониторинга мышечной усталости подтверждена тестированием статолокомоторной сферы по шкале Тинетти, показатели которой в экспериментальной группе, в среднем, на 10% превысили показатели в контрольной группе.

Список литературы

1. Филист С.А. Кодовые образы сигналов электроэнцефалограммы для управления робототехническими устройствами посредством интерфейса мозг-компьютер / С.А. Филист, Е.В. Петрунина, А.А. Трифонов, А.В. Серебровский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал. – 2019. – Том 7. № 1. – С. 67-79.
2. Биотехническая система персонифицированной реабилитации пациентов с ограничением двигательных функций [Электронный ресурс]/С.А. Филист, Е.В. Петрунина, А.Е. Пшеничный, Д.А. Ермаков, Р.А. Крупчатников, В.В. Серебровский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2025. – Т. 13, № 1. – С. 1-18. – DOI: 10.26102/2310-6018/2025.48.1.002.
3. Трифонов, А.А. Двухуровневая нейросетевая модель дешифратора электромиосигнала в системе управления вертикализацией экзоскелета/ А.А. Трифонов, С.А. Филист, А.А. Кузьмин, В.В. Жилин, Е.В. Петрунина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2020. – № 4 (52) – С.99-111.
4. Гибридные интеллектуальные технологии для управления реабилитационными и терапевтическими процедурами/Е.В. Петрунина, О.В. Шаталова, Р.А. Томакова, С.А. Филист. – Старый Оскол: ТНТ, 2025. – 332 с.

Biotechnical rehabilitation system for post-stroke patients with hybrid feedback

¹Petrulina E.V., ²Ermakov D.M., ²Efremov M.Yu.

¹Moscow Polytechnic University, 107023, Russia, Moscow, BolshayaSemenovskaya St., 38

²Southwest State University, 305000, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94

email: petrulinaelenav@gmail.com, *dmityermakov98@yandex.ru

One of the leading causes of disability worldwide remains the consequences of acute cerebrovascular accident, including sensory-motor, cognitive and emotional disorders [1]. The basis for successful patient recovery is monitoring the effectiveness of all stages of rehabilitation [2]. Considering an important aspect is the objectification of the effectiveness of rehabilitation treatment [3]. Currently, specialized scales and tests are used for this, the result of which is a subjective assessment based on the experience and qualifications of a medical specialist.

The use of specialized wearable devices that implement biotechnical feedback, as well as classifiers of surrogate markers built on their basis, allowing monitoring the dynamics of the functional state of paretic limbs during the rehabilitation procedure, can help to objectify this process. However, monitoring only the functional state of paretic limbs does not allow for full objectification of the monitoring of the effectiveness of rehabilitation, since it does not take into account the general functional state of the patient, which can be determined through a latent variable, for example, adaptation potential. To control the functional state of paretic limbs, wearable sensors used as biotechnical feedback sensors were used:

sensors of electromyosignal taken from the muscles of paretic limbs, as well as sensors of electrodermal response used as a sensor of reaction to imaginary movements. Virtual reality clips were used to stimulate imaginary movements.

Well-known models of cardiovascular risk classifiers were used to assess the adaptive potential. Weak classifiers in these models were single-place membership functions for the predictors: x_2 - age, x_2 - hereditary burden, x_3 - blood pressure level, x_4 - obesity, x_5 - variation pulsometry indicators. A fuzzy logical inference system was used to aggregate the assessment of the functional state of paretic limbs and the patient's adaptive potential [4].

Testing of the biotechnical rehabilitation system for post-stroke patients showed an 11% increase in the effectiveness of rehabilitation according to the LEFS scale. The effectiveness of using muscle fatigue monitoring in the rehabilitation process was confirmed by testing the statolocomotor sphere according to the Tinetti scale, the indicators of which in the experimental group, on average, exceeded the indicators in the control group by 10%.

References

1. Filist, S.A. Code images of electroencephalogram signals for controlling robotic devices via a brain-computer interface / S.A. Filist, E.V. Petrunina, A.A. Trifonov, A.V. Serebrovsky // Modeling, optimization and information technology. Scientific journal. - 2019. - V. 7. No. 1. - P. 67-79. <http://moit.vivt.ru/>. doi: 10.26102/2310-6018/2019.24.1.025.
2. Biotechnical system of personalized rehabilitation of patients with limited motor functions [Electronic resource] / S.A. Filist, E.V. Petrunina, A.E. Pshenichny, D.A. Ermakov, R.A. Krupchatnikov, V.V. Serebrovsky // Modeling, optimization and information technology. - 2025. - V. 13, No. 1. - P. 1-18. - DOI: 10.26102/2310-6018/2025.48.1.002. - URL: <https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=1787>.
3. Trifonov, A.A. Two-level neural network model of an electromyosignal decoder in the exoskeleton verticalization control system / A.A. Trifonov, S.A. Filist, A.A. Kuzmin, V.V. Zhilin, E.V. Petrunina // Caspian Journal: Management and High Technologies. - 2020. - No. 4 (52) - P.99-111.
4. Hybrid intelligent technologies for managing rehabilitation and therapeutic procedures / E.V. Petrunina, O.V. Shatalova, R.A. Tomakova, S.A. Filist. - Stary Oskol: TNT, 2025. - 332 p.

УДК 004.942

ГРНТИ 28.23.15; 28.23.37

БАК 2.2.12

Метод оценки уровня адаптации периферического кровоснабжения кисти руки при работе с виброинструментом

Кныш О.А.

Юго-Западный государственный университет, 305000, Россия, г. Курск,

ул. 50 лет Октября 94

email: kstu-bmi@yandex.ru

Одной из распространенных профессиональных патологий у работников, имеющих контакт рабочей руки с виброинструментами, считается вибрационная болезнь (ВБ). В исследуемом случае мишенью является система периферического кровоснабжения кисти руки (СПККР). При этом в качестве

математического аппарата исследований рекомендуют использовать методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил [1 - 3]. Для синтеза нечетких моделей разработан метод оценки уровня адаптации СПККР при работе с виброинструментом, состоящий из следующей последовательности действий.

1. Для оценки функционального состояния и функционального резерва СПККР выбираются измеряемый параметр, способ борьбы с артефактами и тип нагрузочной пробы. В данной работе в качестве измерительного прибора использовался пульсоксиметр, одеваемый на палец руки и имеющие связь с компьютером. Функциональное состояние (ФС) локальной СПККР FS_{BK} определяется по формуле:

$$FS_{BK} = PK = S_{II}/S_H, \quad (1)$$

где S_{II} - средняя площадь под регистрируемой фотоплетизмограммой (ФПГ) за заданный промежуток времени t_{II} ; S_H - номинальное значение площади ФПГ.

Функциональный резерв (ФР) локальной системы кровоснабжения верхних конечностей FR_{BK} рассчитывается по формуле:

$$FR_{BK} = \frac{S_1 - S_2}{S_H} = FS_{BK1} - FS_{BK2}, \quad (2)$$

где FR_{BK} - функциональный резерв СПККР, определяемый по средней площади волн ФПГ; S_1 - средняя площадь волн ФПГ, определенная до холодовой пробы; S_2 - средняя площадь волн ФПГ, определенная после холодовой пробы; FS_{BK1} - ФС локальной системы кровоснабжения верхних конечностей, определяемое до холодовой пробы, FS_{BK2} - ФС локальной СПККР, определяемое после холодовой пробы.

В качестве третьей составляющей для оценки уровня адаптационного потенциала локальной СПККР эксперты выбрали время восстановления кровоснабжения после холодовой пробы T_B , определяемое как время вхождения модуля разности $|S_1 - S_2|$ в заданную экспертами «трубку» ΔS :

$$T_{B|S_1 - S_2| \leq \Delta S} \quad (3)$$

2. Формируется список показателей Q_q , характеризующих уровень адаптационного потенциала локальной СПККР, и производится оценка их информативности с использованием теории измерения латентных переменных с моделью Г. Раша [1].

3. Производится синтез нормирующих функций уровня адаптации локальной системы кровоснабжения кисти рабочей руки

$$f_{авк}(Q_q); f_{авк}(FS_{BK}); f_{авк}(FR_{BK}); f_{авк}(T_B).$$

4. С учетом типа и характера задач, для которых в дальнейшем будут использоваться показатели, характеризующие уровень адаптационного потенциала локальной СПККР, выбирается модель агрегатора, выход которого определяет окончательный уровень адаптации СПККР.

Список литературы

1. 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.

2. Корневский Н.А., Лукаш О.Ю., Сафронов Р.И., Родионова С.Н. Сипливый Г.В. Оценка уровня адаптационного потенциала центральной нервной системы у инженерно-технического персонала // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение Серия: Техника и технологии. – 2024. Т.14. № 4. – С. 164 -180.
3. Сафронов Р.И. Синтеза нечетких моделей оценки влияния производственной среды на состояние здоровья работников по факторам трудовой адаптации // Системный анализ и управление в биомедицинских системах.– 2023.– Т. 22.– № 3. – С. 89-98.

Method for assessing the level of adaptation of the peripheral blood supply of the hand when working with a vibrating instrument

Knysh O.A.

Southwest State University, 305000, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94

email: kstu-bmi@yandex.ru

One of the common occupational pathologies among workers whose working hand comes into contact with vibrating tools is vibration disease (VD). In the case under study, the target is the hand peripheral blood supply system (HBPCS). In this case, it is recommended to use the methodology of synthesizing hybrid fuzzy decision rules as a mathematical apparatus for research [1, 2, 3]. To synthesize fuzzy models, a method has been developed for assessing the adaptation level of the HBPCS when working with a vibrating tool, consisting of the following sequence of actions. 1. To assess the functional state and functional reserve of the HBPCS, the measured parameter, the method for combating artifacts, and the type of load test are selected. In this work, a pulse oximeter worn on a finger and connected to a computer was used as a measuring device. The functional state (FS) of the local HBPCS FS_{BK} is determined by the formula

$$FS_{BK} = PK = S_H / S_H, \quad (1)$$

where S_H is the average area under the recorded photoplethysmogram (PPG) for a given period of time t_H ; S_H is the nominal value of the PPG area.

The functional reserve (FR) of the local blood supply system of the upper limbs FR_{BK} is calculated using the formula:

$$FR_{BK} = \frac{S_1 - S_2}{S_H} = FS_{BK1} - FS_{BK2}, \quad (2)$$

where FR_{BK} is the functional reserve of the HBPCS, determined by the average area of the PPG waves; S_1 is the average area of the PPG waves, determined before the cold test; S_2 is the average area of the PPG waves, determined after the cold test; FS_{BK1} is the FS of the local blood supply system of the upper extremities, determined before the cold test, FS_{BK2} is the FS of the local HBPCS, determined after the cold test.

As the third component for assessing the level of adaptation potential of the local HBPCS, the experts chose the time of restoration of blood supply after the cold test T_B , defined as the time of entry of the modulus of the difference $|S_1 - S_2|$ into the “tube” ΔS specified by the experts:

$$T_{B|S_1 - S_2| \leq \Delta S} \quad (3)$$

2. A list of indicators Q_q , characterizing the level of adaptation potential of the local HBPCS, is formed, and their information content is assessed using the theory of measuring latent variables with the model of G. Rasch [1].
3. A synthesis of normalizing functions of the adaptation level of the local blood supply system of the working hand is performed

$$f_{aBK}(Q_q); f_{aBK}(FS_{BK}); f_{aBK}(FR_{BK}); f_{aBK}(T_B).$$

4. Taking into account the type and nature of the tasks for which the indicators characterizing the level of adaptation potential of the local HBPCS will be used in the future, an aggregator model is selected, the output of which determines the final adaptation level of the HBPCS.

References

1. Korenevsky N.A., Rodionova S.N., Khripina I.I. Methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems: monograph / Stary Oskol: TNT, 2019. - 472 p.
2. Korenevsky N.A., LukashO.Yu., Safronov R.I., Rodionova S.N. Siplivyy G.V. Assessment of the level of adaptive potential of the central nervous system in engineering and technical personnel // Bulletin of the South-West State University. Series: Management, computing, informatics. Medical instrument making Series: Engineering and technology. - 2024. V. 14. No. 4. - P. 164-180.
3. Safronov R.I. Synthesis of fuzzy models for assessing the impact of the production environment on the health of workers based on labor adaptation factors // Systems analysis and management in biomedical systems. 2023. V. 22. No. 3. - P. 89-98.

УДК 004.942

ГРНТИ 28.23.15; 28.23.37

БАК 2.2.12

Метод сегментации изображений видеоряда при неравномерной освещенности снимка

*Кондрашов Д.С., Коробков С.В., Кузьмин А.А.

*Юго-Западный государственный университет, 305000, Россия, г. Курск,
ул. 50 лет Октября 94*

email: *kondrashov012@mail.ru, s.v.korobkov@gmail.com, ku3bmin@gmail.com

Одной из проблем сегментации и классификации изображений является разная фоновая яркость его сегментов. Это проявляется, в частности, при классификации изображений видеоряда, в которых освещенность сегментов снимка меняется при изменении угла обзора видеорегистратора. Рассмотрим решение этой проблемы на примере эндоскопических ультразвуковых исследований (ЭУЗИ) поджелудочной железы (ПЖ). Особенность ЭУЗИ видеоряда заключается в том, что для обработки каждого кадра требуется исследование и анализ всего видеоряда. Поэтому врачу приходится анализировать множество разноразмерных и разномасштабных изображений, которые могут быть трудно сопоставимы между собой [1].

При анализе эндоскопических изображений с заболеваниями ПЖ эхографическая текстура выступает одним из важных диагностических признаков

отображения внутренней гистологической структуры. Максимальное приближение ультразвукового датчика к ПЖ в ходе проведения процедуры эндоскопического УЗИ позволяет подробно оценить её эхотекстуру. Основными информативными признаками эхоструктуры выступают: размеры, эхогенность, форма, ориентация, взаиморасположение микроструктур, изменения которых свидетельствуют о характере патологического процесса. Решением проблемы различной эхогенности снимков видеоряда решается посредством метода сегментации снимка на сегменты с однородной яркостью, предложенного в [2, 3].

В основу отбора релевантных кадров из видеоряда ЭУЗИ изображений ПЖ, обеспечивающие их автоматизированный отбор, положен метод анализа снимков с помощью двух динамических окон различного масштаба. Первое окно сканирует выделенную вторым окном область, а второе окно определяет область сканирования в пределах всего кадра, что позволяет учитывать пространственные особенности снимка ПЖ. Внутри каждого окна производится расчет статистических показателей: мода, среднее значение и среднеквадратичное отклонение. На каждом шаге перемещения первого окна применяется нейросетевой классификатор, который принимает решение о принадлежности пикселя кадра, соответствующего координате первого окна, к релевантному классу, и формирует тепловую карту, положительных результатов, относящихся к классу «Область интереса». После завершения анализа всех окон формируется итоговая тепловая карта на эндоскопическом ультразвуковом изображении ПЖ.

Программное обеспечение (ПО) для сегментации ЭУЗИ изображений ПЖ разработано на основе базы данных локальных окон с изображениями эхотекстур ПЖ в состоянии нормы и с признаками патологии, которые выявлены на релевантных кадрах видеорядов ЭУЗИ. ПО позволяет в диалоговом режиме разделить изображение на локальные окна для последующего выделения областей интереса и их классификации.

Эксперименты на контрольных выборках показали диагностическую эффективность по классам сегментов «нет области интереса» - «область интереса» не ниже 90%, а по классам сегментов «норма» - «патология» не ниже 91%.

Список литературы

1. Филист С.А. Автоматизированная система для классификации снимков видеопотоков / С.А. Филист, М.В. Шевцов, В.А. Белозеров Д.С. Кондрашов, И.Н. Горбачев, Н.А. Корсунский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2021. – Т. 11, № 4. – С. 85-105.
2. Филист С.А. Метод каскадной сегментации рентгенограмм молочной железы/ С.А. Филист, А.Р. Дабагов, И.А. Малютина, Д.С. Кондрашов // Известия ЮЗГУ. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – Т.9. № 1(30) – С.49-61.
3. Малютина И.А. Методы и алгоритмы анализа рентгенограмм грудной клетки, использующие локальные окна в задачах обнаружения патологий/ И.А. Малютина, А.А. Кузьмин, О.В. Шаталова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии.-2017.-№3(39).-С.131-138.

Method of video sequence image segmentation under uneven illumination of the image

*Kondrashov D.S., Korobkov S.V., Kuzmin A.A.

Southwest State University, 305000, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94

email: *kondrashov012@mail.ru, s.v.korobkov@gmail.com, ku3bmin@gmail.com

One of the problems of image segmentation and classification is the different background brightness of its segments. This is manifested, in particular, in the classification of video images, in which the illumination of the image segments changes when the viewing angle of the video recorder changes. Let us consider the solution to this problem using the example of endoscopic ultrasound examinations (EUS) of the pancreas (PG). The peculiarity of EUS video is that the processing of each frame requires the study and analysis of the entire video sequence. Therefore, the doctor has to analyze many images of different angles and different scales, which can be difficult to compare with [1].

When analyzing endoscopic images of pancreatic diseases, the echographic texture is one of the important diagnostic features of displaying the internal histological structure. The maximum approximation of the ultrasound sensor to the pancreas during the endoscopic ultrasound procedure allows for a detailed assessment of its echotexture. The main informative features of the echostructure are: size, echogenicity, shape, orientation, mutual arrangement of microstructures, changes in which indicate the nature of the pathological process. The problem of different echogenicity of video sequence images is solved by the method of image segmentation into segments with uniform brightness, proposed in [2, 3].

The basis for selecting relevant frames from the video sequence of EUS images of the pancreas, ensuring their automated selection, is the method of analyzing images using two dynamic windows of different scales. The first window scans the area selected by the second window, and the second window determines the scanning area within the entire frame, which allows taking into account the spatial features of the pancreas image. Within each window, the following statistical indicators are calculated: mode, mean value, and standard deviation. At each step of moving the first window, a neural network classifier is used, which decides whether a pixel of the frame corresponding to the coordinate of the first window belongs to the relevant class, and forms a heat map of positive results related to the "Area of interest" class. After completing the analysis of all windows, a final heat map is formed on the endoscopic ultrasound image of the pancreas.

The software for segmentation of EUS images of the pancreas is developed based on a database of local windows with images of echotextures of the pancreas in the normal state and with signs of pathology, which are identified in the relevant frames of EUS video sequences. The software allows you to interactively divide the image into local windows for subsequent selection of areas of interest and their classification with subsequent saving of the results in the database.

Experiments on control samples showed a diagnostic efficiency for the segment classes "no area of interest" - "area of interest" of at least 90%, and for the segment classes "norm" - "pathology" of at least 91%.

References

1. Filist, S.A. Automated system for classifying video stream images / S.A. Filist, M.V. Shevtsov, V.A. Belozerov, D.S. Kondrashov, I.N. Gorbachev, N.A. Korsunsky // Bulletin of the South-West State University. Series: Control, computing, informatics. Medical instrument making. - 2021. - Vol. 11, No. 4. - P. 85-105.
2. Filist, S.A. Method of cascade segmentation of breast radiographs / S.A. Filist, A.R. Dabagov, I.A. Malyutina, D.S. Kondrashov // Bulletin of the South-West State University. Series: Control, computing, informatics. Medical instrument making. - 2019. - Vol. 9. № 1(30) – P.49-61.
3. Malyutina, I.A. Methods and algorithms for analyzing chest X-ray images using local windows in pathology detection tasks / I.A. Malyutina, A.A. Kuzmin, O.V. Shatalova // Caspian Journal: Management and High Technologies.-2017.-№3(39).-P.131-138.

УДК 004.942

ГРНТИ 28.23.15; 28.23.37

ВАК 2.2.12

Синтез нечетких моделей прогнозирования невротических расстройств, вызываемых условиями труда инженеров конструкторов

Лукаш О.Ю.

Юго-Западный государственный университет, 305000, Россия, г. Курск,

ул. 50 лет Октября 94

email: kstu-bmi@yandex.ru

В данной работе рассматривается вопрос повышения качества прогнозирования невротических расстройств за счет объединения подходов, принятых в традиционной профпатологии и адаптологии, реализуемых с помощью технологии мягких вычислений и, в частности, методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил [1, 2, 3]. Для синтеза нечетких моделей прогнозирования невротических расстройств, вызываемых условиями труда инженеров конструкторов, разработан метод, состоящий из следующей последовательности действий.

1. С учетом требований квалиметрии формируется экспертная группа, компетентная в области выбранной методологии, адаптологии и профпатологии умственного труда, включая инженерно- конструкторскую деятельность.
2. Для выбранной патологии определяется состав факторов риска и признаков наличия исследуемого класса заболеваний включая традиционно используемые в медицине признаки и показатели характеризующие адаптационный потенциал организма в целом и адаптационного потенциала и (или) уровней защиты систем и органов мишеней.
3. При синтезе модели оценки адаптационного потенциала в качестве базового элемента моделей оценки уровней адаптации используются нормирующие функции уровня адаптации $f_r(S_q)$, где r - идентификатор уровня оценки адаптационного потенциала (АП), S_q - информативный параметр с идентификатором q по которому определяется АП.

4. При синтезе решающих правил прогнозирования появления и развития неврозов у работников, занимающихся инженерно- конструкторской деятельностью в качестве факторов риска предлагается использовать длительное или чрезмерно интенсивное психоэмоциональное напряжение (ПЭН); длительное или чрезмерно интенсивное умственное утомление; общие факторы риска появления и развития нервных болезней; состояние механизмов адаптации; уровень напряженности труда; воздействие электромагнитного поля компьютеров в сочетании с другими источниками электромагнитного излучения.

Используя показатели, описывающие эти факторы риска, синтезируется набор функций принадлежности, определяющих частные уверенности в медицинском риске по показателям: $Y P_{\Pi}$ – уровень ПЭН; $Y U_{\Pi}$ –уровень длительного умственного утомления; $Y T_{\Pi}$ – общих факторов риска появления и развития нервных болезней; $Y A_{\Pi}$ –состояние механизмов адаптации; $Y N_{\Pi}$ – напряженности труда; $U E P_{i_i}$ - характеризующим воздействия электромагнитных полей частотного диапазона i .

Полученные частные прогностические модели на основе рекомендаций по выбору типа агрегаторов AG_{YPN} [1]:

$$YPN = AG_{YPN}[Y P_{\Pi}, Y U_{\Pi}, Y T_{\Pi}, Y A_{\Pi}, Y N_{\Pi}, U E P_{i_i}] \quad (1)$$

В ходе проведенных статистических испытаний было показано, что по всем показателям качество принимаемых решений превышает величину 0,9.

Список литературы

1. 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.
2. Корневский Н.А., Лукаш О.Ю., Сафронов Р.И., Родионова С.Н. Сипливый Г.В. Оценка уровня адаптационного потенциала центральной нервной системы у инженерно- технического персонала // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение Серия: Техника и технологии. – 2024. Т.14. № 4. - С. 164 -180.
3. Сафронов Р.И. Синтеза нечетких моделей оценки влияния производственной среды на состояние здоровья работников по факторам трудовой адаптации // Системный анализ и управление в биомедицинских системах.– 2023. –Т. 22. – № 3. - С. 89-98.

Synthesis of fuzzy models for predicting neurotic disorders caused by working conditions of design engineers

Lukash O.Yu.

Southwest State University, 305000, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94

email: kstu-bmi@yandex.ru

This paper considers the issue of improving the quality of forecasting neurotic disorders by combining approaches adopted in traditional occupational pathology and adaptology, implemented using soft computing technology and, in particular,

the methodology for synthesizing hybrid fuzzy decision rules [1, 2, 3]. To synthesize fuzzy models for forecasting neurotic disorders caused by the working conditions of design engineers, a method has been developed consisting of the following sequence of actions.

1. Taking into account the requirements of qualimetry, an expert group competent in the field of the selected methodology, adaptology and occupational pathology of mental work, including engineering and design activities, is formed.
2. For the selected pathology, the composition of risk factors and signs of the presence of the studied class of diseases is determined, including signs and indicators traditionally used in medicine characterizing the adaptive potential of the organism as a whole and the adaptive potential and (or) levels of protection of target systems and organs.
3. When synthesizing the model for assessing the adaptive potential, the normalizing functions of the adaptation level $f_r(S_q)$, are used as a basic element of the models for assessing adaptation levels, where r is the identifier of the level of assessment of the adaptive potential (AP), S_q is an informative parameter with the identifier q by which the AP is determined.
4. When synthesizing decision rules for predicting the occurrence and development of neuroses in workers engaged in engineering and design activities, it is proposed to use as risk factors long-term or excessively intense psychoemotional stress (PES); long-term or excessively intense mental fatigue; general risk factors for the occurrence and development of nervous diseases; state of adaptation mechanisms; level of labor intensity; exposure to the electromagnetic field of computers in combination with other sources of electromagnetic radiation.

Using the indicators describing these risk factors, a set of membership functions is synthesized that determine the partial certainties in medical risk according to the indicators: YP_{π} - PES level; YU_{π} - level of prolonged mental fatigue; YT_{π} - general risk factors for the occurrence and development of nervous diseases; YA_{π} - the state of adaptation mechanisms; YN_{π} - work intensity; UEP_{ℓ_i} - characterizing the impact of electromagnetic fields of the i frequency range.

The obtained private prognostic models based on recommendations for choosing the type of aggregators UEP_{ℓ_i} [1]:

$$YPN = AG_{YPN}[YP_{\pi}, YU_{\pi}, YT_{\pi}, YA_{\pi}, YN_{\pi}, UEP_{\ell_i}] \quad (1)$$

During the statistical tests, it was shown that for all indicators the quality of decisions made exceeds 0.9.

References

1. Korenevsky N.A., Rodionova S.N., Khripina I.I. Methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems: monograph / Stary Oskol: TNT, 2019. - 472 p.
2. Korenevsky N.A., LukashO.Yu., Safronov R.I., Rodionova S.N. Siplivyy G.V. Assessment of the level of adaptive potential of the central nervous system in engineering and technical personnel // Bulletin of the South-West State University. Series: Management, computing, informatics. Medical instrument making Series: Engineering and technology. - 2024. V. 14. No. 4. - P. 164-180.

3. Safronov R.I. Synthesis of fuzzy models for assessing the impact of the production environment on the health of workers based on labor adaptation factors // Systems analysis and management in biomedical systems. 2023. V. 22. No. 3. - P. 89-98.

УДК 004.89

ГРНТИ 28.23.15; 28.23.37

БАК 2.2.12

Классификатор медицинского риска на основе многоэлектродного и многочастотного зондирования грудной клетки

Лях А.В.

Юго-Западный государственный университет, 305040, Россия,

г. Курск, ул. 50 лет Октября 94

email: ShatOlg@mail.ru

Дифференциальная диагностика поражений легких, особенно в период эпидемического распространения респираторных инфекций, является весьма сложной задачей. При поступлении пациента в инфекционный госпиталь часто отсутствует анамнез и рентгенологи, и клиницисты делают, так называемые, «Систематические ошибки доступности». Эти ошибки в медицине связаны с тенденцией оценивать диагнозы рэндомно в зависимости от эпидемиологической ситуации и недавно обследованных пациентов.

В последнее время использование методов биоимпедансного анализа для диагностики заболеваний легких стало новым направлением, поскольку было найдено больше доказательств того, что патологические образования имеют значительно отличающийся импеданс от нормальных тканей [1, 2].

Для биоимпедансной визуализации импеданса грудной клетки было предложено решить прямую и обратную задачи. Прямая задача решается в предположении, что распределение проводимости биообъекта известно, а неизвестны потенциалы, определяемые напряжением, приложенным к одному из отведений биообъекта.

Обратная задача полагает, что неизвестны локальные проводимости биоматериала, а известны напряжения в узлах многополюсника, который образуют эти проводимости. В результате решения обратной задачи получаем вектор дескрипторов, который является входным вектором для классификатора медицинского риска.

Обратная задача решается отдельно для каждого электродного пояса. Полученные при этом дескрипторы позволяют синтезировать слабый классификатор, определяющий медицинский риск по биоимпедансной модели в каждом сечении грудной клетки.

Аппаратные средства для биоимпедансного анализа включают: устройство сбора данных для биоимпедансной спектроскопии на основе электродных поясов, образующих матрицу электродов. Программное обеспечение включает ряд интерфейсных окон, предназначенных для настройки и отображения измеряемых параметров в графической форме, обучения и тестирования полносвязных нейронных сетей, предназначенных для построения импедансных моделей биоматериала и формирования дескрипторов по всем отведениям электродной матрицы [3].

Для экспериментального исследования классификатора была сформирована экспериментальная группа по 60 пациентов на класс, в которую вошли больные пневмонией с четко поставленным диагнозом, и группа волонтеров без легочных патологий. Для получения данных биоимпедансного анализа на грудную клетку пациента надевался электродный пояс и определялись графики Коула в соответствующих отведениях. Показатели качества классификации лежали в пределах от 70% до 83% по разным метрикам и на разных контрольных выборках.

Таким образом, полученные результаты позволяют создавать систем поддержки принятия клинических решений по прогнозированию и диагностике заболеваний легких, основанные на многомерном многочастотном зондировании и нейросетевых моделях.

Список литературы

1. Мультимодальный классификатор медицинского риска на основе многоэлектродного биоимпедансного преобразователя / А.В. Серебровский, Н.А. Корсунский, А.В. Лях, В.Н. Мишустин, О.В. Шаталова, Л.В. Шульга // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2024. – Т. 14. – № 3. – С. 121-143.
2. Модели импеданса биоматериала 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. – С. 1-14.
3. Филист, С.А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений / С.А. Филист, О.В. Шаталова, М.А. Ефремов // Нейрокомпьютеры. Разработка и применение. – 2014. – №6. – С. 35-39.

Medical risk classifier based on multielectrode and multifrequency chest sounding

Lyakh A.V.

Southwest State University, 305040, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94

email: ranjetjjj@gmail.co

Differential diagnosis of lung lesions, especially during the epidemic spread of respiratory infections, is a very complex task. When a patient is admitted to an infectious diseases hospital, anamnesis is often missing and radiologists and clinicians make so-called "Systematic availability errors". These errors in medicine are associated with the tendency to evaluate diagnoses randomly depending on the epidemiological situation and recently examined patients.

Recently, the use of bioimpedance analysis methods for the diagnosis of lung diseases has become a new direction, since more evidence has been found that pathological formations have significantly different impedance from normal tissues [1, 2]. For bioimpedance visualization of the impedance of the chest, it was proposed to solve the direct and inverse problems. The direct problem is solved under the assumption that the conductivity distribution of the bioobject is known, and the potentials determined by the voltage applied to one of the leads of the bioobject are unknown. The inverse problem assumes that the local conductivities of the bio-material are unknown, but the voltages in the nodes of the multipole formed by

these conductivities are known. As a result of solving the inverse problem, we obtain a vector of descriptors, which is an input vector for the medical risk classifier. The inverse problem is solved separately for each electrode belt. The descriptors obtained in this way allow us to synthesize a weak classifier that determines the medical risk using a bioimpedance model in each section of the chest. Hardware for bioimpedance analysis includes: a device for collecting data for bioimpedance spectroscopy based on electrode belts forming an electrode matrix. The software includes a number of interface windows designed to configure and display the measured parameters in graphical form, train and test fully connected neural networks designed to build impedance models of biomaterial and generate descriptors for all leads of the electrode matrix [3].

For the experimental study of the classifier, an experimental group of 60 patients per class was formed, which included pneumonia patients with a clearly established diagnosis, and a group of volunteers without pulmonary pathologies. To obtain bioimpedance analysis data, an electrode belt was placed on the patient's chest and Cole graphs were determined in the corresponding leads. The classification quality indicators ranged from 70% to 83% for different metrics and on different control samples. Thus, the obtained results allow us to create systems for supporting clinical decision-making for the prognosis and diagnosis of lung diseases, based on multidimensional multi-frequency probing and neural network models.

References

1. Multimodal medical risk classifier based on a multi-electrode bioimpedance transducer / A.V. Serebrovsky, N.A. Korsunsky, A.V. Lyakh, V.N. Mishustin, O.V. Shatalova, L.V. Shulga // Bulletin of the South-West State University. Series: Control, computing, informatics. Medical instrument making. - 2024. - Vol. 14, No. 3. - P. 121-143.
2. Biomaterial impedance models for generating descriptors in intelligent systems for diagnosing infectious diseases / A.V. Miroshnikov, N.S. Stadnichenko, O.V. Shatalova, S.A. Filist // Modeling, optimization and information technology. - 2020. - V. 8, No. 4. - P. 1-14.
3. Filist, S.A. Hybrid neural network with macrolayers for medical applications / S.A. Filist, O.V. Shatalova, M.A. Efremov // Neurocomputers. Development and application. - 2014. - No. 6. - P. 35-39.

УДК 004.942

ГРНТИ 28.23.15; 28.23.37

ВАК 2.2.12

Нейросетевой классификатор электрической активности мозга для оценки функционального состояния человека-оператора

Рыбаков А.Ю.

Юго-Западный государственный университет, 305000, Россия, г. Курск,

ул. 50 лет Октября 94

email: kstu-bmi@yandex.ru

Несмотря на высокий уровень научно-технического прогресса, во многих эргатических системах ряд функций, выполняемых человеком-оператором (ЧО),

не подлежит автоматизации. Поэтому возникает необходимость в оценке адаптационного потенциала ЧО в процессе операторской деятельности [1]. Поиск интегрального показателя, характеризующего функциональное состояние ЧО, сложен и весьма проблематичен, поэтому в этих целях целесообразно использовать обучаемые классификаторы с дескрипторами, полученными на основе частотного анализа электроэнцефалосигнала (ЭЭС) [2, 3].

Предлагаемый метод дешифрации ЭЭС состоит из следующих этапов:

- получение, по меньшей мере, одного ЭЭС отведения;
- обработка, по меньшей мере, одного ЭЭС посредством сегментации ЭЭС на пересекающиеся или на не пересекающиеся окна;
- формирование для каждого сегмента, полученного на предыдущем шаге, набора признаков ЭЭС (дескрипторов) для полносвязной нейронной сети посредством многоуровневого компаратора, число уровней которого определяется размерностью вектора дескрипторов, а компоненты вектора дескрипторов вычисляются согласно выражению

$$FD_i = \frac{1}{TW} \sum_{\tau=1}^{TW} y_{\tau}, \quad (1)$$

где TW – ширина окна в отсчетах, i – номер порога компаратора, $i = \overline{1, N}$; τ – номер отсчета в i -м окне,

$$y_{\tau} = \begin{cases} 1, & \text{если } |x_{\tau}| \geq \Theta_i; \\ 0, & \text{если } |x_{\tau}| < \Theta_i; \end{cases} \quad (2)$$

Θ_i – величина i -го порога; x_{τ} – отсчет ЭЭС в окне TW .

- передача набора дескрипторов ЭЭС каждого сегмента по каналу передачи данных на обучаемый классификатор, выполненный в виде нейронной сети [2, 3].

Для обучения нейронной сети была создана экспериментальная группа операторов информационно насыщенных систем, с однородными клиническими и демографическими показателями. Дескрипторы согласно (1) и (2) формировались перед рабочей сменой и после окончания рабочей смены. Так как число операторов ограничено возможностями доступа, то с целью семплирования данных, с каждого оператора осуществлялся сбор данных в течении пяти дней. В итоге было получена обучающая выборка в размере ста объектов, а также контрольная выборка в размере тридцати объектов.

В качестве классификатора использовалась многослойная полносвязная нейронная сеть прямого распространения sN – мерным дескриптором. На входе использовались два нейрона с функцией активации использовалась функция *ReLU*. Показатели качества полученного классификатора (ошибки первого и второго рода и общее число ошибок) не опускались ниже значений 0,86.

Список литературы

1. Петрунина Е.В. Классификационные модели адаптационного потенциала живой системы [Электронный ресурс] / Е.В. Петрунина, Р.И. Сафронов, А.Е. Пшеничный, С.А. Филист, М.Т. Шехине // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. - 2024. – Т. 12, № 2. - С. 1-22. - DOI: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.010. – URL: <https://moitvivi.ru/ru/journal/pdf?id=1547>.

2. Филист С.А. Кодовые образы сигналов электроэнцефалограммы для управления робототехническими устройствами посредством интерфейса мозг-компьютер/ С.А. Филист, Е.В. Петрунина, А.А. Трифонов, А.В. Серебровский//Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал. – 2019. – Т. 7. №1. – С. 67-79. <http://moit.vivt.ru/>. doi: 10.26102/2310-6018/2019.24.1.025.
3. Мяснянкин М.Б. Формирование дескрипторов для классификаторов функционального состояния системы дыхания на основе спектрального анализа электрокардиосигнала / М.Б. Мяснянкин, С.А. Филист, А.В. Киселев, А.А. Кузьмин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2020. – Т. 10, №3/4. – С. 8-28.

Neural network classifier of electrical brain activity for assessing the functional state of a human operator

Rybakov A.Yu.

Southwest State University, 305000, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94

email: kstu-bmi@yandex.ru

Despite the high level of scientific and technological progress, in many ergatic systems a number of functions performed by a human operator (HO) cannot be automated. Therefore, there is a need to assess the adaptive potential of the HO in the process of operator activity [1]. The search for an integral indicator characterizing the functional state of the HO is complex and very problematic, therefore, for these purposes, it is advisable to use trainable classifiers with descriptors obtained on the basis of frequency analysis of the electroencephalogram (EES) [2, 3].

The proposed method for decoding the EES consists of the following stages:

- obtaining at least one EES lead;
- processing at least one EES by segmenting the EES into intersecting or non-intersecting windows; - formation for each segment obtained in the previous step of a set of EES features (descriptors) for a fully connected neural network using a multi-level comparator, the number of levels of which is determined by the dimension of the descriptor vector, and the components of the descriptor vector are calculated according to the expression

$$FD_i = \frac{1}{TW} \sum_{\tau=1}^{TW} y_{\tau}, \quad (1)$$

where TW is the window width in counts, i – is the comparator threshold number, $i = \overline{1, N}$; τ – is the count number in the i -th window,

$$y_{\tau} = \begin{cases} 1, & \text{if } |x_{\tau}| \geq \Theta_i; \\ 0, & \text{if } |x_{\tau}| < \Theta_i; \end{cases} \quad (2)$$

Θ_i – the value of the i -th threshold; x_{τ} – is the EES reading in the window TW ;

- transfer of a set of descriptors of the EES of each segment via the data transmission channel to the trainable classifier implemented as a neural network [2, 3].

To train the neural network, an experimental group of operators of information-rich systems with homogeneous clinical and demographic indicators was created. Descriptors according to (1) and (2) were formed before the work shift and after

the end of the work shift. Since the number of operators is limited by access capabilities, then for the purpose of data sampling, data was collected from each operator for five days. As a result, a training sample of one hundred objects was obtained, as well as a control sample of thirty objects.

A multilayer fully connected direct propagation neural network with an N -dimensional descriptor was used as a classifier. Two neurons with the *ReLU* activation function were used at the input. The quality indicators of the resulting classifier (errors of the first and second kind and the total number of errors) did not fall below 0.86.

References

1. Zinchenko V.P., Leonova A.B., Strelkov Yu.K. Psychometrics of 1. Petrunina, E.V. Classification models of the adaptive potential of a living system [Electronic resource] / E.V. Petrunina, R.I. Safronov, A.E. Pshenichny, S.A. Filist, M.T. Shekhine // Modeling, optimization and information technology. - 2024. - V. 12, No. 2. - P. 1-22. - DOI: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.010.URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1547>.
2. Filist, S.A. Code images of electroencephalogram signals for controlling robotic devices via a brain-computer interface / S.A. Filist, E.V. Petrunina, A.A. Trifonov, A.V. Serebrovsky//Modeling, optimization and information technology. Scientific journal. - 2019. - V.7. No.1.-P.67-79. <http://moit.vivt.ru/doi:10.26102/2310-6018/2019.24.1.025>.
3. Myasnyankin, M.B. Formation of descriptors for classifiers of the functional state of the respiratory system based on spectral analysis of the electrocardiogram / M.B. Myasnyankin, S.A. Filist, A.V. Kiselev, A.A. Kuzmin // Bulletin of the South-West State University. Series Management, computing, informatics. Medical instrumentation. - 2020. - V. 10, No. 3/4. - P. 8-28.

УДК 004.942

ГРНТИ 28.23.15; 28.23.37

ВАК 2.2.12

Показатели фазовой синхронизации как дескрипторы классификаторов функционального состояния живых систем

¹*Скворцов М.К., ¹Фатнев Д.А., ²Старцев Е.А.

¹Юго-Западный государственный университет, 305000, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94

²Воронежский государственный технический университет, 394006 Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

email: *m.k.skvortsov@gmail.com, starcev_evgeniy@mail.ru

Изучению проблемы генерации электрических импульсов нейронными популяциями, в частности их синхронной активности, посвящен целый ряд как теоретических, так и экспериментальных научных работ. В частности, генерация таких жизненно важных ритмов как дыхание, осуществляется сетью синаптически связанных пейсмекерных нейронов в нижней части ствола мозга. В связи с этим, проблема исследования синхронной активности клеток в различных, в том числе изменяющихся во времени, нейронных структурах представляет собой одну из центральных проблем нейробиологии. В

основе определения фазовой синхронизации лежит понятие мгновенной фазы исследуемого сигнала. Чтобы использовать ее в качестве дескриптора для оценки функционального состояния (ФС) системы, она должна однозначно характеризовать состояние системы [1, 2].

С целью увеличения объема полезной информации, извлекаемой из биологических сигналов, в исследуемой живой системе целесообразно использовать две подсистемы, процессы в которых наблюдаются в виде синхронизированных квазипериодических сигналов $x_1(t)$ и $x_2(t)$. Осуществив синхронную запись этих сигналов в течение времени T , определяемом целями исследований и природой исследуемой системы, в координатах $[x_1(t), x_2(t)]$ может быть построен фазовый портрет исследуемой динамической системы на интервале T . Фазовый портрет - это замкнутая кривая, которая на фазовой плоскости формирует некоторую фигуру. Площадь, занимаемая этой фигурой, назовем фазовым портретом, который может быть околонтурен тем или иным методом, с последующим определением спектра этого контура [3]. Спектральные коэффициенты этого контура используем в качестве дескрипторов для нейросетевого классификатора, обученного на по множеству пар $\{x_1(t) - x_2(t)\}$. Например, комплексные коэффициенты Фурье полученной замкнутой кривой используются в качестве входного вектора обучаемого классификатора, построенного в пространстве дескрипторов Фурье, что позволяет осуществлять классификацию исследуемой системы.

Эффект предложенного способа формирования дескрипторов для нейросетевого классификатора ФС подсистемы живой системы или системы в целом заключается в расширении получаемой информации о сложных динамических системах за счет учета взаимодействия их подсистем. Применительно к живым системам это обеспечивает более качественное диагностирование заболеваний сердечнососудистой системы человека, что позволяет оказывать адекватные терапевтические воздействия на пациента, у которого выявлена возможность возникновения жизнеопасных ситуаций.

Данный способ апробирован при оценки риска развития артериальной гипертензии на основе выбранных факторов риска. Полученные с помощью данного способа результаты позволяют помочь врачу общей практики, терапевту провести раннюю профилактику, направленную на предупреждение развития заболевания, тем самым способствуя снижению случаев первичной заболеваемости артериальной гипертензией.

Список литературы

1. Киселев А.В. Метод классификации функционального состояния системы дыхания, основанный на контроле показателей кардиореспираторного синхронизма/А.В. Киселев, С.А. Филист, Х.А.Х. Алавси, В.В. Песок, А.Е. Пшеничный, О.В. Шаталова //Биомедицинская радиоэлектроника. – 2024. – Т. 27. – № 2. – С. 5-12.
2. Филист С.А. Классификации функционального состояния системы дыхания на основе анализа кардиореспираторного синхронизма / С.А. Филист, А.А. Кузьмин, Хайдер Х.А. Алавси, В.В. Песок, А.Е. Пшеничный // International Journal of Open Information Technologies. – 2023. – Vol. 11. – No.4. – P. 21-28.

3. Коровин Е.Н. Контурный анализ фазовых плоскостей квазипериодических биосигналов/ Е.Н. Коровин, С.А. Филист, В.И. Серебровский, Л.В. Шульга //Медицинская техника. - 2013. - № 4 (280). С. 24-26.

Phase synchronization indicators as descriptors of classifiers of the functional state of living systems

¹*Skvortsov M.K., ¹Fatnev D.A., ²Startsev E.A.

¹Southwest State University, 305000, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94

²Voronezh State Technical University, 394006 Russia, Voronezh,
20th Anniversary of October St., 84

email: *m.k.skvortsov@gmail.com, starcev_evgeniy@mail.ru

One of the leading causes of disability worldwide remains the A number of theoretical and experimental scientific works are devoted to the study of the problem of generation of electrical impulses by neuronal populations, in particular their synchronous activity. In particular, the generation of such vital rhythms as breathing is carried out by a network of synaptically connected pacemaker neurons in the lower part of the brainstem. In this regard, the problem of studying the synchronous activity of cells in various neural structures, including those changing over time, is one of the central problems of neurobiology. The definition of phase synchronization is based on the concept of the instantaneous phase of the signal under study. In order to use it as a descriptor for assessing the functional state (FS) of a system, it must unambiguously characterize the state of the system [1, 2]. In order to increase the volume of useful information extracted from biological signals, it is advisable to use two subsystems in the living system under study, the processes in which are observed in the form of synchronized quasi-periodic signals $x_1(t)$ and $x_2(t)$. Having carried out a synchronous recording of these signals during a time T determined by the objectives of the research and the nature of the system under study, a phase portrait of the dynamic system under study can be constructed in the coordinates $[x_1(t), x_2(t)]$ over the interval T . A phase portrait is a closed curve that forms a certain figure on the phase plane. The area occupied by this figure is called a phase portrait, which can be contoured by one method or another, with subsequent determination of the spectrum of this contour [3]. The spectral coefficients of this contour are used as descriptors for a neural network classifier trained on a set of pairs $\{x_1(t) - x_2(t)\}$. For example, the complex Fourier coefficients of the obtained closed curve are used as an input vector of a trainable classifier constructed in the space of Fourier descriptors, which allows for the classification of the system under study. The effect of the proposed method for forming descriptors for the neural network classifier of the FS subsystem of a living system or the system as a whole is to expand the information obtained about complex dynamic systems by taking into account the interaction of their subsystems. With regard to living systems, this ensures better diagnostics of diseases of the human cardiovascular system, which allows for adequate therapeutic effects on a patient who has been identified as having the possibility of life-threatening situations. This method has been tested in assessing the risk of developing arterial hypertension based on the selected risk factors. The results obtained using this method allow a general practitioner or therapist to carry out early prevention

aimed at preventing the development of the disease, thereby helping to reduce the incidence of primary arterial hypertension.

References

1. Kiselev, A.V. Method for classification of the functional state of the respiratory system based on monitoring of cardiorespiratory synchronism indicators / A.V. Kiselev, S.A. Filist, H.A.H. Alavsi, V.V. Pesok, A.E. Pshenichny, O.V. Shatalova // Biomedical Radioelectronics. - 2024. - V. 27. - No. 2. - P. 5-12.
2. Filist, S.A. Classification of the functional state of the respiratory system based on the analysis of cardiorespiratory synchronism / S.A. Filist, A.A. Kuzmin, Haider H.A. Alavsi, V.V. Pesok, A.E. Pshenichny // International Journal of Open Information Technologies. - 2023. - V. 11. - No. 4. - P. 21-28.
3. Korovin, E.N. Contour analysis of phase planes of quasiperiodic biosignals / E.N. Korovin, S.A. Filist, V.I. Serebrovsky, L.V. Shulga // Medical equipment. - 2013. - No. 4 (280). P. 24-26.

УДК 004.942

ГРНТИ 28.23.15; 28.23.37

БАК 2.2.12

Многоступенчатая модель классификатора в системах интеллектуальной поддержки классификации снимков видеоряда

**Жилин И.А., Моторин А.В., Халин И.А.*

*Юго-Западный государственный университет, 305000, Россия, г. Курск,
ул. 50 лет Октября 94*

email: *qwerty_on@mail.ru, russianrocket1996@yandex.ru., yur-khalin@yandex.ru

Алгоритм иерархической классификации морфологических образований на снимках видеоряда построен по четырех уровневой структуре, на первом уровне которой осуществляют увеличение показателей однородности в семантически однородных сегментах, на втором уровне осуществляют каскадную сегментацию морфологически обработанного изображения, на третьем уровне идентифицируют области интереса, а на четвертом уровне классифицируют выбранные в интерактивном режиме области интереса [1, 2].

Автоматическая сегментация снимков с выделением ROI заключается в разбиении его на N однородных по яркости блоков посредством технологии «сверху-вниз», предусматривающей итерационный цикл разбиения изображения на однородные по яркости блоки, и слияние блоков в сегменты на основе анализа предикторов $P1$, характеризующих однородность объединяемых блоков, по технологии «снизу-вверх» [2]. Для формирования изображения патологического морфологического образования на снимке для каждого из N полученных сегментов – объединенных блоков R_n , определяется предиктор $P2$ – вектор информативных признаков, и при выполнении условия $P2(R_n) = \text{TRUE}$, $n = 1, \dots, N$, для проверки которого предиктор $P2$ блока R_n анализируется обучаемым классификатором, послоблок R_n бинаризуется.

Критерий объединения смежных сегментов по технологии «снизу – вверх» состоит в проверке условия

$$P1(R_iUR_j) \leq (P1(R_i))AND(P1(R_j)), j = 1,... q; i \neq j,$$

где R_i и R_j – смежные блоки, q – число смежных блоков на текущем уровне у блока R_i .

Классификаторы выделяемых на снимке сегментов, построены на нейросетевых моделях, дескрипторы которых получены посредством двумерного спектрального анализа изображения сегмента или сформированы как примитивы, аппроксимирующие гистограммы яркости сегмента.

Структура интеллектуальной системы классификации снимков видеоряда включает модуль формирования каскадных окон, модуль объединения каскадных окон, и модуль классификации и принятия решений, блок сегментации, построенный на основе процедуры формирования каскадного окна [2], и реализует алгоритм модификации границы сегмента, построенный на основе критерия однородности изображения сегмента. В основу алгоритма положен нейросетевой классификатор текстурной неоднородности сегмента. Модульная структура программного обеспечения для реализации четырехступенчатой модели классификатора снимков видеоряда, включает интерфейсные элементы, сервис ввода-вывода, модуль сегментации, контроллер задач, модуль формирования окон, модуль нейросетевого моделирования. Программное обеспечение апробировано на классификации рентгенограмм молочной железы по классам «нет области интереса» или «область интереса» и по классификации сегментов рентгенограмм молочной железы по классам «норма» и «патология» [3]. Эксперименты на контрольных выборках при классификации рентгеновских снимков молочной железы показали диагностическую эффективность по классам рентгенограмм «нет области интереса» - «область интереса» не ниже 90%, а по классам сегментов «норма» - «патология» не ниже 91%.

Список литературы

1. Дабагов, А.Р. Автоматизированная система классификации рентгенограмм молочной железы / Дабагов А.Р., Горбунов В.А., Филист С.А., Малютина И.А., Кондрашов Д.С. // Медицинская техника. – 2019. – №6 (318). - С. 39-41.
2. Филист, С.А. Метод каскадной сегментации рентгенограмм молочной железы/ С.А. Филист, А.Р. Дабагов, И.А. Малютина, Д.С. Кондрашов // Известия ЮЗГУ. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – Т.9. № 1(30) – С.49-61.
3. Малютина, И.А. Методы и алгоритмы анализа рентгенограмм грудной клетки, использующие локальные окна в задачах обнаружения патологий/ И.А. Малютина, А.А. Кузьмин, О.В. Шаталова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. - 2017. - №3(39). - С.131-138.

Multistage classifier model in intelligent support systems for video sequence image classification

*Zhilin I.A., Motorin A.V., Khalin I.A.

Southwest State University, 305000, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94

email: *qwerty_on@mail.ru, russianrocket1996@yandex.ru., yur-khalin@yandex.ru

The algorithm of hierarchical classification of morphological formations in video sequence images is built on a four-level structure, at the first level of which an

increase in homogeneity indices in semantically homogeneous segments is carried out, at the second level a cascade segmentation of the morphologically processed image is carried out, at the third level areas of interest are identified, and at the fourth level areas of interest selected in interactive mode are classified [1, 2]. Automatic segmentation of images with ROI allocation consists of dividing it into N blocks homogeneous in brightness using the "top-down" technology, which provides for an iterative cycle of dividing the image into blocks homogeneous in brightness, and merging the blocks into segments based on the analysis of $P1$ predictors characterizing the homogeneity of the combined blocks, using the "bottom-up" technology [2]. To form an image of a pathological morphological formation in a snapshot for each of the N obtained segments - combined blocks R_n , the predictor $P2$ is determined - a vector of informative features, and if the condition $P2(R_n) = \text{TRUE}$, $n = 1, \dots, N$ is met, for checking which the predictor $P2$ of the block R_n is analyzed by the trained classifier, the post-block R_n is binarized. The criterion for combining adjacent segments using the "bottom-up" technology consists of checking the condition $P1(R_i \cup R_j) \leq (P1(R_i)) \text{AND} (P1(R_j))$, $j = 1, \dots, q$; $i \neq j$, where R_i and R_j are adjacent blocks, q is the number of adjacent blocks at the current level of block R_i .

The classifiers of the segments identified in the snapshot are built on neural network models, the descriptors of which are obtained by means of two-dimensional spectral analysis of the segment image or are formed as primitives approximating the segment brightness histograms. The structure of the intelligent video sequence image classification system includes a cascade window formation module, a cascade window merging module, and a classification and decision-making module, a segmentation unit built on the basis of a cascade window formation procedure [2], and implements a segment boundary modification algorithm built on the basis of a segment image homogeneity criterion. The algorithm is based on a neural network classifier of segment texture heterogeneity.

Modular structure of software for implementation of four-stage model of video sequence image classifier includes interface elements, input-output service, segmentation module, task controller, window formation module, neural network modeling module. Software has been tested on classification of breast radiographs by classes "no area of interest" or "area of interest" and on classification of breast radiograph segments by classes "norm" and "pathology" [3]. Experiments on control samples during classification of breast radiographs showed diagnostic efficiency by classes of radiographs "no area of interest" - "area of interest" of not less than 90%, and by classes of segments "norm" - "pathology" of not less than 91%.

References

1. Dabagov, A.R. Automated system for classification of breast radiographs / Dabagov A.R., Gorbunov V.A., Filist S.A., Malyutina I.A., Kondrashov D.S. // Medical equipment. - 2019. - No. 6 (318). - P. 39-41.
2. Filist, S.A. Method of cascade segmentation of breast radiographs / S.A. Filist, A.R. Dabagov, I.A. Malyutina, D.S. Kondrashov // Bulletin of South-West State University. Series Management, computing, informatics. Medical instrument making. - 2019. - V. 9. No. 1 (30) - P. 49-61.

3. Malyutina, I.A. Methods and algorithms for analyzing chest radiographs using local windows in pathology detection problems / I.A. Malyutina, A.A. Kuzmin, O.V. Shatalova // Caspian Journal: Management and High Technologies. - 2017. - No. 3 (39). - P. 131-138.

УДК 631.34:004.3

ГРНТИ 68.85.85

ВАК 4.3.2

Концепт операционной системы «Бытового фитотрона»

^{1*} Гусенников Е. Н., ¹ Юран С. И.

¹ Удмуртский государственный аграрный университет, 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11

email: * ujhuf99@gmail.com, yuran-49@yandex.ru

«Бытовой фитотрон» – автоматизированное устройство для создания индивидуальных условий роста растений [1]. Ключевой особенностью разработки является простота эксплуатации и настройки. В качестве цифрового оснащения используется контроллер ArduinoNano [2]. Программный функционал устройства включает в себя загрузку конфигураций режимов работы, выбор необходимой конфигурации и поддержание заданных условий микроклимата согласно системе автоматического регулирования.

Разрабатываемая программа для контроллера Arduino представляет собой операционную систему (ОС), упрощающую взаимодействие пользователя с устройством. Исходя из заявленного функционала разработана структура ОС, включающая четыре программы:

1. Программу драйверов, содержащую библиотеки, упрощающие и оптимизирующие работу с оборудованием, сводя программный код к удобным командам.
2. Программу управления устройством на основе команд библиотек.
3. Программу интерфейса, обладающую подпрограммами вывода интерфейса и навигации по нему, файлового менеджера и обработки устройств ввода для управления устройством.
4. Программу автоматического поддержания микроклимата, использующую параметры из конфигурационных файлов.

Предлагаемая ОС позволяет пользователю управлять устройством, не владея глубокими техническими знаниями.

Список литературы

1. Гусенников Е. Н., Юран С. И. Аппаратно-цифровая основа бытового фитотрона // Лазерно-информационные технологии: труды международной научной конференции, 2024. С. 36–37.
2. Гусенников Е. Н., Юран С. И. Использование системы Arduino в фитотроне // Вестник НГИЭИ. 2025. № 4 (167). С. 52–70. DOI: 10.24412/2227-9407-2025-4-52-70. EDN: IXYWWI.

The concept of the operating system of the "Household Phytotron"

^{1*} Gusennikov E. N., ¹ Yuran S. I.

¹ Udmurt State Agrarian University, 426069, Russia, Izhevsk, st. Studencheskaya, 11
email: *ujhuf99@gmail.com, yuran-49@yandex.ru

"Household Phytotron" is an automated device for creating individual conditions for plant growth [1]. The key feature of the development is ease of operation and setup. The Arduino Nano controller is used as digital equipment [2]. The software functionality of the device includes loading configurations of operating modes, selecting the required configuration and maintaining specified microclimate conditions according to the automatic control system.

The developed program for the Arduino controller is an operating system (OS) that simplifies user interaction with the device. Based on the declared functionality, the OS structure was developed, including four programs:

1. a driving program containing libraries that simplify and optimize work with the equipment, reducing the program code to convenient commands;
2. a device control program based on library commands;
3. an interface program with subroutines for displaying the interface and navigating through it, a file manager and processing input devices for controlling the device.
4. a program for automatic microclimate maintenance using parameters from configuration files. Thus, the proposed operating system allows the user to control the "Household Phytotron" without having deep technical knowledge.

References

1. Gusennikov E. N., Yuran S. I. Hardware and digital basis of a household phytotron, Laser information technologies: Proceedings of the international scientific conference, 2024, P. 36–37.
2. Gusennikov E. N., Yuran S. I. Using Arduino in a Phytotron // Bulletin NGIEI. 2025. № 4 (167). P. 52–70. DOI: 10.24412/2227-9407-2025-4-52-70. EDN: IXYWWI.

УДК 341.1/8

ГРНТИ 89.27.21

БАК 1.2.4 2.3.6

Кибератаки на искусственные спутники Земли

Воробьев А.Е.¹, Корчевский А.Н.²

¹ГГНТУ, ²ДонНТУ

Начиная с 4 октября 1957 года, когда в СССР был запущен первый в мире искусственный спутник Земли, мировая гонка за военное превосходство вышла за пределы земной атмосферы. В результате, вооруженные силы стран, обладающих космическими технологиями, стали планировать запуск на земную орбиту спутников с ядерным оружием, а затем и с боевыми лазерами. В действительности, ядерное оружие так и не было запущено в космос, а реальной угрозой вскоре стали космическая разведка и шпионаж [5]. По данным на май 2025 года, вокруг Земли вращается примерно 11 700 активных искусственных спутников. Но если учесть и те спутники, которые

по каким-либо уже не функционируют, а просто находятся на земной орбите, то общее их число достигает 14 900.

По отдельным странам количество активных спутников распределяется следующим образом [3]:

- США – 4 531.
- Китай – 467.
- Великобритания – 349.
- Россия – примерно около 300.

Искусственные спутники Земли выводят на орбиту с различными целями, однако, практически все они занимаются разведывательной деятельностью (в той или иной форме). Первый спутник электронно-оптической разведки (способный получать изображения по заданным координатам определенных точек или территорий и отправлять их на Землю практически в реальном времени) был выведен на околоземную орбиту в декабре 1982 года.

Основные задачи разведывательных спутников заключаются в [2]:

- Фото- и видеосъемке в высоком разрешении. Спутники могут наблюдать за такими объектами, как сухопутная и морская техника, летательные аппараты, военные подразделения и другие, и передавать собираемую информацию на Землю.
- Прослушивании систем связи противника и определении местоположения его радиосредств.
- Слежении за выполнением запрета на ядерные испытания.
- Обнаружении пусков ракет противника (для предупреждения о ракетном нападении). Например, Япония запускает спутники-шпионы, чтобы следить за возможным запуском ядерных ракет в Северной Корее.
- Мониторинге государственных границ. Так, Индия использует такие аппараты для мониторинга собственных границ.

В результате искусственные спутники Земли превратились в важнейшие средства в сфере национальной безопасности и разведывательных операций, предполагающие обязательное использование искусственного интеллекта [1].

Страны, обладающие современными кибертехнологиями (термин «кибер» используется для обозначения действий, процессов и систем, включающих применение компьютеров), стараются скрытно навредить чужим спутникам. Так, в 1997 г. хакеры использовали социальную инженерию и осуществили кибератаку, с выходом на психологическое манипулирование операторами и с использованием заранее составленной библиотеки паролей) для доступа к подключенным к Интернету серверам протокола передачи файлов, расположенным в компьютерной сети центра Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (НАСА), которые управляли файлами, связанными с системами управления и контроля совместного американо-германско-британского рентгеновского спутника Röntgensatellit (ROSAT) [4]. Эта кибератака способствовала смене ориентации этого спутника, что привело к его повороту к Солнцу и перегреву, нанеся ему непоправимый ущерб.

В 2018 г. компания Symantec выявила группу Thrip, осуществившую целевую кибератаку с трех компьютеров, базирующихся в Китае, выискивая и заражая компьютеры (операторов спутниковой связи, оборонных подрядчиков и телекоммуникационных компаний США), с программным обеспечением для мониторинга и управления спутниками, с целью нарушения их штатной работы [4].

В марте 2022 года спутник Starlink компании SpaceX, находящийся на низкой околоземной орбите столкнулся с глушением его сигнала [4]. В ноябре 2022 года Starlink также подвергся DDoS-атаке со стороны KillNet, из-за которой его сервис оказался недоступным в течение нескольких часов. Кроме того, в дальнейшем Starlink подвергся атаке с помощью программного обеспечения, предположительно разработанным Северо-Западным институтом ядерных технологий Китая (исследовательским институтом Народно-освободительной армии Китая), для оценки эффективности ядерного противоспутникового оружия на разных высотах и мощностях.

Таким образом, кибератаки, в качестве поля боя, освоили и космическое пространство Земли.

Список литературы

1. Воробьев А.Е., Воробьев К.А., Кушеков К.К. Введение в искусственный интеллект. Москва. Вологда. Инфра-Инженерия. 2025. – 132 с.
2. Слежка из космоса: как работает спутниковая разведка // <https://ren.tv/longread/1115832-slezhka-iz-kosmosa-kak-rabotaet-sputnikovaia-razvedka>. 2023.
3. Сколько спутников на орбите во всем мире и в РФ? // <https://dzen.ru/a/ZfwIxLp3o3fHnmox>. 2024.
4. Lora Saalman, Larisa Saveleva, Dovgaland Fei Su. Mapping cyber-related missile and satellite incidents and confidence – building measures // SIPRI Insights on Peace and Security. N 10. 2023.
5. The rise of cyber threats in space – future of cyberwar // <https://kstatelibraries.press-books.pub/cyberhumansystems/chapter/14-the-rise-of-cyber-threats-in-space-future-of-cyberwar-farcot>.

Cyber attacks on artificial satellites

Vorobyov A.E.¹, Korchevsky A.N.²

¹GNTU, ²DNTU

Since October 4, 1957, when the USSR launched the world's first artificial Earth satellite, the global race for military superiority has gone beyond the Earth's atmosphere. As a result, the armed forces of countries with space technology began planning to launch satellites with nuclear weapons into Earth orbit, and then with combat lasers. In reality, nuclear weapons were never launched into space, and space reconnaissance and espionage soon became the real threat [5]. As of May 2025, there are approximately 11,700 active artificial satellites orbiting the Earth. But if you take into account those satellites that for some reason are no longer functioning, but are simply in Earth orbit, their total number reaches 14,900.

The number of active satellites is distributed among individual countries as follows [3]:

- USA – 4,531.
- China – 467.
- Great Britain – 349.
- Russia – approximately 300.

Artificial Earth satellites are launched into orbit for various purposes, however, almost all of them are engaged in reconnaissance activities (in one form or another). The first electron-optical reconnaissance satellite (capable of receiving images from specified coordinates of certain points or territories and sending them to Earth in almost real time) was launched into near-Earth orbit in December 1982.

The main tasks of reconnaissance satellites are [2]:

- High-resolution photography and video recording. Satellites can monitor objects such as land and sea equipment, aircraft, military units and others, and transmit the collected information to Earth.
- Listening to enemy communication systems and determining the location of their radio equipment.
- Monitoring the implementation of the ban on nuclear tests.
- Detecting enemy missile launches (to warn of a missile attack). For example, Japan launches spy satellites to monitor the possible launch of nuclear missiles in North Korea.
- Monitoring state borders. For example, India uses such devices to monitor its own borders.

As a result, artificial Earth satellites have become the most important means in the field of national security and intelligence operations, which require the mandatory use of artificial intelligence [1].

Countries with advanced cyber technology (the term "cyber" is used to describe actions, processes, and systems that involve the use of computers) have attempted to covertly sabotage other people's satellites. In 1997, hackers used social engineering to launch a cyberattack (using psychological manipulation of operators and a pre-built password library) to gain access to Internet-connected File Transfer Protocol servers located on the computer network of a National Aeronautics and Space Administration (NASA) center that managed files related to the command and control systems of the joint American-German-British Röntgensatellit (ROSAT) X-ray satellite [4]. The cyberattack caused the satellite to change its orientation, causing it to turn toward the Sun and overheat, causing irreparable damage.

In 2018, Symantec identified the Thrip group, which carried out a targeted cyberattack from three computers based in China, seeking out and infecting computers (at satellite operators, defense contractors, and US telecommunications companies) running software to monitor and control satellites, with the aim of disrupting their normal operations [4].

In March 2022, SpaceX's Starlink satellite in low Earth orbit experienced signal jamming [4]. In November 2022, Starlink was also subjected to a DDoS attack by KillNet, which rendered its service unavailable for several hours. In addition, Starlink was subsequently attacked using software allegedly developed by China's Northwest Institute of Nuclear Technology (a research institute of the People's

Liberation Army) to evaluate the effectiveness of nuclear anti-satellite weapons at different altitudes and powers. Thus, cyberattacks have also mastered Earth's outer space as a battlefield.

References

1. Vorobyov A.E., Vorobyov K.A., Kushekov K.K. Introduction to Artificial Intelligence. Moscow. Vologda. Infra-Engineering. 2025. - 132 p.
2. Surveillance from Space: How Satellite Reconnaissance Works // <https://ren.tv/longread/1115832-slezhka-iz-kosmosa-kak-rabotaet-sputnikovaia-razvedka>. 2023.
3. How Many Satellites Are in Orbit Around the World and in the Russian Federation? // <https://dzen.ru/a/ZfwIxLp3o3fHnmox>. 2024.
4. Lora Saalman, Larisa SavelevaDovgaland Fei Su. Mapping Cyber-Related Missiles and Satellite Incidents and Confidence – Building Measures // SIPRI Insights on Peace and Security. N 10. 2023.
5. The rise of cyber threats in space – future of cyberwar // <https://kstatelibraries.press-books.pub/cyberhumansystems/chapter/14-the-rise-of-cyber-threats-in-space-future-of-cyberwar-farcot>.

УДК 341.1/8

ГРНТИ 89.27.21

ВАК 1.2.4 2.3.6

Концептуальная категоризация различных форм конфликтов в киберпространстве

Воробьев А.Е.¹, Корчевский А.Н.², Воробьев К.А.^{3,4}

¹ГГНТУ, ²ДонНТУ, ³РУДН, ⁴ИПКОН РАН

Классификация произошедших военных конфликтов (приведших к значительным экономическим и другим последствиям) всегда является первым шагом в любом анализе международного гуманитарного права, поскольку их характер определяет дальнейший применяемый правовой режим [4]. Соответственно, классификация таких конфликтов имеет основополагающее значение.

Современная классификация военных конфликтов определилась в 1949 г., с принятием четырех Женевских конвенций. В совокупности, принятый в тот период набор правовых положений, предусматривает четыре категории военных конфликтов:

- 1) международный военный конфликт между государствами;
- 2) международный военный конфликт с участием национально-освободительных движений;
- 3) немеждународный военный конфликт между государством и организованной вооружённой группой или между организованными вооружёнными группами;
- 4) немеждународный военный конфликт на уровне п. 2.

Необходимо отметить, что современные военные конфликты, включающие кибероперации или ограничивающиеся ими, не были предусмотрены Женевскими конвенциями, и их довольно сложно классифицировать в рамках традиционного международного права.

Так, согласно имеющимся положениям международного права международные вооружённые конфликты должны одновременно быть как «вооружёнными», так и «международными». В отношении киберконфликтов первый критерий представляет собой дилемму, заключающуюся в том, что кибероперации по своей природе не являются кинетическими и не используют то, что в общепринятом словоупотреблении считается «оружием». Однако, кибероперации могут иметь крайне разрушительные, даже смертоносные, последствия. Государство, которое подверглось извне крупной кибератаке, с большой вероятностью охарактеризует ситуацию, как международный вооружённый конфликт, подобно тому, как оно поступило бы, если бы стало жертвой некинетической бактериологической атаки со стороны другого государства. А по второму критерию, в киберконфликтах не всегда возможно достоверно установить атакующую сторону.

Важной характеристикой различных форм киберконфликтов является их количественные показатели: на сколько они затрагивают интересы (военные, экономические, социальные и т.п.) атакованного государства.

По такому критерию киберконфликты могут быть локальными (например, выводящие из строя бортовые электронные и электромеханические системы самолета или вертолета, что приводит к авиационным катастрофам), средней мощности, затрагивающие киберсистемы важного, но среднего по размерам, объекта (например, нефтеперерабатывающего завода или нефтяной платформы [2,3]), крупных (возникает ущерб для национальной экономики на сотни миллионов долларов, как это было в 2010 г. на заводе по производству урана в Натанзе, в Иране, где были разрушены более 1000 центрифуг, установленных на глубине около 50 м, но за счет кибератаки вирусом Stuxnet на их электромеханическую систему, вошедших в режим саморазрушения) и крупнейших (приводящие к ущербу свыше 1 млрд. долл.).

Также киберконфликты целесообразно подразделять по отраслям национальной экономики, на которые они были или будут направлены кибератаки. Это могут быть банковские системы страны (кибератака на которых может погрузить страну в экономический коллапс), система железных дорог или национальные энергосистемы.

Примером определенной легкости и достижимости возникновения таких серьезных проблем может быть техногенная авария, произошедшая в энергосистеме Москвы 25 мая 2005 года, первоначально возникшая на понижающем трансформаторе электроподстанции № 510 «Чагино», расположенной на юго-востоке в районе Капотни, и приведшая к возрастанию критической нагрузки на остальные трансформаторы, что и определило каскадный характер распространения этой аварии. В результате была отключена подача электроэнергии в нескольких районах Москвы и Подмосковья, а также в Тульской, Калужской и Рязанской областях, что нанесло ущерб около 2 млрд. руб.

Современные национальные системы транспорта, водо-, газо- или энергоснабжения являются довольно сложными (только в энергосистеме Москвы 23 тыс. распределительных и трансформаторных подстанций), что может

послужить целью кибератак, со стороны различных террористов и преступников. Основной путь их защиты от такого воздействия – применение охранных систем искусственного интеллекта [1] и физическое отделение от контакта с сетью Интернет, по которым могут поступить различные вредоносные вирусы.

Список литературы

1. Воробьев А.Е., Воробьев К.А., Кушеков К.К. Введение в искусственный интеллект.– Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2025. – 132 с.
2. Воробьев А.Е., Плющиков В.Г., Тахир Мусса, Воробьев К.А. Аварии на нефтяных платформах // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Материалы четырнадцатой международной конференции. Москва–Бишкек. – 14-20 сентября 2015 г. – М.: РУДН, 2015.– С. 242-251.
3. Воробьев А.Е., Фральцова Т.А., Томашев М.С., Гулан Е.А. Аварии на НПЗ и необходимость переподготовки специалистов// Теория и практика современной науки.- 2017.– № 8 (26).
4. Michael N. Schmitt. Classification of cyber conflict // INT’L L. STUD. Volume 89. 2013.

Conceptual categorization of different forms of conflicts in cyberspace

¹Vorobyov A.E., ²Korchevsky A.N., ^{3,4}Vorobyov K.A.

¹GGSTU, ²DonSTU, RUDN, ⁴IPCONRAS

The classification of past military conflicts (leading to significant economic and other consequences) is always the first step in any analysis of international humanitarian law, since their nature determines the subsequent applicable legal regime [4]. Accordingly, the classification of such conflicts is of fundamental importance.

The modern classification of military conflicts was defined in 1949, with the adoption of the four Geneva Conventions. Taken together, the set of legal provisions adopted at that time provides for four categories of military conflicts:

- 1) an international military conflict between states;
- 2) an international military conflict involving national liberation movements;
- 3) a non-international military conflict between a state and an organized armed group or between organized armed groups;
- 4) a non-international military conflict at the level of paragraph 2.

It should be noted that modern military conflicts, including or limited to cyber operations, were not provided for by the Geneva Conventions and are quite difficult to classify within the framework of traditional international law.

Thus, according to the existing provisions of international law, international armed conflicts must simultaneously be both “armed” and “international”. With regard to cyber conflicts, the first criterion presents a dilemma, namely that cyber operations are not kinetic in nature and do not employ what are commonly considered “weapons”. However, cyber operations can have extremely destructive, even deadly, consequences. A state that is subjected to a major cyber attack from outside is likely to characterize the situation as an international armed conflict, just as it would if it were the victim of a non-kinetic bacteriological attack by

another state. And according to the second criterion, in cyber conflicts it is not always possible to reliably identify the attacker.

An important characteristic of various forms of cyber conflicts is their quantitative indicators: to what extent they affect the interests (military, economic, social, etc.) of the attacked state. According to this criterion, cyber conflicts can be local (for example, those that disable on-board electronic and electromechanical systems of an airplane or helicopter, which leads to aviation disasters), medium-power, affecting the cyber systems of an important, but medium-sized facility (for example, an oil refinery or an oil platform [2,3]), large (there is damage to the national economy in the amount of hundreds of millions of dollars, as was the case in 2010 at the uranium production plant in Natanz, Iran, where more than 1,000 centrifuges installed at a depth of about 50 m were destroyed, but due to a cyber attack by the Stuxnet virus on their electromechanical system, which entered self-destruction mode) and the largest (leading to damage in excess of \$ 1 billion).

It is also advisable to subdivide cyber conflicts by the sectors of the national economy to which they were or will be directed cyber attacks. These could be a country's banking systems (a cyberattack on which could plunge the country into economic collapse), its railway system, or its national power grid.

An example of a certain ease and achievability of the occurrence of such serious problems can be the man-made accident that occurred in the Moscow power system on May 25, 2005, which initially occurred on the step-down transformer of the electrical substation No. 510 "Chagino", located in the southeast in the Kapotnya area, and led to an increase in the critical load on the remaining transformers, which determined the cascade nature of the spread of this accident. As a result, the power supply was disconnected in several areas of Moscow and the Moscow region, as well as in the Tula, Kaluga and Ryazan regions, which caused damage of about 2 billion rubles.

Modern national systems of transport, water, gas and energy supply are quite complex (the Moscow power system alone has 23 thousand distribution and transformer substations), which can serve as a target for cyber attacks by various terrorists and criminals. The main way to protect them from such influence is the use of artificial intelligence security systems [1] and physical separation from contact with the Internet, through which various malicious viruses can arrive

References

1. Vorobyov A.E., Vorobyov K.A., Kushekov K.K. Introduction to artificial intelligence. – Moscow; Vologda: Infra-Engineering, 2025. – 132 p.
2. Vorobyov A.E., Plyushchikov V.G., Tahir Mussa, Vorobyov K.A. Accidents on oil platforms // Resource-reproducing, low-waste and environmental technologies for subsoil development: Proceedings of the fourteenth international conference. Moscow–Bishkek. – September 14-20, 2015 – M.: RUDN University, 2015.– pp. 242-251.
3. Vorobyov A.E., Fraltsova T.A., Tomashev M.S., Gulan E.A. Oil refinery accidents and the need for retraining specialists// Theory and practice of modern science. - 2017. - No. 8 (26).
4. Michael N. Schmitt. Classification of cyber conflict // INT'L L. STUD. Volume 89. 2013.

**Формирование и ведение исполнительной документации
с использованием нейронных сетей, как инструмент оптимизации
строительных процессов**

^{1*}Ульянов А.Г., ²Долгов В.П.

*Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического
университета им. В.Г. Шухова, 353919, Новороссийск, Мысхакское шоссе, дом 75
email: *al-gen@yandex.ru, vyacheslav-dolgov@list.ru*

Строительная отрасль сталкивается с рядом проблем, связанных с необходимостью повышения эффективности и точности работы, а также соответствия строгим нормативным требованиям.

Одной из ключевых задач является создание и оформление исполнительной документации, которая является важным элементом контроля качества и реализации строительных проектов.

Создание исполнительной документации — сложный и многоэтапный процесс, включающий сбор, обработку и представление данных в соответствии с установленными стандартами [1].

По мере усложнения объёмов данных и процессов традиционные методы документирования становятся менее эффективными. Использование нейронных сетей даёт множество преимуществ, в том числе значительное сокращение затрат и времени, необходимых для выполнения задач.

По данным McKinsey Research & Company [2], автоматизация процессов с использованием искусственного интеллекта может сократить расходы на строительство до 20 %. Внедрение нейросетевых технологий позволяет сократить временные и материальные затраты, повысить конкурентоспособность компаний, улучшить качество предоставляемых услуг [3].

Авторами в ходе исследования получены результаты [4] практическая значимость которых заключается в демонстрации реальных возможностей автоматизации процессов в строительной отрасли.

Список литературы

1. Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: материалы VII Международной НПК, 7–8 ноября 2024 г. / под ред. Г.Б. Захаровой. — Екатеринбург: УрГАХУ имени Н.С. Алфёрова, 2024 — 106 с.
2. Основные тенденции и направления применения искусственного интеллекта в строительном секторе национальноного хозяйства: организационные и экономические аспекты / Секисов А.Н., Коженко Н.В., Папоян А.А., Кристя Н.Г., Прозорова А.С. / Экономика: вчера, сегодня, завтра. — 2023. — Т. 13. — № 10. — С. 357-366.
3. Атлас искусственного интеллекта для бизнеса и власти: учебное пособие / А.И. Соснило. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2022. — 101 с.
4. Долгов В.П., Ульянов А.Г., Юсупова С.С. Внедрение нейросети в сферу строительства для формирования исполнительной документации// Молодёжный вестник НФ БГТУ. Т.5, № 1—Новороссийск: Изд-во НФ БГТУ им. В. Г. Шухова, 2025. — С. 4- 12.

Formation and maintenance of executive documentation using neural networks as a tool for optimizing construction processes

^{1*} Ulyanov A.G., ²Dolgov V.P.

*Novorossiysk branch of the V.G. ShukhovBelgorod State Technological University 353919,
Novorossiysk, MyskhakskoyeShosse, 75*

email: * al-gen@yandex.ru, vyacheslav-dolgov@list.ru

The construction industry faces a number of challenges related to the need to improve efficiency and accuracy, as well as meet strict regulatory requirements. One of the key tasks is the creation and maintenance of executive documentation, which is an important element of quality control and the implementation of construction projects.

The creation of executive documentation is a complex and multi-step process that involves the collection, processing, and presentation of data in accordance with established standards [1].

As data volumes and processes become more complex, traditional documentation methods are becoming less effective.

The use of neural networks has many advantages, including a significant reduction in the cost and time required to complete tasks.

According to McKinsey Research & Company [2], the automation of processes using artificial intelligence can reduce construction costs by up to 20%.

The implementation of neural network technologies can reduce time and material costs, increase the competitiveness of companies, and improve the quality of services provided [3].

The authors' research has yielded results [4] that demonstrate the practical significance of demonstrating the real possibilities of process automation in the construction industry.

References

1. New information technologies in architecture and construction: proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference, November 7-8, 2024 / ed. G.B. Zakharova. Yekaterinburg: Ural State University of Architecture and Art named after N.S. Alferov, 2024 - 106 p.
2. The main trends and areas of application of artificial intelligence in the construction sector of the national economy: organizational and economic aspects / Sekisov A.N., Kozhanko N.V., Papoyan A.A., Kristya N.G., Prozorova A.S. / Economics: Yesterday, Today, and Tomorrow. — 2023. — V. 13. — No. 10. — P. 357-366.
3. Atlas of Artificial Intelligence for Business and Government: A Study Guide / A.I. Sosnil. — St. Petersburg: ITMO University, 2022. — 101 p.
4. Dolgov V.P., Ulyanov A.G., Yusupova S.S. Introduction of a neural network in the construction sector for the formation of executive documentation// Youth Bulletin of the Novorossiysk Branch of the Shukhov V.G. Belgorod State Technological University. V. 5, No. 1— Novorossiysk: Novorossiysk Branch of the Shukhov V.G. Belgorod State Technological University, 2025. – P. 4-12.

Английский язык один из основных аспектов в деятельности IT специалиста

Вишневецкая В.В., Адиян Д.Т.

*Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного
технологического университета, Новороссийск, Россия*

e-mail: Stas_14@rambler.ru

Наука не стоит на месте, постоянно появляются новые изобретения, а область информационных технологий является сегодня наиболее динамично развивающейся, обновляются данные, усовершенствуется уже исходный материал и в итоге, создается нечто современное, отвечающее последним требованиям и спросу. IT специалист – это одна из самых востребованных и актуальных профессий, а требования предъявляемые к представителю данной специальности, растут и видоизменяются. IT специалист - это личность, способная и стремящаяся к профессиональному развитию и самообразованию.

Точно известно, что именно английский язык является неотъемлемым атрибутом профессионализма для представителя данной специальности и его роль в профессиональной деятельности IT специалиста неоспорима.

Деятельность программистов относится к типу «человек – знаковая система», согласно классификации профессий, и данное положение подразумевает, что основной предмет труда – знак и знаковая система, соответственно, специалисты должны уметь работать с текстами, документами, таблицами, формулами, а значит уметь разбираться в условных обозначениях, искусственных языковых системах. Традиционно, английский язык представляет собой международный стандарт в компьютерной области, самые популярные языки программирования основаны именно на нем. Для начинающего специалиста есть важная необходимость в изучении английского языка. Основной задачей программиста является создание программ с использованием какого-либо языка программирования. С лингвистической точки зрения каждый язык программирования, по аналогии с естественным, имеет алфавит, словарный запас, свои грамматику и синтаксис, а также семантику. Считается, что главное в работе программиста – это алгоритмы и структуры данных, которые не зависят от языка, а также интерпретаторы и компиляторы, среды разработки, однако, документация к языку программирования и популярным библиотекам имеют перевод на русский язык, а при отсутствии перевода имеется возможность получить помощь по интересующему вопросу на тематических форумах или с помощью словарей и книг.

Большинство опытных специалистов утверждают, что основную роль в работе IT специалиста играют не алгоритмы и структуры данных, а набор приемов, которыми разработчик пользуется, и все это, в свою очередь требует знания английского языка. Известно, что большинство программ, библиотек

и т.д. создаются с текстами на английском языке, перевод которых появляется намного позже. И конечно же, знание английского языка позволяет разработчику эффективно пользоваться всеми доступными инструментами, а не ограничиваться переведенными инструкциями и обучающими статьями. Любая команда представляет собой набор символов – знаков английского языка. Соответственно, английский язык обеспечивает основу написания программного продукта, а ключевые слова, используемые базовыми языками программирования, имеют английское происхождение. Следовательно, знание английского языка значительно облегчит работу программиста.

Профессия IT специалиста является творческой, поскольку часто возникающие нестандартные задачи, требуют изобретательности, находчивости, бескорыстной интеллектуальной инициативы», а значит приходится искать решение любой проблемы в интернет-ресурсах, и часто бывает так, что необходимая русскоязычная информация еще не публиковалась, тогда на помощь приходят англоязычные источники. Таким образом, специалист со знанием английского языка может найти решение нестандартной проблемы намного быстрее.

Еще одним аргументом в подтверждение важности английского языка в работе специалиста в сфере информационных технологий является необходимость извлечения полезной информации из специализированной литературы. По признанию практикующих программистов еще не все англоязычные фундаментальные работы по специальности были переведены на русский язык, а скорость появления перевода недавно опубликованных работ тем более невысока.

Высококласный IT специалист должен стремиться развиваться и совершенствовать свое мастерство, особенно необходимо быть в курсе новых тенденций и разработок, что предполагает образовательную деятельность. Профессиональному и личностному росту IT специалиста способствует посещение мастер-классов, семинаров и вебинаров, большинство из которых проводятся известнейшими гуру в сфере информационных технологий на английском языке. Более того прохождение специализированной аттестации и получение международных профессиональных сертификатов также осуществляется на языке международного общения.

Работа в сфере информационных технологий может предполагать общение с зарубежными заказчиками, а вся профессиональная коммуникация осуществляется на английском языке. Стажировки за границей также предполагают практическое владение иностранным языком.

Анализ вакансий, проведенный в сфере информационных технологий, показывает, что значительная часть из них требует от соискателя знание английского языка. Среди требуемых умений работодатели отмечают умение читать техническую документацию, осуществлять письменную профессиональную коммуникацию, то есть писать деловые письма и общаться в чатах с коллегами на английском.

Один из сайтов предлагает следующее видение роли английского языка в профессиональной деятельности специалиста в области информационных

технологий: «английский – это латынь современного человека, задействованного в компьютерных науках. Без его освоения заниматься профессионально-техническими науками невозможно».

Подводя итог вышесказанному, нужно отметить, что владение английским языком является одной из составляющих профессиональной компетентности, так как способствует быстрому решению нестандартных вопросов, саморазвитию и познавательной деятельности, облегчению деятельности начинающего разработчика, развитию профессиональной компетенции.

Список литературы:

1. Вишневецкая В.В., Ермакова Е.А. Информационные технологии в обеспечении экскурсионной деятельности: Труды XXX международной конференции Лазерно-информационные технологии.– Новороссийск: ФГБОУ ВО «ГМУ им. адм. Ф.Ф.Ушакова», 2022.– С. 182-185.
2. Вишневецкая В.В., Адиян Д.Т. Использование информационных технологий и искусственного интеллекта в формировании общественного мнения. В сборнике: Лазерно-информационные технологии 2024. Труды XXXII международной конференции.– Новороссийск, 2024.– С. 97-99.
3. Исмагилова Г. К., Вафина А. Р. Роль английского языка и информационных технологий в образовании человека // Инновационная наука.– 2017.– №12. – С.173-175.
4. Дзись Ю.И., Селихова С.Г., Сидорова Н.А. Английский язык: профессиональная сфера коммуникации.– Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2023.– 168 с.
5. Мамонова Н. В. Английский язык как средство глобализации массово-информационного дискурса // Медиасреда.– 2020.– №1.– С. 162-166.

English is one of the main aspects in the activities of an IT specialist

Vishnevetskaya V.V., Adiyana D.T.

*Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) of Kuban State Technological University,
Novorossiysk, Russia
e-mail: Stas_14@rambler.ru*

Science does not stand still, new inventions are constantly appearing, and the field of information technology is the most dynamically developing today, data is updated, the source material is improved, and as a result, something modern is created that meets the latest requirements and demand. An IT specialist is one of the most in-demand and relevant professions, and the requirements for this profession are growing and changing. An IT specialist is a person who is capable and strives for professional development and self-education. It is well known that English is an integral part of professionalism for a representative of this field, and its role in the professional activities of an IT specialist is undeniable.

The activity of programmers belongs to the type "man - sign system", according to the classification of professions, and this provision implies that the main subject of work is a sign and a sign system, respectively, specialists must be able to work with texts, documents, tables, formulas, and therefore be able to understand the conventions, artificial language systems. Traditionally, English is an international standard in the computer field, the most popular programming languages are

based on it. For a novice specialist, there is an important need to learn English. The main task of a programmer is to create programmes using a programming language. From a linguistic point of view, each programming language, like a natural language, has an alphabet, vocabulary, grammar, syntax, and semantics. It is believed that the main focus of a programmer's work is on algorithms and data structures that are independent of the programming language, as well as on interpreters, compilers, and development environments. However, the documentation for programming languages and popular libraries is available in Russian, and in the absence of a translation, it is possible to seek assistance on relevant forums or through dictionaries and books.

Most experienced specialists claim that the main role in the work of an IT specialist is not algorithms and data structures, but a set of techniques that the developer uses, and all of this, in turn, requires knowledge of English. It is known that most programmes, libraries, etc. are created with texts in English, the translation of which appears much later. And of course, knowledge of English allows the developer to effectively use all available tools, and not be limited to translated instructions and training articles.

Any command is a set of symbols – signs of the English language. Accordingly, the English language provides the basis for writing a software product, and the keywords used by the basic programming languages are of English origin. Therefore, knowledge of the English language will greatly facilitate the work of the programmer.

The profession of an IT specialist is creative, as non-standard tasks often arise and require ingenuity, resourcefulness, and selfless intellectual initiative. This means that they have to search for solutions to any problem on the Internet, and it often happens that the necessary information in Russian has not been published yet, in which case English-language sources come to the rescue. Therefore, an IT specialist with English language proficiency can find a solution to a non-standard problem much faster.

Another argument in favor of the importance of English in the work of an IT specialist is the need to extract useful information from specialized literature. According to practicing programmers, not all English-language fundamental works in the field have been translated into Russian, and the speed of translation of recently published works is even lower.

A high-class IT specialist should strive to develop and improve his skills, especially to stay up to date with new trends and developments, which implies educational activities. Attending master classes, seminars and webinars contributes to the professional and personal growth of an IT specialist, most of which are conducted by the most famous gurus in the field of information technology in English. Moreover, passing specialized certification and obtaining international professional certificates is also carried out in the language of international communication. Working in the field of information technology may involve communication with foreign clients, and all professional communication is conducted in English. Internships abroad also require practical proficiency in a foreign language. An analysis of vacancies in the field of information technology shows that a significant number of them require the applicant to have knowledge of English.

Among the required skills, employers note the ability to read technical documentation, carry out written professional communication, i.e. write business letters and communicate in chats with colleagues in English.

One of the websites offers the following vision of the role of English in the professional activities of an IT specialist: “English is the Latin of a modern person involved in computer science. Without mastering it, it is impossible to engage in professional and technical sciences”.

Summing up the above, it should be noted that the mastery of English is one of the components of professional competence, as it contributes to the quick solution of non-standard issues, self-development and cognitive activity, facilitating the work of a novice developer, and developing professional competence.

References

1. Vishnevetskaya V.V., Ermakova E.A. Information technologies in ensuring excursion activities. Proceedings of the XXX International Conference Laser-Information Technologies. Novorossiysk, Publishing House of the Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 2022. P. 182- 185.
2. Vishnevetskaya V.V., Adiyani D.T. The use of information technologies and artificial intelligence in shaping public opinion. In the collection: Laser and Information Technologies 2024. Proceedings of the XXXII International Conference. Novorossiysk, 2024, pp. 97- 99.
3. Ismagilova G. K., Vafina A. R. The Role of English and Information Technologies in Human Education // Innovative Science. - 2017. - No.12. – P.173- 175.
4. Dzis Yu.I., Selikhova S.G., Sidorova N.A. English: Professional Sphere of Communication. - Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2023. - 168 p.
5. Mamonova N. V. English as a Means of Globalization of Mass Media Discourse // Media Environment. - 2023

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

УДК 551.510.41

ГРНТИ 87.15.03

БАК 1.3.6

Лидары дифференциального поглощения для мониторинга парниковых газов в атмосфере

Романовский О. А.*

¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634055,*

г. Томск, пл. Академика Зюева, 1

email: roa@iao.ru

Повышение в атмосфере уровня концентраций парниковых газов за счет естественного и антропогенного воздействия в настоящее время считается определяющим фактором изменения климата и глобального потепления. Это явление носит название парникового эффекта [1] или способности атмосферы задерживать часть теплового излучения поверхности планеты. В связи с этим существует актуальная необходимость в развитии новых технологий мониторинга парниковых газов, а именно лазерных дистанционных (лидарных) систем, которые позволяют проводить, в отличие от стандартных контактных методов газоанализа, более информативные измерения концентраций парниковых газов.

Лидары (*Light Detection and Ranging*) позволяют исследовать уровень концентраций парниковых газов, идентифицировать выбросы органических и других газовых примесей [2, 3].

Развитие лидарных методов зондирования для контроля состояния атмосферы дает, в отличие от стандартных методов газоанализа, возможность оперативного бесконтактного получения данных для изучения состава атмосферы. При этом из лидарных методов восстановления профилей концентраций парниковых газов можно выделить метод дифференциального поглощения (МДП или DIAL), имеющий наибольшую чувствительность.

Активное развитие систем генерации лазерного излучения, преобразователей частот, фотодетектирующих устройств и последующая разработка на их основе новых лидарных систем дистанционного газоанализа атмосферы стимулирует исследователей к активной постановке задач зондирования парниковых газов атмосферы. Наиболее часто используемыми на практике для получения информации о распределении концентраций газов остаются системы, опирающиеся на классический метод дифференциального поглощения, либо его многочастотные модификации.

В качестве источника лазерного излучения для лидарных систем наиболее активно используются параметрические генераторы света и лазерные диоды. По сей день уровень освоенности как ультрафиолетового, так и инфракрасного диапазона для лидарного контроля газового состава атмосферы является недостаточным, в связи с этим сохраняется необходимость проведения исследовательских работ, направленных на расширение возможностей технологий дистанционного зондирования парниковых газов в этих диапазонах спектра.

В докладе приведены характеристики и описание дифференциальных лидаров для мониторинга метана, углекислого газа, водяного пара, озона и других газовых компонент, разработанных как в Российской Федерации, так и за рубежом. Особое внимание уделено лидарным системам, созданным за последние годы в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г. Томск).

Выполнены систематизация и анализ результатов разработки наземных стационарных и мобильных лидарных систем дифференциального поглощения для лазерного дистанционного зондирования основных парниковых газов в атмосфере за последние годы.

В целом следует отметить, что основной интерес в последнее время проявляется к созданию мобильных лидарных систем дифференциального поглощения для зондирования основных парниковых газов – метана, двуокиси углерода, водяного пара и озона, при этом вопросам разработки лидаров для зондирования остальных, менее значимых для парникового эффекта уделяется не так много внимания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2024-557 от 25.04.2024)

Список литературы

1. Елисеев А.В., Мохов И.И. Парниковый эффект // Большая российская энциклопедия.– Москва, 2014. Т. 25.– 368 с.
2. Романовский О. А., Яковлев С. В., Садовников С. А., Невзоров А. А., Невзоров А. В., Харченко О. В., Кравцова Н. С., Кистенев Ю. В. Наземные стационарные лидары дифференциального поглощения для мониторинга парниковых газов в атмосфере // Оптика атмосферы и океана.– 2025.– Т. 38. – № 01. - С. 72-84. DOI: 10.15372/AOO20250109
3. Romanovskii O.A., Kistenev Yu.V., Yakovlev S.V., Nevzorov A.A., Nevzorov A.V., Sadovnikov S.A., Kharchenko O.V. Mobile ground-based differential absorption lidar systems for atmospheric greenhouse gas sensing: a review // Applied Spectroscopy Reviews. 2025. V. 60. Article number 2508822. 47 p. DOI:10.1080/05704928.2025.2508822

Differential absorption lidars for monitoring greenhouse gases in the atmosphere

Romanovskii O. A.*

*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 634055, Tomsk, Academician Zuev sq., 1
email: roa@iao.ru*

The increase in the level of greenhouse gas concentrations in the atmosphere due to natural and anthropogenic impacts is currently considered the determining factor in climate change and global warming. This phenomenon is called the greenhouse effect [1] or the ability of the atmosphere to retain part of the thermal radiation of the planet's surface. In this regard, there is an urgent need to develop new technologies for monitoring greenhouse gases, namely laser remote (lidar) systems, which allow, in contrast to standard contact methods of gas analysis, more informative measurements of greenhouse gas concentrations.

Lidars (Light Detection and Ranging) allow to study the level of greenhouse gas concentrations, identify emissions of organic and other gas impurities [2, 3]. The development of lidar sensing methods for monitoring the state of the atmosphere provides, in contrast to standard gas analysis methods, the ability to quickly obtain contactless data to study the composition of the atmosphere. At the same time, among lidar methods for reconstructing greenhouse gas concentration profiles, the differential absorption method (DIAL) can be distinguished, which has the highest sensitivity.

Active development of laser radiation generation systems, frequency converters, photodetectors and subsequent development of new lidar systems for remote gas analysis of the atmosphere based on them stimulates researchers to actively set tasks for sensing greenhouse gases in the atmosphere. The most frequently used in practice to obtain information on the distribution of gas concentrations remain systems based on the classical differential absorption method or its multi-frequency modifications. Parametric light generators and laser diodes are most actively used as a source of laser radiation for lidar systems.

To this day, the level of development of both the ultraviolet and infrared ranges for lidar monitoring of the gas composition of the atmosphere is insufficient, in connection with this, there remains a need to conduct research aimed at expanding the capabilities of greenhouse gas remote sensing technologies in these spectral ranges.

The report presents the characteristics and description of differential lidars for monitoring methane, carbon dioxide, water vapor, ozone and other gas components developed both in the Russian Federation and abroad. Particular attention is paid to lidar systems created in recent years at the V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Tomsk).

The systematization and analysis of the results of the development of ground-based stationary and mobile lidar systems of differential absorption for laser remote sensing of the main greenhouse gases in the atmosphere in recent years have been carried out.

In general, it should be noted that the main interest in recent years has been in the creation of mobile differential absorption lidar systems for sensing the main greenhouse gases - methane, carbon dioxide, water vapor and ozone, while not much attention has been paid to the development of lidars for sensing others, less significant for the greenhouse effect.

The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2024-557 dated 25.04.2024).

References

1. Eliseev A.V., Mokhov I.I. Greenhouse effect // Great Russian Encyclopedia. Moscow, 2014. Vol. 25. 368 p.
2. Romanovskii O.A., Yakovlev S.V., Sadovnikov S.A., Nevzorov A.A., Nevzorov A.V., Kharchenko O.V., Kravtsova N.S., Kistenev Yu.V. Ground-based stationary differential absorption lidars for monitoring greenhouse gases in the atmosphere . // Optics of the atmosphere and ocean. - 2025. - T. 38. - No. 01. - P. 72– 84. DOI: 10.15372/AOO20250109

3. Romanovskii O.A., Kistenev Yu.V., Yakovlev S.V., Nevzorov A.A., Nevzorov A.V., Sadovnikov S.A., Kharchenko O.V. Mobile ground-based differential absorption lidar systems for atmospheric greenhouse gas sensing: a review // *Applied Spectroscopy Reviews*. 2025. V. 60. Articlenumber 2508822. 47 p. DOI:10.1080/05704928.2025.2508822

УДК 535.34:537.632.5
ГРНТИ 29.31.26, 31.19.29
БАК 1.3.6

Влияние паров меркаптанов и сероводорода на работу анализатора паров ртути на основе поперечного эффекта Зеемана

*Тихомиров А. А., Татур В. В.

*Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3
email: tikhomirov@imces.ru, tatur@imces.ru*

При измерении содержания паров ртути (Hg) в технологических процессах, в том числе при подготовке к транспортировке природного газа, применяются методы атомно-абсорбционного анализа [1]. При этом используются анализаторы концентрации паров Hg, основанные на продольном и поперечном эффекте Зеемана [2] и работающие в УФ-диапазоне. На работу таких анализаторов существенное влияние оказывают примесные газы, которые имеют полосы поглощения вблизи $\lambda_0 = 253,7$ нм [3, 4].

В докладе представлены результаты экспериментов по влиянию паров газовой смеси сероводорода и меркаптанов ($\text{H}_2\text{S} + \text{CH}_3\text{SH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$) на измерение концентрации ртути в смеси с этими газами. Показано отличие влияния смеси этих газов на измерение концентрации Hg в присутствии ацетона ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$), бензола (C_6H_6) и толуола ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМКЭС СО РАН (проект № FWRG-2021-0006).

Список литературы

1. Ганеев А.А., Шолупов С.Е., Пупышев А.А., Большаков А.А., Погарев С.Е. Атомно-абсорбционный анализ: учебное пособие.— СПб.: Изд-во "Лань", 2011.— 304 с.
2. Фриш С.Э. Оптические спектры атомов.— М.: ГИФМЛ, 1963.— 640 с.
3. Татур В.В., Тихомиров А.А. Влияние селективного поглощения примесными газами на результаты измерений в атомно-абсорбционных анализаторах ртути на основе эффекта Зеемана // *Оптики атмосферы и океана*.— 2022.— Т.35.— №.7.— С. 594- 598. DOI: 10.15372/AOO20220710.
4. Li Chuan Xin, Si Fu-Qi, Liu Wen-Qing, Zhou Hai-Jin, Jiang Yu, Hu Ren-Zhi. Transverse Zeeman background correction method for mercury measurement // *Chin. Phys. B*. 2014 V.23. No 10. P. 107104-1– 107104-6. DOI: 10.1088/1674-1056/23/10/107104.

The effect of mercaptan and hydrogen sulfide vapors on the operation of the mercury vapor analyzer based on the Zeeman transverse effect

**Tikhomirov A. A., Tatur V.V.*

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 634055, Russia,
Tomsk, Akademicheskii ave. 10/3*

email: tikhomirov@imces.ru, tatur@imces.ru

Atomic absorption analysis methods are used to measure mercury (Hg) vapor content in technological processes, including in preparation for natural gas transportation [1]. In this case, Hg vapor concentration analyzers based on the longitudinal and transverse Zeeman Effect [2] and operating in the UV range are used. The operation of such analyzers is significantly influenced by impurity gases, which have absorption bands near $\lambda_0 = 253.7$ nm [3, 4]. The report presents the results of experiments on the effect of vapors of a gas mixture of hydrogen sulfide and mercaptans ($\text{H}_2\text{S} + \text{CH}_3\text{SH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$) on the measurement of mercury concentration in a mixture with these gases. The difference between the effect of a mixture of these gases on the measurement of Hg concentration in the presence of acetone ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$), benzene (C_6H_6) and toluene ($\text{C}_6\text{H}_5\text{H}_3$) is shown.

The work was performed within the framework of the state assignment of IMKES SB RAS (project no. FWRG-2021-0006).

References

1. Ganeev A.A., Sholupov S.E., Pupyshev A.A., Bolshakov A.A., Pogarev S.E. Atomic absorption analysis: a tutorial. - St. Petersburg: Lan Publishing House, 2011. - 304 p.
2. Frish S.E. Optical spectra of atoms. - Moscow: GIFML, 1963. - 640 p.
3. Tatur V.V., Tikhomirov A.A. Influence of selective absorption by impurity gases on the results of measurements in atomic absorption analyzers of mercury based on the Zeeman effect // Optics of the atmosphere and ocean. - 2022. - Vol. 35. - No. 7. - P. 594- 598. DOI: 10.15372 / AOO20220710.
4. Li Chuan Xin, Si Fu-Qi, Liu Wen-Qing, Zhou Hai-Jin, Jiang Yu, Hu Ren-Zhi. Transverse Zeeman background correction method for mercury measurement // Chin. Phys. B. 2014 V.23. No. 10. P. 107104-1 □ 107104-6. DOI: 10.1088/1674-1056/23/10/107104.

УДК 551.508.77:681.785.4

ГРНТИ 29.31.29

БАК 1.3.6

Измеритель параметров снежных осадков на базе лазерного дисдрометра

**Тихомиров А. А., Кальчихин В.В., Кобзев 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, vvk@imces.ru, kaa@imces.ru*

В настоящее время на большинстве метеостанций Росгидромета наблюдения за снежными осадками осуществляются с использованием визуального контроля и традиционных приборов, для снятия показаний которых требуется участие человека. В качестве возможного решения задачи автоматизации таких наблюдений предлагается созданный в Институте мониторинга

климатических и экологических систем СО РАН экспериментальный образец оптического измерителя параметров снежных осадков.

Прибор является модифицированной версией лазерного дисдрометра, предназначенного для измерения параметров жидких осадков [1, 2], доработанной с учетом специфики измерений частиц снега в условиях низких температур. Основными отличиями конструкции измерителя параметров снежных осадков от конструкции измерителя параметров дождя являются закрытая от горизонтального ветра измерительная площадка, отсутствие на корпусе защиты от разбрызгивания и система обогрева электронных и оптических модулей.

Лабораторные и натурные испытания созданного лазерного измерителя продемонстрировали возможность его применения для измерений микроструктурных характеристик снежных осадков на открытых площадках в условиях низких температур.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМКЭС СО РАН (проект № FWRG-2021-0006).

Список литературы

1. Kal'chikhin V. V., Kobzev A. A., Korol'kov V.A., Tikhomirov A.A. Determination of the Rate of Fall of Rain Drops in Measurements of Their Parameters by an Optical Rain Gauge // *Measurement Techniques*, 2017. V. 59, No. 11. P.1175- 1180. DOI: 10.1007/s11018-017-1111-9.
2. Кальчихин В.В., Кобзев А.А., Тихомиров А.А., Филатов Д.Е. Лазерный измеритель интегральных и микроструктурных характеристик атмосферных осадков ОПТИОС // *Лазеры. Измерения. Информация.* – 2021. – Т. 1. – № 1. – С. 23-32.

Snowfall parameter meter based on laserdisdrometer

*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

e-mail: *tikhomirov@imces.ru, vvk@imces.ru, kaa@imces.ru

Currently, at most Roshydromet weather stations, snowfall observations are carried out using visual control and traditional instruments required human participation. The experimental model of the optical snowfall parameter meter created at the Institute for Monitoring of Climate and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences is proposed as a possible solution to the task of automating such observations.

The device is a modified version of the laser disdrometer designed to measure liquid precipitation parameters [1, 2]. The laser disdrometer is amended to take into account the specifics of measuring snow particles in low-temperature conditions. The main differences between the snowfall parameter meter and the rain gauge are the measuring area closed from horizontal wind, the absence of splash protection, and the heating system for the electronic and optical modules.

Laboratory and field tests of the developed laser measuring device demonstrated the possibility of its use for measuring the microstructural characteristics of snowfall in open air at low temperatures.

References

1. Kal'chikhin V.V., Kobzev A.A., Korol'kov V.A., Tikhomirov A.A. Determination of the Rate of Fall of Rain Drops in Measurements of Their Parameters by an Optical Rain Gauge // Measurement Techniques, 2017. V. 59, No. 11. P.1175- 1180. DOI: 10.1007/s11018-017-1111-9.
- 2.. Kal'chikhin V.V, Kobzev A.A., Tikhomirov A.A., Filatov D.E. Laser Meter for Integral and Microstructural Characteristics of Atmospheric Precipitation OPTIOS // Lasers. Measurement. Information. 2021. V. 1. No 1 (1). P. 23- 32. (in Russian).

УДК 69.053, 69.058

ГРНТИ 67.01.81, 90.27.27

ВАК 2.1.7

Применение лидаров при построении облака точек и обработка данных в строительстве

Мкртычев О. В.

Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

Российский государственный социальный университет, Москва, Россия

e-mail: oleg214@ya.ru

В работе рассматриваются лазерные измерения с помощью технологии лидара в строительстве. Лидар, выполняющий роль лазерного дальномера, но в отличие от него генерирующий порядка 10^6 имп/с, создаёт данные облака точек. Эти данные могут храниться в открытых форматах, типа двоичного формата *.las, служащего отраслевым стандартом для обмена и хранения данных облаков точек, или также открытого формата *.pcd (<https://pointclouds.org/>). Для обработки полученного массива информации требуется специальные методы обработки больших массивов данных. И здесь можно использовать как имеющиеся приложения (Cloud Compare, Trimble Real Works, Point Cloud Library), которые имеют различные возможности в регистрации, фильтрации, сегментации и визуализации обрабатываемых данных, так и самим создавать необходимый программный код. В последнем случае можно предложить работу в Python, с использованием целого пакета уже созданных модулей для работы с облаками точек (PyLas, Open3D, PDAL, pypcd, pyntcloud) или создания собственных модулей и библиотек.

Список литературы

- 1.Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. Лидарное зондирование молекулярного водорода.– Санкт-Петербург, 2023.
- 2.Шеманин В. Г., Чербачи Ю. В., Мкртычев О. В. Лидарное зондирование технологических газовых потоков в производстве строительных материалов. В книге: Архитектура. Строительство. Информационные технологии – 2023 (АСИТ–2023). Труды I международной научно-практической конференции.– Новороссийск, 2023.– С. 70-71.
3. Zhang, W.; Qi, J.; Wan, P.; Wang, H.; Xie, D.; Wang, X.; Yan, G. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. //Remote Sens. 2016, 8, 501. <https://doi.org/10.3390/rs8060501>.

4. Carmelo Mineo, Stephen Gareth Pierce, Rahul Summan, Novel algorithms for 3D surface point cloud boundary detection and edge reconstruction. //J. Computational Design and Engineering, V. 6, Iss. 1, 2019, P. 81– 91, <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.02.001>.
5. Мкртычев О. В. Применение распределения Вейбулла-Гнеденко для диагностики прочности элементов строительных конструкций. В книге: Архитектура. Строительство. Информационные технологии –2023 (АСИТ-2023): Труды I международной научно-практической конференции.– Новороссийск, 2023.– С. 53-54.
6. Мкртычев О. В. Применение лазерных технологий при проведении линейно-угловых измерений в строительстве: В сборнике: Лазерно-информационные технологии 2024. Труды XXXII международной научной конференции.– Новороссийск, 2024.– С. 174-175.

The use of lidars in point cloud construction and data processing in construction

Mkrtychev O.V.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia Russian State Social University, Moscow, Russia

e-mail: oleg214@ya.ru

The work considers laser measurements using lidar technology in construction. Lidar, which acts as a laser rangefinder, but unlike it generates about 10^6 pulses/s, creates point cloud data. This data can be stored in open formats, such as the binary*.las format, which serves as the industry standard for point cloud data exchange and storage, or the open *.pcl format (<https://pointclouds.org/>). To process the received information, special methods of processing large amounts of data are required. And here you can use both existing applications (CloudCompare, TrimbleRealWorks, PointCloudLibrary), which have various capabilities in registration, filtering, segmentation and visualization of processed data, and create the necessary program code yourself. In the latter case, you can offer a job in Python, using a whole package of already created modules for working with point clouds (Pylas, Open3D, PDAL, pypcd, pyntcloud) or creating your own modules and libraries.

References

1. Privalov V.E., Fotiadi A.E., Shemanin V.G. Lidar sensing of molecular hydrogen. Saint Petersburg, 2023.
2. Shemanin V.G., Cherbachi Yu.V., Mkrtychev O.V. Lidar sensing of technological gas flows in the production of building materials. In the book: Architecture. Construction. InformationTechnology –2023 (ASIT–2023). Proceedings of the first International Scientific and Practical Conference. Novorossiysk, 2023. P.70- 71.
3. Zhang, W.; Qi, J.; Wan, P.; Wang, H.; Xie, D.; Wang, X.; Yan, G. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. //Remote Sens. 2016, 8, 501. <https://doi.org/10.3390/rs8060501>.
4. Carmelo Mineo, Stephen Gareth Pierce, Rahul Summan. Novel algorithms for 3D surface point cloud boundary detection and edge reconstruction. // J. Computational Design and Engineering, V. 6, Iss. 1, 2019, P. 81– 91, <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.02.001>.

5. Mkrtychev O.V. Application of the Weibull- Gnedenko distribution to diagnose the strength of building structure elements. In the book: Architecture. Construction. Information Technology –2023 (ASIT-2023). Proceedings of the first International Scientific and Practical Conference. Novorossiysk, 2023. P.53- 54.
6. Mkrtychev O.V. Application of laser technologies in linear-angular measurements in construction. In the collection: Laser information technologies 2024. Proceedings of the XXXII International Scientific Conference. Novorossiysk, 2024. P.174- 175.

УДК 623.746.-519

ГРНТИ 47.49.27

БАК 01.04.21

Адаптивное сопровождение БЛА при составлении цифровых карт труднодоступных территорий с применением лазерного зондирования атмосферы

¹Кузина Е.И., ²Кузин П. И.

¹*Военная академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, 194064, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект, д. 3*

²*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5*
email: kuzik78@mail.ru

Предложен способ адаптивного сопровождения беспилотного летательного аппарата с применением лазерного зондирования атмосферы, в условиях сложной сигнально-помеховой обстановки с учетом воздействия неоднородного состояния слоев атмосферы [1]. Способ обеспечит сокращение временных затрат на обеспечение управления летательным аппаратом при изменении внешней среды, а также повысит качество, своевременность и достоверность мониторинга объектов при составлении карт на труднодоступных территориях. Достоверность и своевременность управления гарантирована, если обеспечивается энергетическая доступность при мониторинге объектов с вероятностью электромагнитной доступности не менее 0,9[2].

Список литературы

1. Кузин П. И. и др. Метод повышения помехозащищенности при приеме информации в системах радиосвязи СВЧ-диапазонов // Радиотехника.– 2020.– Т. 84. №8 (16).– С. 5- 12.
2. Липатников В.А., Царик О.В. Методы радиоконтроля. теория и практика: монография. Сер. "Система технической защиты информации в РФ".– СПб.: Издательство: «Нацразвитие», 2018.– С.541.

Adaptive UAV tracking in digital mapping of hard-to-reach areas using laser sensing of the atmosphere

¹Kuzina E.I., Kuzin P.I.

¹*Military Academy of Communications named after. Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, 194064, St. Petersburg, Tikhoretsky prospect, 3*

²*St. Petersburg State Forestry University named after. S.M. Kirova, 194021, St. Petersburg, Institutsky lane, 5*
email: kuzik78@mail.ru

A method for adaptive tracking of an unmanned aerial vehicle using laser sensing

of the atmosphere in a complex signal-jamming environment is proposed, taking into account the impact of the inhomogeneous state of the atmospheric layers [1]. The proposed method will reduce the time costs for ensuring control of the aircraft when the external environment changes, and will also improve the quality, timeliness and reliability of monitoring objects when compiling maps in hard-to-reach areas. The reliability and timeliness of control are guaranteed if energy availability is ensured when monitoring objects with a probability of electromagnetic availability of at least 0.9 [2].

References

1. Kuzin P. I. et al. Method of increasing noise immunity when receiving information in microwave radio communication systems. Radio Engineering. 2020. Vol. 84. No. 8 (16). P. 5- 12.
2. Lipatnikov V. A., Tsarik O. V. Radio monitoring methods. theory and practice. Monograph. Ser. "System of technical protection of information in the Russian Federation" St. Petersburg, 2018 Publisher: "Natsrazvitie" P. 541.

УДК 504.064+681.785

ГРНТИ 70.81.07

БАК 2.2.8

Искусственный интеллект в обработке спектра исследуемого вещества

¹В.А. Алексеев, ¹В.П. Усольцев, ²*С.И. Юран

¹Ижевский ГТУ имени М.Т. Калашникова, 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7

²Удмуртский ГАУ, 426069, Россия, г.Ижевск, ул. Студенческая, 11

email:*yuran-49@yandex.ru

Для обнаружения веществ в жидкой среде используют спектроскопию с использованием спектра, полученного при зондировании жидкости лазерным излучением на нескольких длинах волн. Подобного рода задачи возникают при необходимости обнаружения вредных веществ в случаях запроектных аварий на системах очистки сточных вод промышленных объектов [1].

Для оперативности необходимо выполнить обнаружение вещества в аварийных сбросах в реальном масштабе времени. При этом соотношения между отдельными составляющими спектра сохраняются независимо от концентрации вещества в жидкости. Следовательно, обнаружение вещества можно проводить методом, обладающим инвариантностью к линейному изменению амплитуды составляющей полученного спектра.

Указанным свойством обладает относительное описание спектра с использованием отношения порядка.

Важным элементом является задание эталонов веществ, представленных в относительном описании [2]. Для этого необходим лабораторный стенд с возможностью получения спектров веществ с выбранным шагом последовательности длин волн лазерного излучения.

Список литературы

1. Барский А. Б. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления: монография / А. Б. Барский. - Москва: РУСАЙНС, 2024. - 186 с.

2. Формирование эталонов для обнаружения аварийных сбросов параллельным лазерным зондированием потока жидкости / В.А. Алексеев, В.П. Усольцев, Д.Н. Шульмин, С.И. Юран // Материалы 17-й Международной НТК, 2024, Минск, БНТУ. -С. 306- 307.

Artificial intelligence in processing the spectrum of the test substance

¹V.A. Alekseev, ¹V.P. Usoltsev, ²*S.I. Yuran

¹Izhevsky State Technical University named after M.T. Kalashnikov, 426069, Russia, Izhevsk, Studencheskaya str., 7

²Udmurt State Agrarian University, 426069, Russia, Izhevsk, Studencheskaya str., 11
email: * yuran-49@yandex.ru

Spectroscopy is used to detect substances in a liquid medium using a spectrum obtained by probing a liquid with laser radiation at several wavelengths. Such tasks arise when it is necessary to detect harmful substances in cases of out-of-design accidents in wastewater treatment systems of industrial facilities [1].

For efficiency, it is necessary to detect the substance in emergency discharges in real time. At the same time, the ratios between the individual components of the spectrum are maintained regardless of the concentration of the substance in the liquid. Therefore, the detection of a substance can be carried out by a method that is invariant to a linear change in the amplitude of the component of the obtained spectrum.

The relative description of the spectrum using the order relation has this property. An important element is the setting of standards for substances presented in the relative description [2]. This requires a laboratory bench with the ability to obtain spectra of substances with a selected step in the sequence of laser radiation wavelengths.

References

1. Barsky A. B. Artificial intelligence and intelligent control systems: a monograph / A. B. Barsky. - Moscow: RUSAINS, 2024. - 186 p.
2. Formation of standards for the detection of emergency discharges by parallel laser sensing of liquid flow / V.A. Alekseev, V.P. Usoltsev, D.N. Shulmin, S.I. Yuran // Proceedings of the 17th International Scientific and Technical Conference, 2024, Minsk, Belarusian National Technical University. - P. 306- 307.

УДК 711.4-112

ГРНТИ 67.25.19

ВАК 18.00.04

Анализ результатов использования лазерных методов при мониторинге аэрозольного загрязнения воздуха Новороссийской агломерации

Куля Д.Н., Дьяченко В.В.

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, 353900, Россия, г. Новороссийск, ул. Карла Маркса, д. 20

email: Dashshok2020@gmail.com, * v-v-d@mail.ru

Новороссийск – один из самых экологически неблагополучных городов России с точки зрения аэрозольного загрязнения. Здесь находится несколько

цементных заводов, производящих тонкодисперсные аэрозольные частицы, которые являются носителями микроэлементов, как изначально, так и сорбируя на своей поверхности элементы, находящиеся в парогазовой форме. От размера частиц аэрозоля зависит как дальность переноса, «время жизни аэрозолей» [1], но и их геохимическая специфика и токсичность [2].

Неудовлетворенность жителей города существующим контролем запыленности воздуха привела к разработке в 2022 году проекта «За чистый Новороссийск» [3]. Проект заключается в формировании сети лазерных датчиков, с помощью которых проводится анализ воздуха и формируется база данных состояния воздуха, доступная общественности. Датчики определяют концентрацию частиц PM_{2,5} и PM₁₀, а также влажность. Их действие основано на регистрации рассеянного частицами пыли лазерного излучения на длине волны 650 нм. Измерения проводятся круглосуточно, каждые 150 секунд и передаются по wi-fi в специальное мобильное приложение, где систематизируются. Приведем краткий анализ мониторинга запыленности воздуха с нескольких датчиков, размещенных в разных районах города, отличающихся факторами формирования, уровнем концентрации и динамикой аэрозольного загрязнения. Более детально они рассмотрены в [4, 5].

Территория Новороссийска очень контрастна с точки зрения аэрозольного загрязнения. Один из наиболее загрязненных районов города – район с. Борисовка, где расположен мусорный полигон. Уровень аэрозольного загрязнения здесь превышает ПДК в течение 2-3 месяцев в году. А возгорание мусора на полигоне приводит к резкому ухудшению ситуации. При этом отмечаются превышения ПДК в 20, 30 и даже 40 раз, на протяжении 1-2 недель, пока горит свалка. В прошлом году это повторялось дважды, а в этом один раз. Поэтому мусорный полигон представляет собой опасность как для местных жителей, так и экологической обстановки города в целом. Другой причиной возникновения аэрозолей является работа промышленных предприятий, которые выбрасывают в атмосферный воздух множество твердых частиц (сажа, зола, пыль) и различных газов (оксиды углерода и азота, соединения серы).

В г. Новороссийске находятся цементные заводы, производящие 17- 25 % эмиссии аэрозолей от стационарных источников всего Краснодарского края. Для изучения их влияния на воздух были рассмотрены показания с датчиков, расположенных рядом с цементным заводом «Пролетарий» и цемзаводом Верхнебаканский. Содержание частиц в атмосферном воздухе в обоих случаях соответствует ПДК, но среднее содержание повышено. Причем, в поселке Верхнебаканский оно ниже. Возможно, это объясняется тем, что поселок расположен на перевале, который хорошо продувается всеми ветрами, а это способствует выносу и разубоживанию пыли в АПС данной местности. С другой стороны, в случае масштабных выбросов пыли цемзаводом это бы не спасло район от загрязнения. Как было в 80- 90-х годах, когда весь поселок и деревья были покрыты пылью.

К техногенным источникам аэрозолей относится и автотранспорт. Транспорт обеспечивает более интенсивное загрязнение воздуха, чем деятельность заводов, но также ниже ПДК. Деятельность цемзаводов обеспечивает

загрязнение атмосферы более мелкими частицами $PM_{2,5}$, а деятельность автотранспорта загрязняет атмосферу как крупными частицами PM_{10} , так и мелкими $PM_{2,5}$ [6].

Исследования показывают, что формирование повышенных концентраций, потенциально токсичных взвешенных частиц в атмосфере возможно даже при отсутствии ярко выраженного техногенного загрязнения, а в результате взаимодействия метеорологических, гидрологических, геоморфологических и градостроительных особенностей, а также низкого уровня озеленения и благоустройства. Все это необходимо учитывать при оценке состояния окружающей среды и проектирования населенных пунктов. Такой факт обнаружен в курортном пригороде – п. Мысхако [4, 5]. Особо следует отметить влияние на запыленность атмосферы влажности воздуха и близость водного объекта. Поэтому одно из самых низких значений среднегодовой концентрации обнаруживается в центре города, на набережной.

Дифференцированная оценка источников загрязнения воздуха пылью свидетельствует о, в целом, благополучной ситуации с контролем негативного влияния на окружающую среду цемзаводов и критической важности контроля транспортного загрязнения (преимущественно от грузовых дизельных машин). Но самое важное это контроль состояния полигона ТКО и предупреждение его возгораний, которые рожают масштабное загрязнение окружающей среды токсичными продуктами горения. В обоих случаях формируется большое количество сажи, загрязняющей воздух. Кроме того, один фактор, например ветер в зависимости от силы и направления, может, как уменьшать концентрацию взвешенных частиц (п. Верхнебаканский, набережная Новороссийска), так и увеличивать (п. Мысхако) ее в конкретной точке. Рассматривая показания датчиков загрязнения воздуха, можно с уверенностью сказать – на содержание взвешенных частиц в атмосфере во многом влияет влажность воздуха. Это подчеркивает необходимость влажной уборки в городе и ее влияние на подавление распространения аэрального загрязнения в окружающей среде. Другим фактором очищения атмосферы является озеленение.

В связи с этим, для получения объективных данных о процессах формирования воздушного загрязнения, своевременного предупреждения о масштабном переносе ЗВ, а также создания моделей массопереноса в атмосфере и идентификации аэрозолей различного происхождения, необходимо более широкое распространение инициативы жителей города в рамках проекта «За чистый Новороссийск» по размещению лазерных датчиков загрязнения воздуха и исследование атмосферы населенных пунктов методами лазерного зондирования. При этом важным фактором повышения эффективности работы системы мониторинга является расширение перечня контролируемых параметров.

Для определения источника различных аэрозолей атмосферного воздуха или техногенных аэродисперсных потоков, целесообразно использование многоволновых лидаров, которые позволяют дистанционно определить микроразлические характеристики аэрозольных частиц [6].

Список литературы

1. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. – М., 1998. – 413 с.
2. «За чистый Новороссийск»: [Электронный ресурс]. URL: <https://vk.com/zachin23>. (Дата обращения: 1.09.2024).
3. 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. – Т. 44, № 4. – С. 46- 58. – DOI 10.15372/GIPR20230405.
4. Дьяченко В.В., Куля Д.Н. Лазерное зондирование аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха над мусорным полигоном в г. Новороссийске // Лазеры. Измерения. Информация. – 2024. – Т. 4, № 4(16). – С. 45- 51.
5. Дьяченко В.В., Куля Д.Н., Мореходов А.А. Оптический мониторинг аэрозольного загрязнения воздуха в г. Новороссийске // Лазеры. Измерения. Информация. – 2024. – Т.4, № 3(15). – С. 37-45.
6. Дьяченко В.В., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Исследование дисперсного состава приземного атмосферного аэрозоля оптическими методами // ЛАЗЕР-ИНФОРМ. – 2005. – № 18.

Analysis of the results of using laser methods in monitoring aerosol air pollution in the Novorossiysk agglomeration

Kulya D.N., Dyachenko V.V.

Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) Kuban State Technological University, 20 Karl Marx St., Novorossiysk, 353900, Russia

email: Dashshok2020@gmail.com, *v-v-d@mail.ru

Novorossiysk is one of the most ecologically unfavorable cities in Russia in terms of aerosol pollution. There are several cement plants producing finely dispersed aerosol particles, which are carriers of trace elements, both initially and by sorbing elements in vapor-gas form on their surface. The size of aerosol particles depends on both the transport range and the "lifetime of aerosols" [1], as well as their geochemical specificity and toxicity [2]. The dissatisfaction of the city's residents with the existing control of air pollution led to the development of the project "For Clean Novorossiysk" in 2022 [3]. The project is to form a network of laser sensors that analyze the air and create a database of air conditions that is publicly available. The sensors detect the concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ particles, as well as humidity. Their action is based on the registration of 650 nm laser radiation scattered by dust particles. Measurements take place around the clock, every 150 s, and are transmitted via wi-fi to a special mobile application, where they are systematized. Here is a brief analysis of air dust monitoring from several sensors located in different areas of the city, which differ in formation factors, concentration level can show the dynamics of aerosol pollution. They are discussed in more detail in [4, 5]. The territory of Novorossiysk is very contrasting in terms of aerosol pollution. One of the most polluted areas of the city is the Borisovka village, where the landfill is located. The level of aerosol pollution here exceeds the maximum permissible concentration for 2-3 months a year. And the ignition of garbage at the landfill leads to a sharp deterioration of the situation. At the same time, the maximum permissible concentration is exceeded by 20, 30 and even 40 times, for 1-2 weeks, while the landfill is burning. Last year it happened twice,

and this year it happened once. Therefore, the landfill poses a danger to both local residents and the environmental situation of the city as a whole. Another reason for the appearance of aerosols is the work of industrial enterprises that emit to the atmospheric air a lot of solid particles (soot, ash, dust) and various gases (oxides of carbon and nitrogen, sulfur compounds). Novorossiysk is home to cement plants that produce 17-25% of aerosol emissions from stationary sources throughout the Krasnodar Territory. To study their effect on the air, readings from sensors located near the Proletarian cement plant and the Verkhnebakansky cement plant were examined. The content of particles in the atmospheric air in both cases corresponds to the maximum permissible concentration, but the average content is increased. Moreover, it is lower in the Verkhnebakansky village. Perhaps this is due to the fact that the village is located on a pass that is well blown by all winds, and this contributes to the removal and dilution of dust in the area atmosphere. On the other hand, in the case of large-scale dust emissions from the cement plant, this would not have saved the area from pollution. As it was in the 80s and 90s, when the whole village and the trees were covered with dust. Man-made sources of aerosols include auto transport. Transport provides more intense air pollution than factory activity, but it is also lower than the maximum permissible concentration. The activity of cement plants pollutes the atmosphere with smaller particles PM_{2.5}, and the activity of motor transport pollutes the atmosphere with both large particles PM₁₀ and small particles PM_{2.5} [6]. Studies show that the formation of elevated concentrations of potentially toxic suspended particles in the atmosphere is possible even in the absence of pronounced anthropogenic pollution, but as a result of the interaction of meteorological, hydrological, geomorphological and urban planning features, as well as a low level of landscaping. All this must be taken into account when assessing the state of the environment and designing settlements. This fact was studied in the resort suburb of Myskhako [4, 5]. Of particular note is the effect of humidity and proximity of a water body on the dustiness of the atmosphere. Therefore, one of the lowest values of the average annual concentration is found in the city center, on the embankment. A differentiated assessment of the sources of dust pollution in the air indicates, on the whole, a successful situation with the control of the negative impact on the environment of cement plants and the critical importance of controlling transport pollution (mainly from diesel trucks). But the most important thing is to control the condition of the waste at the landfill and prevent its fires, which cause large-scale environmental pollution with toxic combustion products. In both cases, a large amount of soot is formed, polluting the air. In addition, one factor, such as wind, depending on the strength and direction, can both reduce the concentration of suspended particles (Verkhnebakansky settlement, Novorossiysk Embankment) and increase it (Myskhako settlement) at a specific point. Considering the readings of air pollution sensors, it is safe to say that the content of suspended particles in the atmosphere is largely influenced by air humidity. This highlights the need for wet cleaning in the city and its impact on suppressing the spread of aerial pollution in the environment. Another factor in cleaning the atmosphere is landscaping. In this regard, in order to obtain objective data on the processes of air pollution formation, timely warning of large-scale airborne transport, as well as the creation

of models of mass transfer in the atmosphere and the identification of aerosols of various origins, it is necessary to expand the initiative of city residents within the framework of the project "For Clean Novorossiysk" to deploy laser air pollution sensors and study the atmosphere of populated areas by laser sensing methods. At the same time, an important factor in improving the efficiency of the monitoring system is the expansion of the list of controlled parameters. To determine the source of various aerosols of atmospheric air or man-made aerodisperse flows, it is advisable to use multi-waves lidars, which allow remote sensing of the micro-physical parameters of aerosol particles [6].

References

1. Dobrovolsky V.V. Fundamentals of biogeochemistry, M., 1998, 413p.
2. "For clean Novorossiysk": [Electronic resource]. URL: <https://vk.com/zachin23>. (Date of access: 1.09.2024).
3. Dyachenko V.V., Shemanin V.G., Vishnevetskaya V.V. Influence of technogenesis and geochemistry of aerosols on the state of the environment and the health of the population of Southern Russia // Geography and natural resources. 2023. V. 44, No.4. – P.46- 58. DOI 10.15372/GIPR20230405.
4. Dyachenko V.V., Kulya D.N. Laser sensing of aerosol pollution of atmospheric air over a landfill in Novorossiysk // Lasers. Measurements. Information. 2024. V. 4, No.4(16). P.45- 51.
5. Dyachenko V.V., Kulya D.N., Morekhodov A.A. Optical monitoring of aerosol air pollution in Novorossiysk // Lasers. Measurements. Information. 2024. V. 4, No.3(15). P.37- 45.
6. Dyachenko V.V., Charty P.V., Shemanin V.G. Investigation of the dispersed composition of surface atmospheric aerosol by optical methods // LASER-INFORM, No.18, 2005

УДК 551.510.41
ГРНТИ 87.15.03
БАК 1.3.6



Определение информативного спектрального диапазона для зондирования CO₂ с помощью диодной лазерной системы

**Харченко О. В.*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634055, г. Томск, пл. Зуева, 1
email: olya@iao.ru*

Углекислый газ (CO₂) является одним из основных газовых компонентов атмосферы, оказывающих влияние на парниковый эффект. Вклад CO₂ в парниковый эффект достигает 25 %. Поэтому разработка новых методов и средств дистанционного контроля и измерения частных случаев выбросов CO₂ в атмосферу является чрезвычайно актуальной задачей.

Для мониторинга концентрации углекислого газа перспективно использовать лазерные дистанционные (лидарные) системы, которые позволяют проводить, в отличие от стандартных контактных методов газоанализа, более

информативные измерения концентраций и выявлять динамику распространения выбросов [1].

Целью данной работы является поиск информативных спектральных диапазонов для разработки перестраиваемой диодной лазерной системы дистанционного зондирования CO_2 в атмосфере средних широт для решения задач мониторинга CO_2 в городской среде, а также вблизи мест локализованных выбросов и промышленных зон.

Для выбора наиболее предпочтительного для измерения CO_2 информативного спектрального диапазона в первую очередь были проведены расчеты во всей ближней ИК-области спектра. После определения приемлемых для зондирования микроонок прозрачности атмосферы было проанализировано современное состояние рынка лазерных диодов. Используя критерий коммерческой доступности лазерных диодов, спектральный диапазон поиска пришлось существенно снизить.

Согласно результатам предварительных оценок и учитывая озвученные факторы, наиболее предпочтительным для зондирования углекислого газа в диапазоне концентраций от фоновых значений до предельно допустимых оказался спектральный диапазон 1567 – 1573 нм. Для выбранных лазерных диодов можно проводить перестройку длины волны как в пределах изолированной линии поглощения $\text{CO}_2 \sim 1$ нм, так и в спектральном диапазоне на уровне нескольких нанометров, захватывая несколько линий в полосе поглощения CO_2 . В исследуемом диапазоне присутствуют линии O_3 , N_2O , CO , CH_4 , NH_3 , HCN , C_2H_2 , H_2S , но они не вносят достаточного для отображения вклада в суммарные спектры поглощения (поглощение менее 0.001 %).

Впоследствии диапазон длин волн был сокращён ещё больше, и принято решение применить изолированную линию поглощения углекислого газа на участке спектра 1572 – 1573 нм. Согласно данным HITRAN [2] в выбранном спектральном диапазоне отсутствует мешающего поглощения водяного пара. Именно этот диапазон использовался как целевой при последующей калибровке длины волны перестраиваемой диодной лазерной системы и экспериментальной апробации.

Для выбора изолированной линии поглощения CO_2 проведены расчеты для случая использования эталонной/газовой кюветы.

Также был проведен расчет спектров поглощения атмосферы в выбранном спектральном диапазоне с использованием базы данных HITRAN [2] и климатической модели атмосферы лета средних широт для горизонтальной/наклонной трассы зондирования 200 м в диапазоне концентраций CO_2 от фоновой (440 ppm) до предельно допустимой (4917 ppm).

Спектроскопический расчет проведен для вакуума, поэтому при экспериментальных оценках зондирования CO_2 необходимо проводить коррекцию спектральных расчетов с учетом показателя преломления воздуха.

Результаты полезны для калибровки системы на информативную длину волны зондирования CO_2 .

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2024-557 от 25.04.2024)

Список литературы

1. Романовский О. А., Яковлев С. В., Садовников С. А., Невзоров А. А., Невзоров А. В., Харченко О. В., Кравцова Н. С., Кистенев Ю. В. Наземные стационарные лидары дифференциального поглощения для мониторинга парниковых газов в атмосфере // Оптика атмосферы и океана. – 2025. – Т. 38. – № 01. – С. 72-84. DOI: 10.15372/AOO20250109
2. I. Gordon, L. Rothman, R. Hargreaves, R. Hashemi, E. Karlovets, F. Skinner, et. al., The HITRAN 2020 molecular spectroscopic database, J. Quant. Spectrosc. Rad. Transfer 277 (2022) 107949. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2021.107949>.

Determination of informative spectral range for CO₂ sensing using the diode laser system

*Kharchenko O.V.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 634055, Tomsk, Academician Zuev sq., 1
email: olya@iao.ru

Carbon dioxide (CO₂) is one of the main gaseous components of the atmosphere that affect the greenhouse effect. The contribution of CO₂ to the greenhouse effect reaches 25%. Therefore, the development of new methods and means of remote control and measurement of particular cases of CO₂ emissions into the atmosphere is an extremely urgent task.

To monitor the concentration of carbon dioxide, it is promising to use laser remote (lidar) systems, which make it possible to conduct, in contrast to standard contact methods of gas analysis, more informative measurements of concentrations and identify the dynamics of the propagation of emissions [1].

The purpose of this work is to search informative spectral ranges for a tunable diode CO₂ remote sensing laser system in a middle-latitude atmosphere to solve CO₂ monitoring problems in an urban environment, as well as near localized emissions and industrial areas.

To select the most informative spectral range for CO₂ measurement, first of all, calculations were carried out in the entire near IR region of the spectrum. After determining the atmospheric transparency microcells acceptable for sensing, the current state of the laser diode market was analyzed. Using the criterion of commercial availability of laser diodes, the spectral range of the search had to be significantly reduced.

According to the results of preliminary estimates and taking into account the voiced factors, the spectral range of 1567- 1573 nm turned out to be the most preferable for sensing carbon dioxide in the concentration range from background values to maximum permissible. For selected laser diodes, wavelength tuning can be performed both within the isolated CO₂ absorption line ~ 1 nm and in the spectral range at the level of several nanometers, capturing several lines in the CO₂ absorption band. O₃, N₂O, CO, CH₄, NH₃, HCN, C₂H₂, H₂S lines are present in the studied range, but they do not contribute enough to the total absorption spectra (absorption less than 0.001%).

Subsequently, the wavelength range was reduced even more, and it was decided to use an isolated carbon dioxide absorption line at 1572- 1573 nm spectrum. According to HITRAN [2], there is no interfering absorption of water vapor in the

selected spectral range. It was this range that was used as the target in the subsequent calibration of the wavelength of the tunable diode laser system and experimental approbation. To select an isolated absorption line, calculations CO₂ performed for the reference/gas cuvette case.

The atmospheric absorption spectra in the selected spectral range were also calculated using the HITRAN database [2] and the mid-latitude summer atmospheric climate model for a horizontal/inclined sounding path of 200 m in the CO₂ concentration range from background (440 ppm) to maximum permissible (4917 ppm).

The spectroscopic calculation was made for vacuum, therefore, in experimental estimates of CO₂ sensing, it is necessary to correct spectral calculations taking into account the air refractive index. The results are useful for calibrating the system to an informative CO₂ sensing wavelength.

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2024-557 dated 25.04.2024)

References

1. Romanovskii O.A., Yakovlev S.V., Sadovnikov S.A., Nevzorov A.A., Nevzorov A.V., Kharchenko O.V., Kravtsova N.S., Kistenev Yu.V., Ground-based Stationary Differential Absorption Lidars for Monitoring Greenhouse Gases in the Atmosphere // Atmospheric and Oceanic Optics, 2025, V. 38. No. 03. p. 345– 359.
2. I. Gordon, L. Rothman, R. Hargreaves, R. Hashemi, E. Karlovets, F. Skinner, et. al., “The HITRAN2020 molecular spectroscopic database,” Journal Quant. Spectrosc. Rad. Transfer, 277 (2022) 107949. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2021.107949>.

УДК 531.715.1

ГРНТИ 37.31.19

БАК 1.3.19

Применение пространственно-разнесенных лазерно-интерферометрических наблюдений для исследования связи тропических циклонов и землетрясений

^{1*} Александров Д.В., ¹Денисюк Р.Н., ¹Дубров М.Н.

¹Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова
РАН, 141190, Московская обл., г. Фрязино, пл. Введенского 1

email: *dmitry@aleksandrow.ru

Применение пространственно разнесенных (на расстояния 10³-10⁴ км) и синхронно работающих приборов позволяет выделять локальные и региональные (включая техногенные) геофизические сигналы на фоне глобальных природных явлений. Это также повышает достоверность исследований связи таких разнородных процессов, как тропические циклоны и землетрясения. Для выявления данной связи необходимо изучение вариаций физических параметров геофизической среды, в которой эти явления зарождаются и где происходит диссипация накопленной энергии. Наши многолетние исследования показывают, что методы пространственно-разнесенной лазерной интерферометрии являются эффективным источником получения необходимых данных, пригодных для дальнейшего статистического анализа.

В рамках этого направления на основе 11-летнего ряда данных о сильнейших землетрясениях, мировых метеорологических и океанологических данных дистанционного зондирования, дополненных многолетними собственными наблюдениями с помощью лазерно-интерферометрических методов и инструментов протяженностью 10- 400 м на Фрязинском лучеводном полигоне, получены новые результаты [1]. Они свидетельствуют о существовании причинно- следственной связи между интенсивными тропическими циклонами (тайфунами, ураганами) и сильнейшими землетрясениями. Проведенный статистический анализ активности циклонов, сопровождавших крупнейшие землетрясения ($M=7.8-9.1$) за 11-летний период, выявил специфическую особенность в динамике их суммарной интенсивности относительно момента землетрясения в очаге. Каждое из этих землетрясений было сильнейшим в своем году.

Зарегистрированы и проанализированы землетрясения 16.09.2015 г., $M 8.3$, Побережье Центрального Чили, и $M 7.7$ в Карибском море 28.01.2020 г. Данные, получены равноплечим интерферометром, включающим два 100-метровых отрезка, и неравноплечим 100-метровым интерферометром на лучеводной линии во Фрязино.

Полученные данные позволили предложить новый подход к триггерному эффекту инициирования сильных землетрясений при взаимодействии океана, атмосферы и литосферы. Процесс включает пространственно- временную циклическую последовательность зон низкого давления над надлитосферными плитами (период 3–4 недели). Для землетрясений $M=8-9$ длительность процесса (2–3 мес.) включает два или более цикла.

Анализ высокоточных данных, включающих измерения разрабатываемыми нами лазерными интерферометрами и полученных во время разрушительного турецкого землетрясения $M_w 7,8$ (06.02.2023 г.), при их сопоставлении с циклонической активностью показали возможность триггерного воздействия атмосферы на инициирование этого сейсмического события [2].

Финансирование: Данное исследование проводится в рамках государственного задания ИРЭ РАН.

Список литературы

1. Головачев С.П., Дубров М.Н., Волков В.А., Александров Д.В., Еремин И.С., Каленов Д.С. Исследование взаимосвязей атмосферы с океаном и литосферой на примере взаимодействия интенсивных тропических циклонов и сильнейших землетрясений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.– 2024.– Т. 21.– С. 99-111. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-99-111.
2. Volkov V., Dubrov M., Larionov I., Mrlina J., Polak V., Aleksandrov D., Golovachev S. Atmosphere and Lithosphere Interaction Could Triggered the 2023 $M_w 7.8$ Turkey Earthquake. In: Dmitriev, A., Lichtenberger, J., Mandrikova, O., Nahayo, E. (eds) Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors. STRPEP 2023 // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, P. 121–130. ISBN 978-3-031-50247-7 (Book Chapter, Springer Nature Switzerland AG 2023), Published 28 December 2023 (Scopus 2024) https://doi.org/10.1007/978-3-031-50248-4_13.

Application of Spatially Distributed Laser Interferometric Observations to Study the Connection Between Tropical Cyclones and Earthquakes

^{1*}Alexandrov D. V., ¹Denisiuk R. N., ¹Dubrov M. N.

¹*Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics Russian Academy of Sciences (Fryazino branch) 141190 Russia, Fryazino, Vvedenskogo sq. 1*

email: *dmitry@aleksandrow.ru

The application of spatially distributed (over distances of 10^3 - 10^4 km) and synchronously operating instruments allows for the isolation of local and regional (including anthropogenic) geophysical signals against the background of global natural phenomena. This also enhances the reliability of research into the connection between such diverse processes as tropical cyclones and earthquakes. To reveal this connection, it is necessary to study variations in the physical parameters of the geophysical environment where these phenomena originate and where the dissipation of accumulated energy occurs. Our long-term research shows that methods of spatially distributed laser interferometry are an effective source of the necessary data suitable for further statistical analysis.

Within this framework, based on an 11-year dataset of the strongest earthquakes, global meteorological and oceanological remote sensing data, supplemented by our own long-term observations using laser interferometric methods and instruments ranging from 10- 400 m in length at the Fryazino beam duct test site, new results have been obtained [1]. These results indicate the existence of a causal relationship between intense tropical cyclones (typhoons, hurricanes) and the strongest earthquakes. The conducted statistical analysis of cyclone activity accompanying the largest earthquakes ($M=7.8-9.1$) over the 11-year period revealed a specific feature in the dynamics of their total intensity relative to the time of the earthquake at the source. Each of these earthquakes was the strongest in its respective year.

The earthquakes of September 16, 2015, M 8.3, Central Chile Coast, and January 28, 2020, M 7.7 in the Caribbean Sea, were recorded and analyzed. The data were obtained using an equal- arm interferometer comprising two 100- meter segments and an unequal- arm 100- meter interferometer on the beam duct line in Fryazino. The obtained data allowed us to propose a new approach to the trigger effect initiating strong earthquakes during the interaction of the ocean, atmosphere, and lithosphere. The process involves a spatio- temporal cyclic sequence of low- pressure zones over the lithospheric plates (period 3–4 weeks). For earthquakes $M=8-9$, the process duration (2-3 months) includes two or more cycles.

Analysis of high-precision data, including measurements from laser interferometers developed by us and obtained during the destructive Turkish earthquake M_w 7.8 (February 6, 2023), when compared with cyclonic activity, revealed the possibility of a triggering effect of the atmosphere on the initiation of this seismic event [2].

Funding: The work is performing within a state task IRE RAS.

References

1. Golovachev S., Dubrov M., Volkov V., Aleksandrov D., Eremin I., Kalenov D. Study of interrelations between the atmosphere, ocean and lithosphere from the example of intense tropical cyclones and the strongest earthquakes interaction. //Sovremennye

- problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2024, V. 21, No. 4, P. 99- 111. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-99-111
2. Volkov V., Dubrov M., Larionov I., Mrlina J., Polak V., Aleksandrov D., Golovachev S. Atmosphere and Lithosphere Interaction Could Triggered the 2023 Mw 7.8 Turkey Earthquake. In: Dmitriev, A., Lichtenberger, J., Mandrikova, O., Nahayo, E. (eds) Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors. STRPEP 2023 // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, P. 121–130. ISBN 978-3-031-50247-7 (Book Chapter, Springer Nature Switzerland AG 2023), Published 28 December 2023 (Scopus 2024) https://doi.org/10.1007/978-3-031-50248-4_13.

УДК 528.8.044.6
ГРНТИ 29.33.51, 29.31.29
БАК 1.3.19

Корреляция сигнала микроджоульного аэрозольного лидара с выбросами аэроионов в период землетрясения на Камчатке 29.07.2025 UTC

^{1*}В.А. Завозин, ²академик РАН Е.И. Гордеев, ¹С.М. Першин, ³Л.Б. Безруков, ⁴В.С. Макаров, ⁵Р.Р. Акбашев, ¹Г.А. Болдин, ³А.К. Межох, ³С.В. Ингерман, ³В.С. Синёв,
³Н.Ю. Агафонова, ⁵В.Е. Глухов, ⁵Е.О. Макаров

¹ *Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

² *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия*

³ *Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия*

⁴ *Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*

⁵ *Камчатский филиал Единая геофизическая служба РАН,
Петропавловск-Камчатский, Россия*

email: * vzavozin@kapella.gpi.ru

Разработанный нами в 1991 г. микроджоульный безопасный для глаз лидар перспективен не только для зондирования среды обитания, изучения атмосферы Марса, но и для мониторинга сейсмических и вулканических процессов [1]. В 2019 г. мы установили аэрозольный лидар в тоннеле Баксанской нейтринной обсерватории в Приэльбрусье. За ~60 мин до землетрясений в Турции 06.02.2023 (10:24 и 12:02, UTC) мы зарегистрировали предвестники в виде двух коротких импульсов повышения сигнала лидара [2]. Для подтверждения достоверности этих выводов необходимы повторные измерения подобных событий, которые здесь весьма редки. Это стимулировало нас к развертыванию лидарного мониторинга вулканических и сейсмических процессов на Камчатке в подземной лаборатории КФ ФИЦ ЕГС РАН при поддержке академика РАН Е.И. Гордеева (сентябрь 2023 г.). Здесь по нашей инициативе был дополнительно установлен датчик аэроионов [3, 4]. В декабре (28.12.2023) был обнаружен гигантский рост показаний датчика концентрации отрицательных ионов (до 150000 см^{-3}), а также снижение коэффициента пропускания трассы зондирования, измеренного с помощью лидара. Позднее (30 и 31.12.2023 и 01.01.2024) были отмечены поднятия шлейфов пепла и газов над вулканом Ключевская сопка до высот 7, 9 и 6 км, соответственно. Таким образом, впервые была обнаружена корреляция сигнала

лов аэрозольного микрожюльноголидара и датчика ионов с вулканической активностью. Двухсуточное опережение вышеупомянутых сигналов относительно проявлений вулканической активности даёт основание рассматривать лидар и датчик ионов как инструменты для обнаружения возможных предвестников.

Недавно (29 июля 2025 г. 23:24:50 UTC) на Камчатке произошло мощное землетрясение. За несколько дней до этого события были зарегистрированы аномально высокие показания датчика концентрации аэроионов «Сапфир 3М» (до $400\,000\,000\text{ см}^{-3}$), а также при землетрясении было зарегистрировано повышение коэффициента аэрозольного рассеяния, зарегистрированного лидаром.

Таким образом, выявленная корреляция лидарного сигнала с тектоническими и вулканическими событиями дает основание заключить, что микрожюльный аэрозольный лидар с безопасным для глаз уровнем излучения можно рассматривать как новый инструмент для поиска предвестников землетрясений и вулканических извержений. Несомненно, что для проверки достоверности обнаруженных корреляций необходимо продолжение мониторинга указанных явлений.

Список литературы

1. Pershin S. M., Sobisevich A. L., Grishin M. Ya., Gravirov V. V., Zavozin V. A., Kuzminov V. V., Lednev V. N., Likhodeev D. V., Makarov V. S., Myasnikov A. V., & Fedorov A. N. (2020). Volcanic activity monitoring by unique LIDAR based on a diode laser. *Laser Physics Letters*, 17(11), 115607. <https://doi.org/10.1088/1612-202X/abbedc>
2. Першин С. М., Гордеев Е. И., Гаврилов В. В., Гришин М. Я., Завозин В. А., Леднёв В. Н., Лиходеев Д. В., Макаров В. С., Мясников А. В., Ушаков А. А. Корреляция сигналов аэрозольного лидара, лазерного деформографа и температуры газа скал в Баксанской Нейтринной Обсерватории во время землетрясений в Турции 06.02.2023. //Вулканонология и Сейсмология (2025), 62– 67.
3. Warden, S., Bleier, T., &Kappler, K. Long term air ion monitoring in search of pre-earthquake signals. *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, (2019). 186, 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2019.01.009>
4. Безруков, Л. Б., Громцева, А. Ф., Заварзина, В. П., Карпиков, И. С., Курлович, А. С., Лебедев, Д. А., Межох, А. К., Наумов, П. Ю., Силаева, С. В., Синёв, В. В. Наблюдение избытка положительных аэроионов в подземных полостях. *Геомагнетизм и аэрономия*, (2022). 62(6), 755– 768.

Correlation between the microjoule aerosol lidar signal and air ion emissions during the Kamchatka earthquake on 29.07.2025 UTC

^{1*}V. A. Zavozin, ²academician of the RAS E. I. Gordeev ¹S. M. Pershin, ³L. B. Bezrukov,

⁴V. S. Makarov, ⁵R. R. Akbashev, ¹G. A. Boldin, ³A. K. Mezkhokh, ³S. V. Ingerman,

³V. S. Sinev, ³N. Yu. Agafonova, ⁵V. E. Glukhov, ⁵E. O. Makarov

¹ Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Institute of Volcanology and Seismology Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

³ Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴ Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The microjoule eye-safe lidar that we developed in 1991 is promising not only for sensing the habitat and studying the atmosphere of Mars, but also for monitoring seismic and volcanic processes [1]. In 2019, we installed an aerosol lidar in the tunnel of the Baksan Neutrino Observatory in the Elbrus region. On 06.02.2023, ~60 min before the earthquakes in Turkey (10:24 and 12:02 UTC), we registered precursors in the form of two short pulses of increased lidar signal [2]. To confirm the reliability of these conclusions, repeated measurements of similar events are necessary, which are very rare here. This prompted us to deploy lidar monitoring of volcanic and seismic processes in Kamchatka in the underground laboratory of the Kamchatka Branch of the Geophysical Survey Service of the RAS with the support of Academician of the RAS E.I. Gordeev (September 2023). Here, on our initiative, an additional air ion sensor was installed [3, 4]. In December (28.12.2023), a giant increase in the readings of the negative ion concentration sensor (up to $150,000 \text{ cm}^{-3}$) was detected, as well as, a decrease in the transmission coefficient of the probing path measured using a lidar. Later (30 and 31.12.2023 and 01.01.2024), ash and gas plumes were observed rising above the Klyuchevskaya Sopka volcano to heights of 7, 9 and 6 km, respectively. Thus, a correlation between the signals of the aerosol microjoule lidar and the air ion sensor with volcanic activity was discovered for the first time. The two-day advance of the above-mentioned signals relative to the manifestations of volcanic activity gives reason to consider the lidar and the ion sensor as tools for detecting possible precursors. Recently (July 29, 2025 23:24:50 UTC) a powerful earthquake occurred in Kamchatka. A few days before this event, abnormally high readings of the Sapphire 3M air ion concentration sensor (up to $400,000,000 \text{ cm}^{-3}$) were recorded, and an increase in the aerosol backscattering coefficient recorded by the lidar was also observed during the earthquake. Thus, the identified correlation between the lidar signal and tectonic and volcanic events gives grounds to conclude that microjoule aerosol lidar with an eye-safe radiation level can be considered as a new tool for searching for precursors of earthquakes and volcanic eruptions. Undoubtedly, to verify the reliability of the detected correlations, it is necessary to continue monitoring these phenomena.

References

1. Pershin, S. M., Sobisevich, A. L., Grishin, M. Ya., Gravirov, V. V., Zavozin, V. A., Kuzminov, V. V., Lednev, V. N., Likhodeev, D. V., Makarov, V. S., Myasnikov, A. V., & Fedorov, A. N. Volcanic activity monitoring by unique LIDAR based on a diode laser. //Laser Physics Letters, (2020). 17(11), 115607. <https://doi.org/10.1088/1612-202X/abbedc>
2. Pershin, S. M., Gordeev, E. I., Gravirov, V. V., Grishin, M. Ya., Zavozin, V. A., Lednev, V. N., Likhodeev, D. V., Makarov, V. S., Myasnikov, A. V., & Ushakov, A. A. Correlation of the aerosol lidar signal, laser strainmeter signal and rock temperature in Baksan Neutrino Observatory during earthquakes in Turkey on February 6, 2023. //VOLCANOLOGY AND SEISMOLOGY, (2025). 65– 67.

3. Warden, S., Bleier, T., & Kappler, K. Long term air ion monitoring in search of pre-earthquake signals. J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, (2019). 186, 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2019.01.009>
4. Bezrukov, L. B., Gromtseva, A. F., Zavarzina, V. P., Karpikov, I. S., Kurlovich, A. S., Lebedev, D. A., Mezhokh, A. K., Naumov, P. Yu., Silaeva, S. V., Sinev, V. V. Observation of excess of air ions in underground fields. Geomagnetism and Aeronomy, (2022). 62(6), 755–768.

УДК 504.064.37

ГРНТИ 87.15.15, 87.17.15

ВАК 05.11.13

Малогабаритный аэрозольный лидар

^{1*} Ведин Е. И., ¹ Дьяченко В. В., ¹ Сарычев И. А., ¹ Чартий П. В., ¹ Шеманин В. Г.

¹ Новороссийский политехнический институт (филиал) КубГТУ,

353900, г. Новороссийск, ул. Карла Маркса, 20

email: *svetokdojdei@mail.ru

Контроль параметров аэрозольных выбросов является актуальной задачей [1]. Наиболее подходящими для контроля параметров аэрозолей в реальном времени являются методы лазерного зондирования. Лидарные методы позволяют дистанционно измерять параметры аэрозольных частиц в атмосфере [2]. Создание малогабаритной модели аэрозольного лидара позволит повысить область и удобство применения дистанционного зондирования за счет сокращения массы и габаритов устройства, сократить экономические издержки за счет уменьшения количества составных элементов устройства. Сокращение числа передающих лазерное излучение элементов ведет к уменьшению потерь излучения, упрощению юстировки устройства и уменьшению погрешностей, связанных с разъюстировкой оптических элементов. Применение системы двойного синхронного детектирования позволяет повысить точность измерения при обработке сигнала за счет снижения шума. Таким образом, малогабаритный аэрозольный лидар, обладая уменьшенными габаритами и массой, позволяет осуществлять дистанционное зондирование с повышенной точностью.

Список литературы

1. Ведин Е. И. Алгоритм работы аэрозольной лазерной системы дифференциального ослабления в реальном времени/ Ведин Е. И., Сарычев И. А., Чартий П. В. // Лазеры. Измерения. Информация. – 2022. – Т. 2. № 4 (8). – С. 30-37.
2. Ведин Е. И. Компактный аэрозольный лидар/ Ведин Е. И., Дьяченко В. В., Сарычев И. А., Чартий П. В., Шеманин В. Г. // Лазерно-информационные технологии 2024. Труды XXXII Международной научной конференции. – Новороссийск, 2024. – С. 66-67.

Compact aerosollidar

^{1*} Vedenin E. I., ¹ Dyachenko V. V., ¹ Sarychev I. A., ¹ Chartiy P. V., ¹ Shemanin V. G.

¹ Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) KubSTU, 20 Karl Marx St.,

353900, Novorossiysk, Russia

email: *svetokdojdei@mail.ru

Monitoring of the aerosol emissions parameters is an actual task [1]. Laser remote

sensing methods are the most suitable for this monitoring aerosol parameters in real time. Lidar methods allow remote measurement of aerosol particle parameters in the atmosphere [2]. The creation of a compact model of an aerosol lidar makes it possible to increase the scope and convenience of remote sensing by reducing the mass and dimensions of the device, and reduce economic costs by reducing the number of device components. Reducing the number of elements transmitting laser radiation leads to a reduction in radiation losses, simplification of device layout and reduction of errors associated with the alignment of optical elements. The use of a dual synchronous detection system makes it possible to increase the accuracy of measurements during signal processing by reducing noise. Thus, the compact aerosol lidar, having reduced dimensions and weight, allows remote sensing of the aerosols with increased accuracy.

References

1. Vedenin, E.I. The algorithm of the aerosol laser system of differential attenuation in real time / Vedenin E.I., Sarychev I.A., Chartiy P.V. // Lasers. Measurements. Information. 2022. No. 4 (8). P. 30-37.
2. Vedenin E.I. Compact aerosol lidar / Vedenin E.I., Dyachenko V.V., Sarychev I.A., Chartiy P.V., Shemanin V.G. // Laser Information Technologies 2024. Proc. XXXII International Scientific Conference. Novorossiysk, 2024. P. 66- 67.

УДК 621.37

ГРНТИ 29.31.29

БАК 1.3.5

Измерение концентрации метана в газовом сырье ИК системой дифференциального поглощения

^{1, 2*} Сарычев И. А., ²Авдоськин А. С., ²Сарычев П.И., ²Чартий П. В., ²Шеманин В.Г.

*1 Государственный морской университет им. адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск, Россия,*

*2 Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного
технологического университета, Новороссийск, Россия*

*e-mail: * eniac001@yandex.ru*

Испарения жидкого метана во время транспортировки и хранения в герметичном газоходе происходит до тех пор, пока газовое пространство не будет заполнено насыщенным паром [1-3]. Тогда требуется принять решение о рекуперации метана назад в жидкость или использования его в качестве топлива для энергетических установок газозова

Целью настоящей работы является разработка оптической системы дифференциального поглощения в средней области ИК спектра поглощения (3.39 мкм) для измерения й концентрации метана в газовом сырье при транспортировке газозовом [3, 4]. С этой целью были выполнены экспериментальные измерения концентрации насыщенных паров метана в лабораторной системе и сравнивались с результатами измерений методом газовой хроматографии. Выполнена оценка погрешности измерений, а экспериментальные результаты позволяют заключить, что предложенный сенсор позволяет получать результаты измерений суммарной концентрации метана в

пределах установленной относительной погрешности 23 % в диапазоне концентрации до 60 г/м³. Применение такой системы дифференциального поглощения в области 3.39 мкм позволит выполнять автоматический непрерывный мониторинг концентрации метана в реальном времени с целью управления технологическим процессом на газозове.

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.

Measurement of methane concentration in gas mixture by IR differential absorption system

^{1,2}*Sarychev I.A., ²Avdonkin A.S., ²Sarychev P.I., ²Chartiy P.V., ²Shemanin V.G.

¹Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, Russia,

²Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) Kuban State Technological University, Novorossiysk, Russia

e-mail: * eniac001@yandex.ru

The liquid methane evaporation during transportation and storage in an air pipe volume occurs until the gas space is filled with saturated vapor [1-3]. Then it is necessary to make a decision on the recovery of methane back into a liquid or its use as fuel for gas tanker engines.

This work purpose is to develop an optical differential absorption system in the IR middle region of the absorption spectrum (3.39 μm) for measuring the concentration of methane in gas raw materials during transportation by a gas tanker [3, 4]. For this purpose, experimental measurements of the concentration of saturated methane vapor in a laboratory system were performed and compared with the measurement results by gas chromatography. The measurement error was estimated, and the experimental results allow us to conclude that the proposed system makes it possible to obtain measurement results of the methane concentration within the established relative error of 23% in the concentration range up to 60 g/m³. The use of such an IR differential absorption system in the range of 3.39 μm will allow automatic continuous monitoring of methane concentrations in real time in order to control the technological process on a gas tanker.

References

1. Privalov V.E., Shemanin V.G. Remote laser sensing of hydrocarbons in the atmosphere. // J. Technical Physics Letters. 2001. V. 27. No. 21. P. 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. Vasiliev A.O., Charty P.V., Shemanin V.G. Metrological support of the infrared detector of hydrocarbon emissions into the atmosphere. //Safety of the technosphere. 2012. V.1. No.5. P.19- 24.

УДК 621.37

ГРНТИ 29.31.29

БАК 1.3.19

Компьютерное моделирование лидарных измерений концентрации молекул метановой смеси при транспортировке газовой

^{1*}Привалов В.Е., ²Чербачи Ю.В., ³Авдонькин А.С., ^{2,3}Шеманин В.Г.

¹*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 194021, Санкт-Петербург, Россия*

²*Филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова в Новороссийске*

³*Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, 353900, Новороссийск, Россия*

e-mail: vaevpriv@yandex.ru

При испарении жидкого метана во время транспортировки морским газовой пространством в герметичном газоходу будет заполнено насыщенным паром, содержащим до 90% метана и до 1% этана и пентана. Поэтому требуется лидар комбинационного рассеяния света для мониторинга концентрации этих молекул в реальном времени в объеме газохода [1]. Разработка новых методов измерения концентрации газовых молекул с уровнем концентраций порядка предельно-допустимой (ПДК) [1, 2] и выше в газоходу таким лидаром требует выбора оптимальных параметров и оптической схемы такого лидара.

По результатам компьютерного моделирования выполнена оценка возможности измерения концентрации молекул – метана, этана и пентана в диапазоне от $4 \cdot 10^{14}$ до 10^{17} см^{-3} лидаром комбинационного рассеяния света в азоте на расстояниях до 15 м в режиме синхронного счета фотонов и выбора оптимальных параметров такого лидара. В качестве зондирующего излучения используется излучение второй гармоники YAG Nd-лазера с накачкой полупроводниковым лазером с длиной волны 532 нм и полупроводниковых лазеров с длинами волн 450 и 675 нм с длительностью импульсов 10 нс и энергиями в импульсе до 10 мкДж при частоте следования лазерных импульсов f до 10 кГц [3]. Излучение лазера направлялось вдоль оси приемного телескопа, как и в [1, 3, 5], а излучение комбинационного рассеяния исследуемыми молекулами в направлении назад собиралось приемным телескопом типа Ньютона со сферическим зеркалом диаметром 120 мм и фокусировалось линзовым объективом в волоконный ввод микро спектрометра типа FSD-8, работающего на линии с ПК. Получено, что при зондировании

лидаром комбинационного рассеяния света всех исследованных молекул с использованием лазерного излучения на длинах волн 450 и 532 нм можно зарегистрировать требуемую концентрацию метана во всем рассмотренном диапазоне расстояний до 15 м, для этана – до 8 м и для пентана – до 5 м за время накопления сигнала 10 с. Чтобы зондировать этан и пентан во всем диапазон концентраций время измерения надо увеличить примерно в 100 раз до 10^3 с или 17 мин, что не всегда возможно в конкретных экспериментальных условиях [1, 4].

Список литературы

- 1 Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. – СПб.: Изд. 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.
3. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. – М.: Мир, 1987. – 550 с.
4. Privalov V. E., Shemanin V. G. Raman lidar sensing of saturated hydro carbon molecules in the atmospheric boundary layer. Numerical modeling. //Russian Physics J. – 2022. – Т. 65. – № 2. – С. 365-374.
5. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Измерение концентрации молекул углеводородов методом комбинационного рассеяния света //Измерительная техника. – 2016. – № 9. – С.22.

Computer simulation of lidar measurements of the methane mixture molecules concentration during transportation by a gas tanker

1*Privalov V.E., 2Cherbachi Yu.V., 3Avdonkin A.S., 2,3Shemanin V.G.

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 194021, St. Petersburg, Russia

²Branch of V.G. Shukhov Belgorod State Technological University in Novorossiysk

³Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) Kuban State Technological University, 353900, Novorossiysk, Russia

e-mail: vaevpriv@yandex.ru

When liquid methane evaporates during transportation by a marine gas tanker, the space in the sealed gaspipe will be filled with saturated vapor containing up to 90% methane and up to 1% ethane and pentane. Therefore, a Raman lidar is required for the concentration of these molecules monitoring in real time in the gaspipe volume [1]. The development of new methods for measuring the concentration of gaseous molecules with concentrations of the order of the maximum permissible concentration (MPC) [1, 2] and higher in the gas pipe with such a lidar requires the selection of optimal parameters and the optical layout of such a lidar.

Based on the results of computer simulation, an assessment was made of the possibility of measuring the concentration of methane, ethane, and pentane molecules in the range from $4 \cdot 10^{14}$ to 10^{17} cm^{-3} by Raman lidar in a nitrogen at distances up to 15 m in synchronous photon counting mode and selecting the optimal parameters of such a lidar. The probing radiation are the radiations of the 532 nm wavelength of second harmonic of a YAG Nd laser pumped by a semiconductor laser and radiations of semiconductor lasers at the 450 and 675 nm wavelengths with a pulse duration of 10 ns and pulse energies up to 10 μJ at a laser pulses repetition

rate f up to 10 kHz [3]. The laser radiation was directed along the axis of the receiving telescope as in [1, 3, 5], and the Raman radiation from the studied molecules in the backward direction was collected by a Newton type receiving telescope with a spherical mirror with a diameter of 120 mm and focused by a lens into the fiberinput of an FSD-8 type micro spectrometer operating on a line with PC. It was found that when Raman lidar probing of all the studied molecules using laser radiation at the 450 and 532 nm wavelengths, it is possible to register the required concentration of methane over the entire considered range of distances up to 15 m, for ethane—up to 8 m and for pentane—up to 5 m for a signal counting time of 10 s. In order to probe ethane and pentane over the entire concentration range, the measurement time must be increased by about 100 times to 10^3 s or 17 min, which is not always possible under specific laboratory conditions [1, 4].

References

1. Privalov V.E., Fotiadi A.E., Shemanin V.G. Lasers and environmental monitoring of the atmosphere. St. Petersburg: Ed. Lan, 2013. 288p.
2. Hygiene standards GN2.1.6.3492- 17(as amended on May 31, 2018). Maximum permissible concentrations (MPC) of pollutants in the atmospheric air of urban and rural settlements.
3. Mezheris R. Laser remote sensing. Moscow: Mir Publ.,1987. 550p.
4. Privalov V. E., Shemanin V. G. Raman lidar sensing of saturated hydro carbon molecules in the atmospheric boundary layer.Numerical modeling. //Russian Physics J. 2022.V. 65. No.2. P.365- 374
5. Privalov V.E., Shemanin V.G. Measurement of the concentration of hydrocarbon molecules by Raman scattering // Measurement techniques. 2016. No.9. P.22 - 31

УДК 53.08, 535.2
ГРНТИ 29.03.45, 29.03.77
БАК 1.3.2

Зондирование аэрозольных потоков методом дифференциального ослабления в видимой и ближней ИК области

Аблязов Э.К., Веденин Е.И., Половченко С.В., *Чартий П.В., Шеманин В.Г.

*Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск,
e-mail: pvc-60@yandex.ru)*

Для измерения концентрации и распределения частиц по размерам в аэрозольных потоках была разработана лазерная система дифференциального ослабления на трех длинах волн в видимой и ближней ИК области спектра. Этот метод дифференциального ослабления основан на решении обратной задачи [1]. Физическая модель метода основана на взаимодействии монохроматического излучения с полидисперсной средой по теории Ми [2] и сохранения инвариантности усредненного фактора эффективности ослабления относительно вида функции распределения частиц по размерам [1, 3]. Средний объемно-поверхностный диаметр аэрозольных частиц d_{32} определяется путем измерения оптической плотности исследуемого аэрозоля на

нескольких длинах волн и вычисления усредненных факторов эффективности ослабления для этих длин волн. Отношение измеренных оптических плотностей на двух длинах волн равно отношению рассчитанных усредненных факторов эффективности ослабления и выражает функцию среднего размера частиц [1], причем диапазон измерений средних размеров частиц определяется длинами волн зондирующего излучения. В экспериментальной лазерной системе [3] через поток аэрозоля, сформированный при импульсной инжекции на выходе газохода и проходящий перпендикулярно лазерному лучу, пропускались три луча лазерного излучения с длинами волн 405, 650 и 1064 нм, которые в схеме дифференциального ослабления направлялись на один фотоприемник со своей схемой обработки сигнала. Сигналы с выхода фотоприемника регистрировались системой сбора данных, работающей на линии с ПК [3, 4], работающих на частотах $5 \cdot 10^3$ Гц. Экспериментально измеренным этой системой отношения оптических плотностей для каждой пары длин волн сопоставлено рассчитанные отношения эффективностей ослабления, а по графику этих зависимостей видно [4], что расчетное и экспериментальное отношения совпадают в пределах нашей погрешности. По измеренному отношению оптических плотностей находим отношение усредненных факторов эффективности ослабления и определяем величину d_{32} . Таким образом, разработанная экспериментальная лазерная система позволяет измерять в реальном времени сигналы ослабления лазерного излучения и восстанавливать функцию распределения частиц аэрозоля по размерам [3].

Список литературы

1. Архипов В.А., Ахмадеев И.Р., Бондарчук С.С. и др. Модифицированный метод спектральной прозрачности измерения дисперсности аэрозолей. // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 20. – № 1. – С. 48-52.
2. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. – М.: Мир, 1986. – 660 с.
3. Половченко С.В., Привалов В.Е., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Восстановление функции распределения частиц по размерам на основе данных многоволнового лазерного зондирования. // Оптический журнал. – 2016. – Т. 83. – № 5. – С. 43- 49.
4. Веденин Е.И., Половченко С.В., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Функции распределения частиц по размерам при различных режимах работы пылеулавливающего оборудования. // Безопасность в техносфере. – 2016. – № 1(58). – С. 41- 47.

Remote sensing of aerosol flows by differential attenuation in the visible and near-infrared regions

Abyazov E.K, Vedenin E.I., Polovchenko S.V., Charty P.V., Shemanin V.G.
Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) Kuban State Technological University, No-
vorossiysk,
 e-mail: pvc-60@yandex.ru

To measure the concentration and size distribution of particles in the aerosol flows, a laser differential attenuation system at three wavelengths in the visible and near-infrared spectral regions was developed. This differential attenuation method is based on the inverse problem solving [1]. The physical model of this

method is based on the interaction of monochromatic radiation with a polydisperse medium according to the Mie theory [2] and the preservation of the invariance of the average attenuation efficiency factor relative to the type of particle size distribution function [1, 3]. The average volume-surface diameter of aerosol particles d_{32} is determined by measuring the optical density of the aerosol under study at several wavelengths and calculating the average attenuation efficiency factors for these wavelengths. The ratio of the measured optical densities at two wavelengths is equal to the ratio of the calculated average attenuation efficiency factors and expresses a function of the average particle size [1], and the measurement range of the average particle size is determined by the wavelengths of the probing radiation. In the experimental laser system [3], three beams of laser radiation with the 405, 650, and 1064 nm wavelengths were passed through an aerosol flow formed by pulsed injection at the outlet of the gas pipe and passing perpendicular to the laser beam, which were directed in a differential attenuation scheme to one photodetector with its own signal processing scheme. The signals from the photodetector output were recorded by a data acquisition system operating on a line with a PC [3, 4] operating at frequencies of 5- 10³ Hz. The calculated attenuation efficiency ratios experimentally measured by this system for each pair of wavelengths are compared and the graph of these dependencies shows [4] that the calculated and experimental ratios coincide within our error. Based on the measured ratio of optical densities, we find the ratio of the average attenuation efficiency factors and determine the value of d_{32} . Thus, the developed experimental laser system makes it possible to measure the attenuation signals of laser radiation in real time and restore the size distribution function of aerosol particles [3].

References

1. Arkhipov V.A., Akhmadeev I.R., Bondarchuk S.S. et al. A modified spectral transparency method for measuring aerosol dispersion. //Optics of the atmosphere and ocean. 2007. V.20. No.1. P.48- 52.
2. Boren K., Hafman D. Absorption and scattering of light by small particles. Moscow: Mir, 1986. 660p.
3. Polovchenko S.V., Privalov V.E., Chartiy P.V., Shemanin V.G. Restoration of the particle size distribution function based on multiwave laser sensing data. //J. Optical Technology. 2016. V.83. No.5. P.43- 49.
4. Vedenin E.I., Polovchenko S.V., Chartiy P.V., Shemanin V.G. Particle size distribution functions under different operating modes of dust cleaning equipment. //Technosphere Safety. 2016. No.1(58). P.41- 47.

УДК 504.05
ГРНТИ 87.33.35
ВАК 1.5.15

Оценка экологического риска нефтяных загрязнений в порту Новороссийск

Чура М.Н., Грицова А.Ц., Зайцев Н.А., *Чура Н.Н.

*Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова,
Новороссийск, Россия,*

*e-mail: nnchura@rambler.ru

Основным видом грузов в порту Новороссийск в последние десятилетия являются нефть и нефтепродукты, при этом объём перевалки нефтегрузов в 2024 г. составил рекордные для российских портов 112 млн. тонн (67% от всех видов). Вместе с тем статистика свидетельствует, что сопутствующие портовой деятельности аварии и чрезвычайные ситуации, связанные с нефтяными разливами, к сожалению, происходят. Поэтому в данных условиях вопросы экологической безопасности порта и региона, видимо, всегда будут актуальными [1].

Цель настоящей работы состоит в оценке риска одной из основных операций, выполняемых не только на танкерах, а на всех морских судах, при которых происходят нефтяные разливы, – снабжения судов бункерным топливом, необходимым для его эксплуатации (мазут, дизельное топливо). Подобные операции выполняются у причалов, либо на рейде порта.

Известно, что безопасность как свойство (или состояние) системы, в целом, не имеет количественной оценки, важным является обеспечение (достижение) безопасности, т.е. её требуемый уровень. Одним из критериев безопасности служит количественная оценка риска, величина, включающая вероятностную составляющую возникновения события (аварии) и её последствия. Ниже рассматривается пример апостериорной оценки техногенного (по происхождению) и экологического (по сфере воздействия) риска разлива нефтепродуктов при бункеровках в порту Новороссийск.

Таким образом, в работе, являющейся частью комплексного исследования состояния безопасности морской акватории порта, применён риск-ориентированный подход к оценке и обеспечению экологической безопасности. В 2024 г. на рейде морского порта Новороссийск всего было проведено 664 операции с нефтепродуктами, в том числе: 530 операций по снабжению морских судов бункерным топливом (мазут – более 706 тыс. т, дизельное топливо – более 100 тыс. т); а также 134 операции по перегрузке грузов с судна на судно на рейде порта, в 416 районе (мазут – 84 тыс. т, дизельное топливо – 5 тыс. т). Отметим, что операции с нефтепродуктами на рейде считаются на флоте наиболее высокорисковыми в аварийном отношении в сравнении с операциями у причалов.

На основе статистических данных ФГБУ «Администрация морских портов Черного моря» известно, что за последние три года (период 2022 – 2024 гг.)

было выполнено всего 6218 операций по бункеровке судов, при этом произошло два случая аварий. Следовательно, средняя частота разливов нефти в 2022-2024 гг. при бункеровочных операциях может быть получена как отношение количества аварий к количеству операций, что даёт величину $3,2 \cdot 10^{-4}$ /год.

Анализ аварийности при бункеровках показал, что основными непосредственными причинами нефтяных загрязнений морской среды являются переполнение (перелив) топливных систем (танков) и повреждение перекачивающих шлангов. Количественная величина объёма разлива, т.е. вторая составляющая оценки риска аварии зависит от характеристик используемого на судне оборудования и условий развития аварийной ситуации. Расчётные значения объёма разлива, которые определяют размер последствий (ущерб) в результате аварии определяются по известным методикам.

Кроме того, получена количественная оценка частоты подобных аварий, но имеющих разлив объёмом 1 т и более, что является уровнем чрезвычайных ситуаций для акваторий Чёрного моря. Полученные величины могут быть рекомендованы для использования на практике при прогнозировании рисков аварий в морских портах. В качестве мер безопасности акваторий в условиях потенциальных наиболее опасных экологических ситуаций в Новороссийской (Цемесской) бухте, что является актуальным в портовой деятельности, можно отметить следующее. В настоящее время на предприятиях Новороссийского портового комплекса сосредоточены мощности специальных технических средств, предназначенных для ликвидации нефтяных разливов в расчёте на ликвидацию порядка 15 тыс. т нефти.

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.

Assessment of the environmental risk of oil pollution in the port of Novorossiysk

Chura M.N., Gritsova A.C., Zaitsev N.A., *Chura N.N.

Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, Russia

*e-mail: nnchura@rambler.ru

The main type of cargo in the port of Novorossiysk in recent decades has been oil and petroleum products, while the volume of oil cargo transshipment in 2024 amounted to a record 112 million tons for Russian ports (67% of all types). At the same time, statistics show that accidents and emergencies related to oil spills that accompany port activities unfortunately occur. Therefore, in these conditions, the issues of environmental safety of the port and the region will probably always be relevant [1].

The purpose of this work is to assess the risk of one of the main operations performed not only on tankers, but on all marine vessels in which oil spills occur – the supply of ships with bunker fuel necessary for its operation (fuel oil, diesel fuel). Similar operations are performed at the berths or at the harbor roadstead.

It is known that security as a property (or state) of the system, as a whole, has no quantitative assessment, it is important to ensure (achieve) security, i.e. its required level. One of the safety criteria is a quantitative risk assessment, a value that includes the probabilistic component of the occurrence of an event (accident) and its consequences. The following is an example of a posteriori assessment of the technogenic (by origin) and environmental (by impact) risk of oil spill during bunkering in the port of Novorossiysk.

Thus, in the work, which is part of a comprehensive study of the safety status of the port's marine area, a risk-based approach to assessing and ensuring environmental safety has been applied. In 2024, a total of 664 operations with petroleum products were carried out at the Novorossiysk sea port, including: 530 operations to supply ships with bunkerfuel (fuel oil – more than 706 thousand tons, diesel fuel – more than 100 thousand tons); as well as 134 cargo transshipment operations from ship to ship at the port roadstead, in 416 are as (fuel oil – 84 thousand tons, diesel fuel – 5 thousand tons). It should be noted that operations with petroleum products on the roadstead are considered the most high-risk in the fleet in terms of emergency in comparison with operations at the berths. Based on statistical data from the Black Sea Sea Ports Authority, it is known that over the past three years (the period 2022–2024), a total of 6,218 bunkering operations have been performed, with two accidents occurring. Therefore, the average frequency of oil spills in 2022–2024 during bunkering operations can be obtained as the ratio of the number of accidents to the number of operations, which gives a value of $3.2 \cdot 10^{-4}$ 1/year.

An analysis of bunkering accidents has shown that the main direct causes of oil pollution of the marine environment are over flow (over flow) of fuel systems (tanks) and damage to pumping hoses. The quantitative value of the spill volume, i.e. the second component of the accident risk assessment, depends on the characteristics of the equipment used on the ship and the conditions of the emergency situation. The calculated values of the spill volume, which determine the size of the consequences (damage) as a result of an accident, are determined using well-known methods. In addition, a quantitative assessment of the frequency of such accidents, but with a spill volume of 1 ton or more, has been obtained, which is the level of emergency situations for the Black Sea. The values obtained can be recommended for practical use in predicting the risks of accidents in seaports. As measures for the safety of water areas in the conditions of potential most dangerous environmental situations in Novorossiysk (Tsemesskaya) Bay, which is relevant in port activities, the following can be noted. Currently, the enterprises of the Novorossiysk Port complex have concentrated the capacities of special technical facilities designed to eliminate oil spills in order to eliminate about 15 thousand tons of oil.

References

1. Chura M.N., Chura N.N. Technosphere safety: ways of assessment // Laser information technologies in medicine, biology, geoecology and transport (September 7–12, 2020). – Penza: Publishing House of PSU, 2020. – P. 253–255.

Обработка судовых балластных вод

^{1*}Бондарев К.Г., ¹Берёза И.Г., ¹Волкова Т.А.

¹Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова

353918, Новороссийск, пр. Ленина, 93

e-mail: irina.beryoza@mail.ru

Замена судового водяного балласта, являющаяся неотъемлемой частью морских грузоперевозок, приводит к транспортировке чужеродных организмов вместе с балластными водами.

С целью регулирования сброса балластных вод была принята Международная Конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлению ими (BWM 2004). Практическая реализация требований Конвенции направлена на прекращение или минимизацию возможности переноса вредных организмов посредством контроля замены судового водяного балласта.

Стандарты управления балластными водами по количественным и биологическим показателям представлены в Правилах D-1 и D-2 Конвенции. Стандарт D-1 предполагает замену балластных вод, стандарт D-2 – очистку водяного балласта на борту судна.

На настоящий момент разработано примерно около 90 систем по очистке балластных вод, но имеют сертификаты типового одобрения значительно меньше систем (по информации ИМО). Системы обработки балластных вод предлагаются в различных вариантах, компоновках и комплектациях множеством компаний. Однако, все они серийно производятся за рубежом – в России, по состоянию на сегодняшний день, отсутствует установка по обработке балластных вод, запущенная в серийное производство.

Анализ работы используемых судовых систем обработки балластных вод, представленный в отчетах судовладельцев, позволяет считать наиболее целесообразной следующую технологию двухступенчатой обработки балластных вод на борту судна: на первой ступени механическая обработка для извлечения из воды гидробионтов; на второй ступени – химическая обработка для уничтожения патогенных микроорганизмов.

При химической обработке наиболее перспективными следует считать технологии озонирования и электрообработки воды.

Список литературы

- 1 International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004 (2005). IMO
- 2 Берёза И.Г., Балакирева К.А. Разработка технологии обработки балластных вод на береговых сооружениях // Транспортное дело России.– 2017.– № 6.– С. 125-126

Treatment of ship ballast water

^{1*}Bondarev K. G., ¹Beryoza I. G., ¹Volkova T.A.

¹Admiral Ushakov Maritime State University 93, Lenina Avenue, Novorossiysk

e-mail: irina.beryoza@mail.ru

The exchange of ship ballast water, which is an integral part of maritime cargo transportation, leads to the transport of alien organisms along with ballast water.

In order to regulate the discharge of ballast water, the International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWM 2004) was adopted. The practical implementation of the Convention's requirements is aimed at stopping or minimizing the possibility of transferring harmful organisms by controlling the exchange of ship ballast water.

Standards for ballast water management in terms of quantitative and biological indicators are presented in Regulations D-1 and D-2 of the Convention. Standard D-1 assumes the exchange of ballast water, standard D-2 - the treatment of ballast water on board the ship.

To date, approximately 90 ballast water treatment systems have been developed, but significantly fewer systems have type approval certificates (according to IMO). Ballast water treatment systems are offered in various versions, configurations and configurations by many companies. However, all of them are mass-produced abroad – in Russia, as of today, there is no ballast water treatment equipment launched into mass production.

Analysis of the operation of the ship ballast water treatment systems used, presented in the reports of ship owners, allows us to consider the following technology of two-stage ballast water treatment on board a ship to be the most appropriate: at the first stage, mechanical treatment to extract hydrobionts from the water; at the second stage, chemical treatment to destroy pathogenic microorganisms. In chemical treatment, the most promising technologies should be considered ozonation and electrical water treatment.

References

- 1 International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004 (2005). IMO
- 2 Bereza I.G., Balakireva K.A. Development of ballast water treatment technology at coastal facilities //Transport business of Russia.–2017.–No.6–P.125- 126

УДК 629.54

ГРНТИ 55.42.45

ВАК 2.5.20.

Флотационный сепаратор судовых льяльных вод

^{1*}Шацкова Е.И., ¹Берёза И.Г.

¹Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова
353918, Новороссийск, пр. Ленина, 93
e-mail:kulekina.jennie@gmail.com

В судовых флотационных сепараторах льяльных вод для интенсификации процесса очистки применяют метод предварительной реагентной обработки с использованием растворов минеральных коагулянтов. Данный метод приводит к следующим негативным последствиям: повышается коррозионная активность воды, образуется большое количество осадка, происходит вторичное загрязнение воды продуктами гидролиза минеральных солей. Вышеперечисленных недостатков лишен метод предварительной обработки нефтесодержащих вод высокомолекулярными флокулянтами, который успешно используется на береговых промышленных предприятиях.

При разработке технологии флотационной очистки судовых льяльных вод исследовались следующие ионногенные флокулянты: Praestol 852, Praestol 853 и Praestol 2540.

На опытном экспериментальном оборудовании методом пробного коагулирования установлено, что наибольшую степень извлечения нефтяных загрязнений из раствора льяльных вод обеспечивает катионный высокомолекулярный флокулянт Праестол 853. Определены основные оперативные технологические факторы, влияющие на эффективность флотационной очистки судовых льяльных вод с предварительной реагентной обработкой флокулянтом Праестол 853 – время обработки и доза реагента.

Разработана математическая модель процесса флотации судовых льяльных вод, предварительно обработанных флокулянтом Праестол 853. Определены параметры процесса очистки, обеспечивающие наибольшую степень извлечения нефтяных загрязнений из раствора льяльных вод.

Полученные результаты экспериментальных исследований использованы при разработке технологического регламента флотационной очистки судовых льяльных вод, предварительно обработанных высокомолекулярным флокулянтом.

Список литературы

1. Тихомиров Г.И. Анализ методов и технических средств очистки льяльных вод / Г.И. Тихомиров // Транспортное дело России. – 2015. – № 6 – С. 288-292.
2. Гетманцев С.В. Очистка производственных сточных вод коагулянтами и флокулянтами / С.В. Гетманцев, И.А. Нечаев, Л.В. Гандурина. – М.: АСВ, 2008.
3. Берёза И.Г. Определение оптимального технологического режима процесса флотации нефтяных загрязнений судовых льяльных вод / И.Г. Берёза, Е.И. Шацкова, Е.В. Мазанько// Морские интеллектуальные технологии. Труды «ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова». – 2024. – № 4 (1), С. 103- 106.

Flotation separator for ship bilge water

^{1*}Shatckova E. I.,¹ Beryoza I. G.

¹Admiral F.F. Ushakov Maritime State University 93, Lenina Avenue, Novorossiysk
e-mail: kulekina.jennie@gmail.com

In marine flotation separators for bilge water, a method of reagent treatment using solutions of mineral coagulants is used to intensify the cleaning process. This method leads to the following negative consequences: the corrosive activity of water increases, a large amount of sediment is formed, and secondary contamination of water with products of hydrolysis of mineral salts occurs. The method of preliminary treatment of oil-containing waters with high-molecular flocculants, which is successfully used at coastal industrial enterprises, is free from the above-mentioned disadvantages. During the development of flotation technology for cleaning ship bilge waters, the following ionogenic flocculants were studied: Praestol 852, Praestol 853 and Praestol 2540.

On pilot experimental equipment, using the trial coagulation method, it was established that the highest degree of extraction of oil contaminants from a bilge water solution is provided by the cationic high-molecular flocculant Praestol 853.

The main operational technological factors influencing the efficiency of flotation cleaning of ship bilge waters with preliminary reagent treatment with flocculant Praestol 853 were determined – the processing time and the reagent dose.

A mathematical model of the flotation process of ship bilge waters, pre-treated with flocculant Praestol 853, was developed. The parameters of the cleaning process that provide the highest degree of extraction of oil contaminants from a bilge water solution were determined. The obtained results of experimental studies were used in the development of technological regulations for flotation purification of ship bilge waters, pre-treated with a high-molecular flocculant.

References

1. Tikhomirov G.I. Analysis of methods and technical means of bilge water purification /G.I. Tikhomirov //Transport business of Russia. 2015. No.6, P.288- 292.
2. Getmantsev S.V. Purification of industrial waste water with coagulants and flocculants /S.V. Getmantsev, I.A. Nechaev, L.V. Gandurina. Moscow: DIA, 2008.
3. Bereza I.G. Determination of the optimal technological regime of the flotation process of oil pollution of marine bilge waters /I.G. Bereza, E.I. Shatskova, E.V. Mazanko // Marine intelligent technologies. The works of "GMU im. Adm. F.F. Ushakov"– 2024.–№4(1), P. 103- 106.

УДК 504.054:629.5

ГРНТИ 31.23.33

БАК 1.4.9

Последствия техногенной экологической катастрофы в Керченском проливе

^{1*}Жмырко Т.Г., ¹Новикова Т.К., ¹Стихова А.М

¹ Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93

E-mail: *zhmyrko.tanya@mail.ru, yriynov@yandex.ru, stihova.am@mail.ru

Нефтяные разливы представляют собой одну из наиболее серьезных угроз для морских экосистем, и недавнее загрязнение в Керченском проливе актуализировало вопросы не только оценки экологического ущерба, но и разработки эффективных методов его устранения. В данной работе представлен комплексный анализ последствий нефтяного загрязнения акватории и современных подходов к его ликвидации, рассмотрены конкретные марки сорбентов и технологии утилизации, применявшиеся при ликвидации разлива мазута в Керченском проливе. Для ликвидации последствий аварии были использованы следующие сорбенты: полипропиленовые боновые заграждения и маты «Нефтесорб», «Сорбент-Ойл» (использовался для локальной очистки в труднодоступных местах); полиуретановые сорбенты «Полиурсан», отличающийся высокой емкостью для мазута Из природных и комбинированных сорбентов были использованы торфяной сорбент с добавками – «Экоарм». Дешевый и биоразлагаемый сорбент, но низкоэффективен для мазута (требовалась частая замена) и «Биосорб» (на основе модифицированной целлюлозы), который применялся в прибрежной зоне, где важна эколо-

гическая безопасность. Из биосорбентов был использован микробиологический препарат «Микрозим», который ускорял разложение остатков мазута после механического сбора. Для дробления нефтяных пятен применяли «Диспесант-ОС-5».

Были применены следующие способы утилизации загрязненных сорбентов: сжигание в инсинераторах, пиролиз, экстракция растворителями. Загрязненные природные сорбенты (торф, опилки) обрабатывались биопрепаратами (например, «Родококк»), захоронение на полигонах. Для снижения экологических рисков в будущем необходимо: инвестировать в технологии переработки, избегать использования тонущих сорбентов, внедрять замкнутый цикл применения полимерных материалов.

Consequences of a man-made ecological disaster in the Kerch Strait

¹Zhmyrko T.G., ¹Novikova T.K., ¹Stikhova A.M.

¹ *State Maritime University named after Admiral F. F. Ushakov, 353924, Russia, Novorossiysk, Lenin Ave., 93*

E-mail: *zhmyrko.tanya@mail.ru, yriynov@yandex.ru, stihova.am@mail.ru

Oil spills are one of the most serious threats to marine ecosystems, and the recent pollution in the Kerch Strait has brought to the forefront not only the assessment of environmental damage, but also the development of effective methods for its elimination. This paper presents a comprehensive analysis of the consequences of oil pollution water area and modern approaches to its elimination, specific brands of sorbents and utilization technologies used in the liquidation of the fuel oil spill in the Kerch Strait are considered. The following sorbents were used to eliminate the consequences of the accident: polypropylene booms and mats "Neftesorb", "Sorbent-Oil" (used for local cleaning in hard-to-reach places); polyurethane sorbents "Polyursan", distinguished by a high capacity for fuel oil. Of the natural and combined sorbents, peat sorbent with additives – "Ecoarm" were used. A cheap and biodegradable sorbent, but low in efficiency for fuel oil (frequent replacement was required) and "Biosorb" (based on modified cellulose), which was used in the coastal zone, where environmental safety is important. Of the bio-sorbents, the microbiological preparation "Mikrozim" was used, which accelerated the decomposition of fuel oil residues after mechanical collection. "Dispesant-OS-5" was used to crush oil spills.

The following methods of disposal of contaminated sorbents were used: burning in incinerators, pyrolysis, extraction with solvents. Contaminated natural sorbents (peat, sawdust) were treated with biopreparations (for example, "Rhodococcus"), burial at landfills. To reduce environmental risks in the future, it is necessary to: invest in processing technologies, avoid the use of sinking sorbents, implement a closed cycle of polymeric materials.

Расчет выбросов паров судового топлива, выбрасываемых в атмосферу в процессе бункеровки морских судов

¹Загурский Е. Ф., ^{1*} Туркин В. А.

¹ Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93
email: evgzag82@yandex.ru, *turvla@mail.ru

Основными вредными веществами, выделяющимися при бункеровке танкера, являются газы, что вызывает необходимость проведения математического моделирования их распространения в приземном слое атмосферы. Необходимо знать вероятность попадания частиц вредного газообразного вещества, находящегося на высоте источника выброса H , на подстилающий слой поверхности земли не далее некоторого расстояния X , от места распада струи. Предлагается простая методика подсчета количества углеводородов выбрасываемых в атмосферу во время приема судового топлива. Существующие стандартные приборы на борту судна позволяют измерять объемную концентрацию углеводородов в танках, а современные стационарные системы контроля уровня позволяют четко знать количество топлива/пустоты в танках, температуру, давление газа в танке. На основании этих данных, а также ГОСТ Р 8.974-2019. Газовый анализ выполнен расчет данных состава газовых смесей. Проведением инструментальных замеров потока паров летучих органических соединений (ЛОС), выделяемых из резервуаров для приема и хранения топлива СЭУ морских судов, определено влияние степени загрузки танка и волнение водной среды на выбросы паров ЛОС в атмосферу.

Предложено ввести поправочные коэффициенты для расчета максимальных выбросов нефтепродуктов, изменяющихся в зависимости от качки судна и степени загрузки танка. Построены карты рассеивания паров ЛОС, учитывающие состояние водной среды при приеме судового топлива. Анализ карт рассеивания показал, что при наихудших условиях рассеивания, то есть при скорости ветра 0,5 – 0,6 м/с, даже на расстоянии 70 метров от места выбросов углеводородов, имеется превышение ПДК, что может негативно сказаться на персонале судна вовлеченного в приемку судового топлива. Сделан вывод о том, что экипаж судна находящийся на палубе и контролирующий прием топлива будет подвержен воздействию паров дизельного топлива при неблагоприятных условиях рассеивания.

Calculation of marine fuel vapor emissions released into the atmosphere during bunkering of marine vessels

¹Zagursky E. F., ^{1*}Turkin V. A.

¹ State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakova,
353924, Russia, Novorossiysk, Lenin Ave., 93
email: evgzag82@yandex.ru, *turvla@mail.ru

The main harmful substances released during tanker bunkering are gases, which necessitates mathematical modeling of their distribution in the surface layer of the

atmosphere. It is necessary to know the probability of particles of a harmful gaseous substance located at the height of the emission source H hitting the underlying layer of the earth's surface no further than a certain distance X from the place of the jet's disintegration. A simple method is proposed for calculating the amount of hydrocarbons released into the atmosphere during the intake of marine fuel. Existing standard instruments on board the vessel allow measuring the volume concentration of hydrocarbons in tanks, and modern stationary level control systems allow you to clearly know the amount of fuel/emptiness in tanks, temperature, and gas pressure in the tank. Based on these data, as well as GOST R 8.974-2019. Gas analysis, data on the composition of gas mixtures were calculated. Instrumental measurements of the vapor flow of volatile organic compounds (VOCs) released from the tanks for receiving and storing SEU fuel for marine vessels have determined the effect of the tank loading rate and disturbance of the aquatic environment on VOC vapor emissions into the atmosphere.

It is proposed to introduce correction factors for calculating the maximum emissions of petroleum products, which vary depending on the pitching of the vessel and the degree of loading of the tank. Maps of VOC vapor dispersion have been constructed, taking into account the state of the aquatic environment when receiving marine fuel. The analysis of the scattering maps showed that under the worst scattering conditions, that is, at a wind speed of 0.5 – 0.6 m/s, even at a distance of 70 m from the place of hydrocarbon emissions, there is an excess of the maximum permissible concentration, which can negatively affect the personnel of the vessel involved in the acceptance of marine fuel. It is concluded that the ship's crew, who is on deck and controls fuel intake, will be exposed to diesel fuel vapors under unfavorable dispersion conditions.

УДК 629.5.06:621.43.055

ГРНТИ 73.34.01

БАК 2.5.20

Использование селективно каталитического восстановления для очистки отработавших газов судовых двигателей

¹ Зубко С. С., ^{1*} Туркин В. А., ¹ Игнатенко Г. В.

¹ Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,

353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93

email: 1992sergeyz@mail.ru, *turvla@mail.ru, ignatencko.geor@yandex.ru

Селективное каталитическое восстановление (СКВ - SCR) – это метод обработки отработавших газов, с помощью которого можно снизить уровень выбросов NO_x , образующийся в судовом дизельном двигателе, до уровня, соответствия требованиям МАРПОЛ TIER III. Снижение уровня NO_x достигается каталитическим процессом в реакторе SCR, установленном в выхлопной газовой линии после процесса сгорания. В реакторе NO_x восстанавливается до азота и воды путем добавления аммиака в качестве восстановителя. Катализатор в реакторе состоит из блоков с большим количеством каналов, обеспечивающих большую площадь поверхности, на которой происходит каталитический процесс по следующей общей схеме:

$4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$; $2\text{NO} + 2\text{NO}_2 + 4\text{NH}_3 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$; $2\text{NO}_2 + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 3\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$.

Важным параметром процесса SCR является температура входящего газа. Нижний предел температуры определяется содержанием серы в топливе. При низких температурах серная кислота нейтрализуется аммиаком. Это образует липкий продукт, который может накапливаться в элементах SCR. Однако эту реакцию можно подавить, поддерживая высокую температуру газов. Когда содержание серы в топливе не более 0,1 %, достаточно температуры около 310 °С. При низком давлении выхлопных газов требуемая минимальная температура будет ниже. Во время эксплуатации судового главного дизельного двигателя были произведены замеры выбросов NO_x при использовании мочевины с разной концентрацией нейтрализующего агента: 40% и 32% на различных режимах эксплуатации двигателя.

Экспериментально установлено, что для обеспечения работы главного двигателя в режиме TIERIII при 100% мощности с использованием мочевины 40% активного вещества, необходимо увеличить производительность насосной станции до 320 л/ч (расход мочевины составляет 0,027 л/кВт·ч). Чтобы обеспечить работу системы в режиме TIERIII с использованием мочевины 32%, необходимо перенастроить программное обеспечение для увеличения подачи мочевины на 15% для обеспечения норм TIERIII (удельный расход мочевины после перенастройки должен составить 0,036 л/кВт·ч). Производительность насосной станции должна быть увеличена до 410 л/ч.

The use of selective catalytic reduction for cleaning the exhaust gases of marine engines

¹Zubko S. S., ^{1*}Turkin V. A., Ignatenko G.V.

¹ State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakova,
353924, Russia, Novorossiysk, Lenin Ave., 93

email: 1992sergeyz@mail.ru, *turvla@mail.ru, ignatenko.geor@yandex.ru

Selective catalytic reduction (SCR) is an exhaust gas treatment method that can reduce the level of NO_x emissions generated in a marine diesel engine to a level that meets the requirements of MARPOL TIER III. The reduction of NO_x levels is achieved by a catalytic process in the SCR reactor installed in the exhaust gas line after the combustion process. In the reactor, NO_x is reduced to nitrogen and water by adding ammonia as a reducing agent. The catalyst in the reactor consists of blocks with a large number of channels providing a large surface area on which the catalytic process takes place according to the following general scheme:

$4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$; $2\text{NO} + 2\text{NO}_2 + 4\text{NH}_3 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$; $2\text{NO}_2 + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 3\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$.

An important parameter of the SCR process is the temperature of the incoming gas. The lower temperature limit is determined by the sulfur content in the fuel. At low temperatures, sulfuric acid is neutralized by ammonia. This forms a sticky product that can accumulate in the SCR cells. However, this reaction can be suppressed by maintaining a high temperature of the gases. When the sulfur content in the fuel is not more than 0.1%, a temperature of about 310 °С is sufficient. If the exhaust gas pressure is low, the required minimum temperature will be lower.

During the operation of the ship's main diesel engine, NO_x emissions were measured when using urea with different concentrations of neutralizing agent: 40% and 32% in different operating modes of the engine.

It has been experimentally established that in order to ensure the operation of the main engine in TIER III mode at 100% power using urea 40% of the active substance, it is necessary to increase the pumping station's capacity to 320 l/h (urea consumption is 0.027 l/kWh). To ensure that the system operates in TIER III mode using 32% urea, it is necessary to reconfigure the software to increase the urea supply by 15% to meet TIER III standards (the specific urea consumption after reconfiguration should be 0.036 l/kWh). The pumping station capacity should be increased to 410 l/h.

УДК 629.5.06:621.43.055

ГРНТИ 73.34.01

БАК 2.5.20

Лазерный метод контроля выбросов вредных веществ судовыми энергетическими установками

^{1*} Туркин В. А., ¹ Зубко С. С., ¹ Краевой А. И., ¹ Воробец И. А.

¹ Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93

email: *turvla@mail.ru, 1992sergeyz@mail.ru, kraevoy03@mail.ru, vorobecz00@gmail.com

Использование судами сжиженного природного газа (СПГ) приводит к уменьшению выбросов CO_2 , NO_x , SO_x и твердых частиц. Однако здесь недостатком является проскок метана: выброс остатков газового топлива, не полностью сгоревшего в двигателях. Для обнаружения проскока основного компонента СПГ – метана, предложено использовать метод обнаружения молекул метана в газо-воздушной среде лидаром комбинационного рассеяния света. В качестве зондирующего используется излучение второй гармоники Nd-YAG-лазера с длиной волны 532 нм и полупроводниковых лазеров с длинами волн 405, 450 и 785 нм и параметрами импульсов: длительностью – 10 нс, энергией – до 1 мкДж, частоте следования f – до 1 кГц.

Лазер характеризуется числом фотонов n_0 в импульсе посылаемого в газ-ход излучения длительностью τ_0 . Линию генерации лазера считаем Гауссовой с максимумом на частоте ν_0 и полушириной Γ_0 . Тогда число фотонов $n(\nu, z)$ излучения КРС молекулами метана с концентрацией $N(z)$ на фотоприемнике получаем из лидарного уравнения для КРС в режиме счета фотонов в виде интеграла в интервале от $(\nu_0 - \Gamma_0)$ до $(\nu_R + \Gamma_R)$.

Использованием описанных выше параметров зондирования молекул метана в потоке газовой смеси, решаем задачу обнаружения проскока метана, возможного при эксплуатации дизельных двигателей, работающих на СПГ. Решение лидарного уравнения осуществлялось в предположении, что концентрация молекул метана $N(z) = 2,60 \times 10^{23} \text{ м}^{-3}$ и за время измерения t будут зарегистрированы 200 фотонов. Анализ полученных результатов решения лидарного уравнения показал, что на длине волны 405 нм можно получить минимальное время обнаружения проскока метана с отработавшими

газами судового двигателя. На этой длине волны для измерения концентрации молекул метана $N(z) = 2,60 \times 10^{23} \text{ м}^{-3}$ требуется на расстоянии 1,0 м всего 2,0 мс, а на расстоянии 2,0 м – 32,0 мс.

Laser method for controlling emissions of harmful substances by marine power engines

^{1*}Turkin V. A., ¹Zubko S. S., ¹Kraevoy A. I., ¹Vorobets I. A.

¹ State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakova,

353924, Russia, Novorossiysk, Lenin Ave., 93

email: *turvla@mail.ru, 1992sergeyz@mail.ru, kraevoy03@mail.ru, vorobecz00@gmail.com

The use of liquefied natural gas (LNG) by ships leads to a reduction in CO₂, NO_x, SO_x and particulate emissions. However, the disadvantage here is the leakage of methane: the release of remnants of gas fuel that has not completely burned out in the engines. To detect the leakage of the main component of LNG, methane, it is proposed to use a method for detecting methane molecules in a gas–air environment with a Raman lidar. The second harmonic radiation of an Nd-YAG laser with a wavelength of 532 nm and semiconductor lasers with wavelengths of 405, 450 and 785 nm and pulse parameters is used as probing: duration – 10 ns, energy – up to 1 μJ, repetition frequency f – up to 1 kHz.

The laser is characterized by the number of photons n_0 in a pulse of radiation sent into the flue with a duration of t_0 . The laser generation line is considered to be Gaussian with a maximum at frequency ν_0 and a half-width Y_0 . Then the number of photons $n(\nu, z)$ of Raman lidar radiation from methane molecules with a concentration of $N(z)$ on the photodetector is obtained from the lidar equation for Raman lidar in photon counting mode as an integral in the range from $(\nu_0 - Y_0)$ to $(\nu_R + Y_R)$.

Using the parameters described above for probing methane molecules in the gas–air mixture stream, we solve the problem of detecting methane leakage, which is possible during the operation of diesel engines powered by LNG. The lidar equation was solved under the assumption that the concentration of methane molecules $N(z) = 2.60 \times 10^{23} \text{ м}^{-3}$ and 200 photons would be recorded during the measurement time t . Analysis of the obtained results of solving the lidar equation showed that at a wavelength of 405 nm, it is possible to obtain the minimum detection time for methane leakage from the exhaust gases of a marine engine. At this wavelength, measuring the concentration of methane molecules $N(z) = 2.60 \times 10^{23} \text{ м}^{-3}$ requires only 2.0 ms at a distance of 1.0 m, and 32.0 ms at a distance of 2.0 m.

УДК 629.5.06:621.43.055

ГРНТИ 73.34.01

БАК 2.5.20

Эффективность очистки дымовых газов адсорбцией твердым веществом в присутствии озона

¹ Воробец И. А., ^{1*} Туркин В. А.

¹ Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,

353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93

email: vorobecz00@gmail.com, *turvla@mail.ru

Наиболее опасными компонентами отработавших газов судовых энергетических систем являются окислы азота (NO_x), окислы серы (SO_x) и сажа.

ческих установок являются оксиды азота, серы и углерода. Наиболее распространенным в судовых условиях является метод селективного каталитического (СКВ) восстановления оксидов азота. Наиболее активными для процесса селективного восстановления NO_x являются катализаторы, содержащие благородные металлы. Недостатком катализаторов является высокая стоимость. С целью снижения затрат на эксплуатацию рассмотрен метод очистки отработавших газов от кислотных оксидов с использованием механизма их адсорбции твердым веществом. Для этих целей разработано и изготовлено комплексное устройство очистки отработавших газов двигателя. В основе работы устройства лежит использование в качестве адсорбента вредных компонентов газов гранулированной шлаковой пемзы и в качестве окислителя – озона для ускорения процесса очистки. Ввиду высокой реакционной способности озона происходит окисление значительной части содержащихся в отработавших газах NO до NO_2 , SO_2 до SO_3 и CO до CO_2 . Поток отработавших газов, попадая на поверхность гранул и вовнутрь их очищается от вредных примесей (NO_x , SO_x , CO_x), которые сорбируются на поверхности и внутри гранул. На поверхности и в порах гранул оседают мелкодисперсные частицы (сажа), после чего очищенные газы выбрасываются в атмосферу.

Для исследования эффективности рассматриваемого способа очистки был проведен эксперимент, целью которого являлась проверка работоспособности комплексного устройства и оценка его эффективности. В качестве источника продуктов сгорания органического топлива для первой стадии был выбран отопительный котел АОГВ-23,2-1-У. Для оценки эффективности очистки газов испытания проводились в двух режимах – с подачей и без подачи озона. По результатам эксперимента определена эффективность очистки продуктов сгорания топлива от кислотных оксидов с использованием озона.

Calculation of marine fuel vapor emissions released into the atmosphere during bunkering of marine vessels

¹Vorobets I. A., ^{1*}Turkin V. A.

¹ State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakova,
353924, Russia, Novorossiysk, Lenin Ave., 93
email: vorobecz00@gmail.com, *turvla@mail.ru

The most dangerous components of the exhaust gases of marine power plants are oxides of nitrogen, sulfur and carbon. The method of selective catalytic (SCR) reduction of nitrogen oxides is the most common in shipboard conditions. The catalysts containing noble metals are the most active for the selective reduction of NO_x . The disadvantage of catalysts is the high cost. In order to reduce operating costs, a method for cleaning exhaust gases from acid oxides using a mechanism for their adsorption by a solid is considered. A comprehensive engine exhaust gas cleaning device has been developed and manufactured for these purposes.

The operation of the device is based on the use of granular slag pumice as an adsorbent for harmful components of gases and ozone as an oxidizer to accelerate the purification process. Due to the high reactivity of ozone, a significant part of

the NO to NO₂, SO₂ to SO₃ and CO to CO₂ contained in the exhaust gases are oxidized. The exhaust gas stream, entering the surface of the granules and inside them, is cleaned of harmful impurities (NO_x, SO_x, CO_x), which are sorbed on the surface and inside the granules. Fine particles (soot) settle on the surface and in the pores of the granules, after which the purified gases are released into the atmosphere.

To study the effectiveness of the considered cleaning method, an experiment was conducted, the purpose of which was to check the operability of the integrated device and evaluate its effectiveness. The AOGV-23,2-1-U heating boiler was chosen as the source of organic fuel combustion products for the first stage. To assess the effectiveness of gas purification, the tests were carried out in two modes – with and without ozone supply. According to the results of the experiment, the efficiency of cleaning fuel combustion products from acid oxides using ozone was determined.

УДК 574.52:504.45.058

ГРНТИ 87.15.91

БАК 25.00.36

Исследование состояния донных отложений в акватории затопления судов «Волганефть-212» и «Волганефть-239» в декабре 2024 г.

Гарифьянова Н.С., Матасова И.Ю., Теюбова В.Ф.

Кубанский государственный университет 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149

email: 1semigorie@mail.ru

Разливы нефти и нефтепродуктов представляют серьезную угрозу морской среде, вызывая долговременные негативные последствия для экосистем и здоровья населения. В представленной работе представлены результаты исследований состояния морской воды, донных отложений и водных биологических ресурсов в акватории затопления носовой и кормовой частей судна «Волганефть-212» и носовой части судна «Волганефть-239» в результате аварии, произошедшей в Керченском проливе в декабре 2024 года.

Мониторинговые исследования в акватории Керченского пролива коллективом филиала ФГБОУ ВО «КубГУ» – Новороссийский учебный и научно-исследовательский морской биологический центр (НУНИМБЦ) проводятся регулярно [1- 3]. Цель работы – исследование содержания нефтепродуктов в донных отложениях в Керченском предпроливье через три месяца после катастрофы – в марте 2025 г.

Отбор донных отложений проводили сотрудники АО «Южморгеология» с борта НИС «Аквамарин» с использованием специализированных пробоотборников. Глубина в месте отбора составляла 25-30 м. В пробу донных отложений отбирался поверхностный слой глубиной до 5-10 см. Всего было отобрано 14 проб.

Определение нефтепродуктов в донных отложениях проводили в аккредитованной лаборатории НУНИМБЦ с использованием методики ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 «Количественный химический анализ почв. Методика вы-

полнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органических, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии».

Содержание нефтепродуктов в отобранных донных отложениях не превышало 85 мг/кг. Такое распределение нефтепродуктов в донных отложениях в месте затопления фрагментов танкеров может быть связано с тем, что потенциально загрязненные мазутом грунты за время, прошедшее с момента аварии, были перекрыты принесенными течениями Керченского пролива и аккумулярованными в акватории «чистыми» отложениями из других участков. Выражаем благодарность коллективу АО «Южморгеология» и персонально заместителю директора по комплексным геологическим работам Леонтьеву Ивану Владимировичу за содействие в отборе проб.

Список литературы

1. Ремизова Н.П. Состав и структура планктонных сообществ в прибрежной зоне Таманского полуострова (Керченский пролив, сентябрь, 2018) / Н.П. Ремизова, В.Ф. Тейубова // Океанологические исследования. – 2021. – Т. 49. – № 1. – С. 37-52. DOI 10.29006/1564- 2291.JOR-2021.49(1).3.
2. Студиград Н.П. Современное состояние летнего ихтиопланктонного сообщества в шельфовой зоне Керченского предпроливного пространства // Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана: Сборник тезисов научно-практической школы-конференции, Новороссийск, 23–27 апреля 2018 г. – Новороссийск, 2018. – С. 154-156.
3. Мониторинг состояния морских сообществ Керченского пролива в 2020 году / А.С. Загорская, А.Ю. Литвин, И.Ю. Матасова [и др.] // Актуальные проблемы геоэкологии и природопользования, Краснодар, 08 октября 2021 года. – Краснодар: Кубанский государственный университет, 2021. – С. 89-93. – EDN UONPZZ.

Study of the state of bottom sediments in the flooded area of the Volganef-212 and Volganef-239 vessels in December 2024

Garifyanova N.S., Matasova I.Yu., Teyubova V.F.

Kuban State University 350040, Krasnodar, Stavropol str., 149

email: semigorie@mail.ru

Oil and petroleum product spills pose a serious threat to the marine environment, causing long-term negative consequences for ecosystems and public health. This paper presents the results of studies on the state of marine water, bottom sediments, and aquatic biological resources in the flooded areas of the bow and stern sections of the Volganef-212 vessel and the bow section of the Volganef-239 vessel, which occurred in the Kerch Strait in December 2024.

Monitoring studies in the waters of the Kerch Strait are conducted regularly by the staff of the branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "KubGU" – Novorossiysk Educational and Research Marine Biological Center (NUNIMBTS) [1-3]. The purpose of the work is to study the content of petroleum products in bottom sediments in the Kerch strait three months after the disaster – in March 2025.

The determination of petroleum products in bottom sediments was carried out in the accredited laboratory of the NUNIMBC using the method of PND F 16.1:2.2.22-98 "Quantitative chemical analysis of soils. Method for measuring the mass fraction of petroleum products in mineral, organogenic, organo-mineral soils and bottom sediments using IR spectrometry".

The content of petroleum products in the selected bottom sediments did not exceed 85 mg/kg. This distribution of petroleum products in the bottom sediments at the site of the tanker fragments may be due to the fact that the potentially fuel oil-contaminated soils have been covered by "clean" sediments from other areas brought in by currents from the Kerch Strait and accumulated in the water area since the accident.

We would like to express our gratitude to the staff of Yuzhmorgeologiya JSC and personally to Ivan Vladimirovich Leontyev, Deputy Director for Integrated Geological Works, for their assistance in sampling.

References

1. Remizova N.P. Composition and structure of planktonic communities in the coastal zone of the Taman Peninsula (Kerch Strait, September, 2018) / N.P. Remizova, V.F. Teyubova // Oceanological Research. 2021. V. 49. No. 1. P. 37- 52. DOI 10.29006/1564-2291.JOR-2021.49(1).3.
2. Studigrad N.P. «The current state of the summer ichthyoplankton community in the shelf zone of the Kerch pre-strait space», Terrestrial and marine ecosystems of the Black Sea region and their protection: Collection of abstracts of the scientific and practical school-conference, Novorossiysk, April 23-27, 2018 Novorossiysk, 2018. – P. 154- 156.
3. Monitoring the state of marine communities of the Kerch strait in 2020 / A. S. Zagorskaya, A. Y. Litvin, I. Y. Matasova [and others] // Actual problems of geoecology and environmental management, Krasnodar, October 08, 2021. – Krasnodar: Kuban State University, 2021. – P. 89- 93. – EDN UOHPZZ.

УДК 621.9.048.7

ГРНТИ 67.01.81, 90.27.27

БАК 2.1.7

Применение лазерных технологий при производстве порошковых строительных материалов

Веденин Е.И., Полина Е.В., Чартий П.В. Шеманин В.Г.

*Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, 353900, Россия, г. Новороссийск, ул. Карла Маркса, д. 20
email: * pvc-60@yandex.ru*

В строительной отрасли широко применяются порошковые строительные материалы, такие как цемент, известь, алебастр, различные строительные смеси, к которым предъявляются потребителями высокие требования, удовлетворение которых требует на этапе производства этих материалов программировать их свойства с большой точностью. Одним из эффективных путей решения такого рода задач является применение лазерных технологий

в производстве этих материалов. Эти лазерные технологии можно условно разбить на линейные и нелинейные.

В первых используется такие свойства лазерного излучения, как прямолинейность распространения и слабая расходимость лазерного излучения в однородной среде, дифракция и интерференция на соизмеримых с длиной волны аэрозольных частицах в технологических воздушных потоках при их лазерном зондировании. Это позволяет оценивать в реальном времени дисперсность производимых порошковых материалов, которая является одной из важнейших их характеристик, а также контроль дисперсности аэрозольных частиц, выбрасываемых в атмосферу [1, 2]. Для повышения точности получаемых результатов таких измерений методы лазерного зондирования отрабатываются на модельных релаксационных потоках [3], получаемых на специальном стенде, который построен в виде замкнутого аэродинамического контура [4].

Нелинейные методы лазерного зондирования строительных материалов позволяют оценивать их химический состав. Это является важной задачей, так как химический состав строительных порошковых материалов напрямую влияет на их качество. Направив сфокусированное достаточно мощное импульсное лазерное излучение на поверхность исследуемого материала можно наблюдать его абляцию. При этом в зоне сфокусированного лазерного излучения будет наблюдаться эмиссионный спектр, который несет в себе информацию об элементном составе материала [5]. Наличие соответствующих линий позволяет судить об наличии соответствующего химического элемента, а интенсивность спектральных линий позволяет судить о его процентном содержании.

В силу высокой стоимости лазерные технологии пока находят применение чаще всего в лабораторных анализах, но по мере появления новых полупроводниковых лазеров и относительно недорогих фотоприемников с возможностью спектрального разрешения, лазерные технологии станут шире применяться непосредственно в технологическом процессе, что приведет к повышению качества выпускаемых строительных материалов.

Список литературы

1. Веденин Е.И., Дьяченко В.В., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Лазерный контроль среднего объемно-поверхностного диаметра частиц для оценки параметров аэрозольного загрязнения атмосферы // Безопасность в техносфере.–2017.– Т. 6.– № 6.– С. 3-11.
2. Веденин Е.И., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Лазерная система предупреждения аварийных выбросов промышленных аэрозолей в атмосферу // Известия вузов. Физика.– 2013.– Т. 56.– № 8-3.– С. 278-280.
3. Половченко С.В., Роговский В.В., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Лазерная диагностика релаксационных аэродисперсных потоков // Научно-технический вестник Поволжья.– 2013.– № 2.– С. 41-43.
4. Чукардин В.Е., Чартий П.В. Стенд для моделирования промышленного пылегазового потока // Безопасность жизнедеятельности.– 2003.– № 9.– С. 50.

5. Воронина Э.И., Ефремов В.П., Привалов В.Е., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Оптическая прочность полимерных материалов при их лазерной абляционной деформации // Журнал технической физики.— 2009.—Т. 79. № 5.—С. 143-145.

The use of laser technologies in the production of powder building materials

Vedenin E.I., Polina E.V., Chartiy P.V., Shemanin V.G.

Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) Kuban State Technological University,

20 Karl Marx St., Novorossiysk, 353900, Russia

email: * pvc-60@yandex.ru

In the construction industry, powdered building materials such as cement, lime, alabaster, and various building mixes are widely used, to which consumers place such requirements, the satisfaction of which requires programming their properties with great accuracy at the production stage of these materials. One of the effective ways to solve such problems is the use of laser technologies in the production of these materials. These laser technologies can be roughly divided into linear and nonlinear.

The first uses such properties of laser radiation as the straightness of propagation and weak divergence of laser radiation in a homogeneous medium, diffraction and interference on wavelength-commensurate aerosol particles in technological air streams during their laser sensing. This makes it possible to evaluate in real time the dispersion of the produced powder materials, which is one of their most important characteristics, as well as the control of the dispersion of aerosol particles released into the atmosphere [1, 2]. To increase the accuracy of the obtained results of such measurements, laser sensing methods are tested on model relaxation flows [3] obtained on a special stand, which is constructed in the form of a closed aerodynamic contour [4].

Nonlinear methods of laser sensing of building materials make it possible to evaluate their chemical composition. This is an important task, since the chemical composition of building powder materials directly affects their quality. By directing focused sufficiently powerful pulsed laser radiation onto the surface of the material under study, its ablation can be observed. In this case, an emission spectrum will be observed in the area of focused laser radiation, which carries information about the elemental composition of the material [5]. The presence of the corresponding lines allows us to judge the presence of the corresponding chemical element, and the intensity of the spectral lines allows us to judge its percentage. Due to the high cost, laser technologies are still used most often in laboratory analyses, but as new semiconductor lasers and relatively inexpensive photodetectors with spectral resolution become available, laser technologies will become more widely used directly in the technological process, which will lead to a greater improvement in the quality of manufactured building materials.

References

1. Vedenin E.I., Dyachenko V.V., Chartiy P.V., Shemanin V.G. Laser monitoring of the average volume-surface diameter of particles to assess the parameters of aerosol pollution of the atmosphere // *Technosphere safety*. 2017. V. 6. No. 6. pp. 3- 11.

2. Vedenin E.I., Charty P.V., Shemanin V.G. Laser system for preventing accidental emissions of industrial aerosols into the atmosphere // *Izvestiya VUZov. Physics*. 2013. Vol. 56. No. 8-3. P. 278- 280.
3. Polovchenko S.V., Rogovsky V.V., Charty P.V., Shemanin V.G. Laser diagnostics of relaxation aerodisperse flows // *Scientific and Technical Bulletin of the Volga region*. 2013. No. 2. P. 41-43.
4. Chukardin V.E., Charty P.V. Stand for modeling industrial dust and gas flow // *Life safety*. 2003. No. 9. P. 50.
5. Voronina E.I., Efremov V.P., Privalov V.E., Charty P.V., Shemanin V.G. Optical strength of polymer materials during their laser ablation destruction // *Journal of Technical Physics*. 2009. V. 79. No. 5. P. 143-145.

УДК 551.510.41
ГРНТИ 87.15.03
БАК 1.3.6

Компактный лидар дифференциального поглощения для мониторинга тропосферного озона

Невзоров А. А.

¹ *Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН,
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1
email: naa@iao.ru*

Озон является сильнейшим окислителем, поэтому контроль состояния озоносферы – одна из важнейших задач обеспечения безопасности жизни и здоровья человека [1]. Для исследования озона существует ряд методов, среди которых особое место занимает лидарный метод дистанционного обнаружения и идентификации с использованием селективного поглощения лазерного излучения, обладающий максимальной чувствительностью [2]. В докладе приведены характеристики и описание компактного лидара дифференциального поглощения для мониторинга тропосферного озона.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2025-662 «Компактный мобильный лидар для дистанционного мониторинга концентрации озона в тропосфере различных климатических зон СНГ»)

Список литературы

1. Белан Б. Д. Тропосферный озон. 1. Свойства и роль в природных и техногенных процессах // *Оптика атмосферы и океана*.– 2008.– Т. 21.– № 04.– С. 299-322.
2. Романовский О. А., Яковлев С. В., Садовников С. А., Невзоров А. А., Невзоров А. В., Харченко О. В., Кравцова Н. С., Кистенев Ю. В. Наземные стационарные лидары дифференциального поглощения для мониторинга парниковых газов в атмосфере // *Оптика атмосферы и океана*. – 2025.– Т. 38.– № 01.– С. 72-84. DOI: 10.15372/AOO20250109

Compact differential absorption lidar for tropospheric ozone monitoring

Nevzorov A. A.

¹ Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 634055, Tomsk, Academician Zuev sq., 1
email: naa@iao.ru

Ozone is a very strong oxidizer, so monitoring the state of the ozonosphere is one of the most important tasks in ensuring the safety of human life and health [1]. There are a number of methods for studying ozone, among which a special place is occupied by the lidar method of remote detection and identification using selective absorption of laser radiation, which has maximum sensitivity [2]. The report presents the characteristics and description of the compact differential absorption lidar for monitoring tropospheric ozone.

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2025-662 «Compact mobile lidar for remote monitoring of ozone concentration in the troposphere of various climatic zones of the CIS»)

References

1. Belan B. D. Tropospheric ozone. 1. Properties and role in natural and anthropogenic processes. // *Atmospheric and oceanic optics*. - 2008. - V. 21. - No. 04. - P. 262- 280.
2. Romanovskii O.A., Yakovlev S.V., Sadovnikov S.A., Nevzorov A.A., Nevzorov A.V., Kharchenko O.V., Kravtsova N.S., Kistenev Yu.V. Ground-based stationary differential absorption lidars for monitoring greenhouse gases in the atmosphere. // *Optics of the atmosphere and ocean*. - 2025. - T. 38. - No. 01. - P. 72– 84. DOI: 10.15372/AOO20250109

ПРЕДСТАВЛЯЕМ ЖУРНАЛ

Фотоника

Научно-технический журнал о новых оптических и фотонных технологиях и их использовании в научных исследованиях, промышленности (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

URL: <http://www.technosphera.ru>

Журнал «Фотоника» посвящён оптическим системам любого типа (электрооптическим, оптоволоконным, лазерным, полностью оптическим), их элементам и технологиям. Журнал включён в список ВАК и Web of Science.

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, фотоэлектронные 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.technosphera.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 Web of Science.

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

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, Myskhakskoeshosse 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

Привалов В.Е. От редактора	4
ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА И ТЕХНИКА	5
Тимченко Е.В., Тимченко П.Е., Волова Л. Т., Лямин А.В., Каюмов К.А., Бажутова И.В., Трунин Д.А., Фролов О.О., Зотова А.В. Рамановская спектроскопия для идентификации штаммов стрепто- кокков и стафилококков	5
Рябов Н.А, Волова Л.Т., Тимченко П.Е., Тимченко Е.В., Иванов С.С. Оптические методы в исследовании состава аллогенного коллаген- содержащего гидрогеля для 3D-биопечати опорных и соединитель- ных тканей человека.....	8
Итаксов Ю.Д., Тимченко Е.В., Тимченко П.Е., Фролов О.О, Но- виков И.В., Милюдин Е.С., Волова Л.Т. Спектральный анализ децеллюляризированных трансплантатов для лечения ожоговых травм	11
Пятаева П.И., Тимченко Е.В. Оптические методы исследования состава фруктового пюре дет- ского питания.....	14
Тимченко Е.В., Тимченко П.Е., Волова Л.Т., Фролов О.О., Семибратова Е. С. Сравнительный спектральный анализ биоматериалов после про- цесса лиофилизации	17
Тимченко П.Е., Волов А.Д., Саргсян А.М., Тимченко Е.В., Фро- лов О.О., Волова Л.Т., Чернухин А.А. Спектральный анализ воды для биотехнологических лабораторий	20
Чеботарев Г. Д. Численное исследование пространственно-временных характери- стик активных сред рекомбинационных лазеров на парах металлов	22
Чеботарев Г. Д. Оптимизация характеристик лазера на самоограниченных перехо- дах SrII	23
Свистунов Д.В. Адаптация двухпотоковой методики передачи в ВОЛС с модовым мультиплексированием при RZ-кодировании данных.....	25
Иванов И.Г. Спектральные характеристики ионных лазеров на тройной смеси паров металла с гелием и неоном и с накачкой в разряде с полым катодом	26
Кожевников В.А., Привалов В.Е., Бирюков А.М. Решение системы дифференциально-интегральных уравнений для положительного столба разряда в лазерных трубках	27
Кожевников В.А., Привалов В.Е.	

Концентрация инверсно населенных атомов в He-Ne лазере на оси трубки	29
Кожевников В.А., Привалов В.Е., Шеманин В.Г.	
Исследование зависимости метода вычисления коэффициента усиления He-Ne лазера от параметров расчета	30
Куценко С.А.	
Моделирование структуры и колебательных спектров модификаций токоферолов для реализации оптического метода их разделения	32
Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Андриенко О.С., Евтушенко Г.С.	
Активные среды на парах галогенидов металлов с внутренним реактором	34
Шиянов Д.В.	
Влияние напряженности электрического поля на генерацию лазера на парах галогенида марганца	37
Пономарев И.В., Топчий С.Б., Ключарева С.В., Лябин Н.А., Чурсин А.Д., Евтушенко Г.С.	
Двухволновой медицинский лазерный аппарат на парах меди	39
Вальшин А.М.	
Генератор высоковольтных наносекундных импульсов	42
Вальшин А.М.	
Гибридная накачка твердотельного лазера на гранате	43
Вальшин А. М., Абзалилов Д. А.	
Деформация спектров излучения в импульсных источниках света при высокочастотной накачке	45
Вальшин А. М., Абзалилов Д. А.	
Мощный перестраиваемый ВЧ генератор в МГц диапазонов импульсно-периодическом режиме	46
Аксенова Л.Е.	
Алгоритм количественной оценки биомаркеров сетчатки по результатам сегментации ОКТ изображений	47
Аксенов К.Д., Аксенова Л.Е., Нефедов М.А., Шеманин В.Г.	
Математическое моделирование оптической системы фундус-камеры в ANSYS	49
Аксенов К.Д., Аксенова Л.Е., Присяжнюк А.В., Шеманин В.Г.	
Применение мультимодальной трансформерной архитектуры к изображениям глазного дна	51
Аксенов К.Д.	
Применение систем безопасности на основе стеганографии при визуализации глазного дна оптическим прибором	53
НАНОТЕХНОЛОГИИ	55
Щукина А.А., Осипов В.В., Шитов В.А.	
Синтез Yb:Y ₂ O ₃ керамик с различным содержанием ZrO ₂ и исследование их микроструктурных и оптических характеристик	55

Богданов А.В. Стабилизация параметров диодов, в частности, варикапов	56
Богданов А.В. Высокотемпературный выпрямительный диод на гетеропереходе алмаз-кремний	58
Ермаков Л.К. Электронные состояния и их локальная плотность в кристаллах YAG.....	60
Воробьева Д. А., Южакова А. А., Салимгареев Д.Д., Львов А.Е., Жукова Л. В. Определение оптимальных пространственных характеристик мик- роструктурированных световодов различной структуры на основе монокристаллов системы $\text{AgCl} - \text{AgBr} - \text{AgI}$	62
Барыкина С.Е., Костров В.С., Львов А.Е., Изотова О.М., Салимгареев Д.Д., Жукова Л.В. Влияние технологии синтеза на оптические свойства $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54} - \text{AgBr}_{0,7}\text{I}_{0,3}$	65
Кабыкина Е.Ю., Южаков И.В., Воробьева Д.А., Сабитова Ю.Э., Южакова А.А., Жукова Л.В. Температурный коэффициент показателя преломления монокри- сталлов и керамики системы $\text{AgCl} - \text{AgBr} - \text{AgI}$	68
Южаков И.В., Южакова А.А., Беляева А.В., Бочарова Е.К., Воробьева Д.А., Кабыкина Е.Ю., Жукова Л.В. Электро- и теплофизические характеристики галогенидов серебра в зависимости от температуры.....	70
Каркавина Е.Д, Салимгареев Д.Д., Кучеренко Ф.М., Львов А.Е., Жукова Л.В. Химическая обработка галогенидов серебра и таллия.....	73
Космачев В.О., Пестерева П.В., Львов А.Е., Малышкина Е.Н., Вольхина Е.А., Жукова Л.В. Исследование фазовой диаграммы системы $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgBr}$ для получения инфракрасной оптики	76
Пестерева П.В., Южакова А.А., Южаков И.В., Шварц С.К., Жукова Л.В. Определение физических свойств галогенидов серебра.....	78
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	81
Петрунина Е.В., Ермаков Д.М., Ефремов М.Ю. Биотехническая система реабилитации постинсультных больных с гибридными обратными связями	81
Кныш О.А. Метод оценки уровня адаптации периферического кровоснабжения кисти руки при работе с виброинструментом.....	83
Кондрашов Д.С., Коробков С.В., Кузьмин А.А.	

Метод сегментации изображений видеоряда при неравномерной освещенности снимка	86
Лукаш О.Ю.	
Синтез нечетких моделей прогнозирования невротических расстройств, вызываемых условиями труда инженеров конструкторов	89
Лях А.В.	
Классификатор медицинского риска на основе многоэлектродного и многочастотного зондирования грудной клетки	92
Рыбаков А.Ю.	
Нейросетевой классификатор электрической активности мозга для оценки функционального состояния человека-оператора.....	94
Скворцов М.К., Фатнев Д.А., Старцев Е.А.	
Показатели фазовой синхронизации как дескрипторы классификаторов функционального состояния живых систем	97
Жилин И.А., Моторин А.В., Халин И.А.	
Многоступенчатая модель классификатора в системах интеллектуальной поддержки классификации снимков видеоряда.....	100
Гусеников Е.Н., Юран С.И.	
Концепт операционной системы «Бытового фитотрона».....	103
Воробьев А.Е., Корчевский А.Н.	
Кибератаки на искусственные спутники Земли.....	104
Воробьев А.Е., Корчевский А.Н., Воробьев К.А.	
Концептуальная категоризация различных форм конфликтов в киберпространстве	108
Ульянов А.Г., Долгов В.П.	
Формирование и ведение исполнительной документации с использованием нейронных сетей, как инструмент оптимизации строительных процессов	112
Вишневецкая В.В., Адиян Д.Т.	
Английский язык один из основных аспектов в деятельности IT специалиста	114
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ	119
Романовский О.А.	
Лидары дифференциального поглощения для мониторинга парниковых газов в атмосфере	119
Тихомиров А.А., Татур В.В.	
Влияние паров меркаптанов и сероводорода на работу анализатора паров ртути на основе поперечного эффекта Зеемана	122
Тихомиров А. А., Кальчихин В.В., Кобзев А.А.	
Измеритель параметров снежных осадков на базе лазерного дисдрометра	123
Мкртычев О.В.	

Применение лидаров при построении облака точек и обработка данных в строительстве	125
Кузина Е.И., Кузин П.И.	
Адаптивное сопровождение БЛА при составлении цифровых карт труднодоступных территорий с применением лазерного зондирования атмосферы	127
Алексеев В.А., Усольцев В.П., Юран С.И.	
Искусственный интеллект в обработке спектра исследуемого вещества	128
Куля Д.Н., Дьяченко В.В.	
Анализ результатов использования лазерных методов при мониторинге аэрозольного загрязнения воздуха Новороссийской агломерации	129
Харченко О.В.	
Определение информативного спектрального диапазона для зондирования CO ₂ с помощью диодной лазерной системы	134
Александров Д.В., Денисюк Р.Н., Дубров М.Н.	
Применение пространственно-разнесенных лазерно-интерферометрических наблюдений для исследования связи тропических циклонов и землетрясений	137
Завозин В. А., <u>академик РАН Е. И. Гордеев</u>, Першин С. М., Безруков Л. Б., Макаров В. С., Акбашев Р. Р. , Болдин Г.А., Межох А. К., Ингерман С.В., Синёв В. С., Агафонова Н. Ю., Глухов В. Е., Макаров Е. О.	
Корреляция сигнала микроджоульного аэрозольного лидара с выбросами аэроионов в период землетрясения на Камчатке 29.07.2025 UTC.	140
Веденин Е. И., Дьяченко В.В., Сарычев И.А., Чартий П.В., Шеманин В.Г.	
Малогобаритный аэрозольный лидар	143
Сарычев И. А., Авдонькин А. С., Сарычев П.И., Чартий П. В., Шеманин В.Г.	
Измерение концентрации метана в газовом сырье ИК системой дифференциального поглощения	144
Привалов В. Е., Чербачи Ю. В., Авдонькин А.С., Шеманин В. Г.	
Компьютерное моделирование лидарных измерений концентрации молекул метановой смеси при транспортировке газовой смесью	146
Аблязов Э.К., Веденин Е.И., Половченко С.В., Чартий П.В., Шеманин В.Г.	
Зондирование аэрозольных потоков методом дифференциального ослабления в видимой и ближней ИК области	148

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	151
Чура М.Н., Грицова А.Ц., Зайцев Н.А., Чура Н.Н.	
Оценка экологического риска нефтяных загрязнений в порту Новороссийск	151
Бондарев К.Г., Берёза И.Г., Волкова Т.А.	
Обработка судовых балластных вод	154
Шацкова Е.И., Берёза И.Г.	
Флотационный сепаратор судовых льяльных вод.....	155
Жмырко Т.Г., Новикова Т.К., Стихова А.М.	
Последствия техногенной экологической катастрофы в Керченском проливе.....	157
Загурский Е. Ф., Туркин В. А.	
Расчет выбросов паров судового топлива, выбрасываемых в атмосферу в процессе бункеровки морских судов	159
Зубко С. С., Туркин В. А., Игнатенко Г. В.	
Использование селективно каталитического восстановления для очистки отработавших газов судовых двигателей	160
Туркин В. А., Зубко С. С., Краевой А. И., Воробец И. А.	
Лазерный метод контроля выбросов вредных веществ судовыми энергетическими установками.....	162
Воробец И. А., Туркин В. А.	
Эффективность очистки дымовых газов адсорбцией твердым веществом в присутствии озона.....	163
Гарифьянова Н.С., Матасова И.Ю., Теюбова В.Ф.	
Исследование состояния донных отложений в акватории затопления судов «Волганефть-212» и «Волганефть-239» в декабре 2024 г.....	165
Веденин Е.И., Полина Е.В., Чартий П.В. Шеманин В.Г.	
Применение лазерных технологий при производстве порошковых строительных материалов	167
Невзоров А. А.	
Компактный лидар дифференциального поглощения для мониторинга тропосферного озона.....	170
 Представляем журнал	
Фотоника (Photonics)	172
 Представляем журнал	
Лазеры. Измерения. Информация (Lasers. Measurements. Information)	174

Научное издание

**Лазерно-информационные технологии
(ЛИТ–2025)**

**Труды XXXIII международной научной конференции
г. Новороссийск, 8–14 сентября 2025 г.**

Науч. редактор **Е. В. Привалов**
Тех. поддержка **П. И. Сарычев**

Подписано в печать 28.08.25.

Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. 10,6 Уч.-изд. л. 12,32

Электронный вариант опубликован в режиме доступа для зарегистриро-
ванных пользователей

URL: <https://bgtu-nvrsk.ru/research/conferences/lit/2023/info>

Издательство филиала федерального государственного бюджетного обра-
зовательного учреждения высшего образования «Белгородский государ-
ственный технологический университет им. В. Г. Шухова» в г. Новорос-
сийске.

353919, г. Новороссийск, Мысхакское шоссе, 75.

Тираж 500 экз. Заказ № 5012.

Отпечатано в редакционно-издательском отделе
ФГБОУ ВО «ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова»
353924, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93.