

**Академия инженерных наук России им. А. М. Прохорова
Оптическое общество России им. Д. С. Рождественского
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Балтийский государственный технический университет
Кубанский государственный технологический университет
Новороссийский политехнический институт
Белгородский государственный технологический университет
имени В. Г. Шухова – Новороссийский филиал
Научно-исследовательский центр «Репер»
Фонд содействия развитию малых форм предприятий
в научно-технической сфере**



ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ, БИОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И НА ТРАНСПОРТЕ – 2020

Труды XXVIII Международной конференции

г. Новороссийск, Краснодарский край
7–12 сентября 2020 г.

Под редакцией профессора В. Е. Привалова

Пенза
Издательство ПГУ
2020

УДК 62+66
ББК 30
Л17

Л17 Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте – 2020 : тр. XXVIII Междунар. конф. (г. Новороссийск, Краснодарский край, 7–12 сентября 2020 г.) / под ред. проф. В. Е. Привалова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2020. – 330 с.

ISBN 978-5-907364-32-5

Представлены материалы XXVIII Международной конференции. Тематически доклады распределены по секциям: «Лазерная физика и техника», «Нанотехнологии», «Компьютерные технологии и системы обработки изображений и сигналов», «Геотехнологии и геоэкологический мониторинг», «Техносферная безопасность».

Издание предназначено для научных сотрудников, инженеров, аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

УДК 62+66
ББК 30

Редакционная коллегия:

Очкин В. Н. – д-р физ.-мат. наук, проф., действительный член
Академии инженерных наук им. А. М. Прохорова,
Привалов В. Е. – д-р физ.-мат. наук, проф., действительный член
Академии инженерных наук им. А. М. Прохорова,
Фотиади А. Э. – д-р физ.-мат. наук, проф., действительный член
Академии инженерных наук им. А. М. Прохорова,
Шеманин В. Г. – д-р физ.-мат. наук, проф.,
Дьяченко В. В. – д-р геогр. наук, проф.

Организация и проведение конференции поддержаны новороссийскими предприятиями – ООО «НПФ "АВТЭК" и ЗАО «НЦЗ "Горный"»

Информационная поддержка журналов «Фотоника»



и «Безопасность в техносфере»



ISBN 978-5-907364-32-5

© ФГОУ ВО «КубГТУ», 2020

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ КОНФЕРЕНЦИИ

В. Н. Очкин, ФИАН, Москва
А. И. Рудской, СПбПУ Петра Великого, С.-Петербург
С. А. Удодов, КубГТУ, Краснодар

ОРГКОМИТЕТ

Э. И. Акопов, ФИАН, Москва
В. М. Арпишкин, ООР, С.-Петербург
А. В. Бабкин, СПбПУ, С.-Петербург
В. И. Балобан, БалтГТУ, С.-Петербург
Г. А. Баранов, ВНИИЭФА, С.-Петербург
А. С. Борейшо, БалтГТУ, С.-Петербург
А. Н. Власов, РГРТУ, Рязань
А. Е. Воробьев, РУДН, Москва
Г. И. Долгих, ТОИ ДВО РАН, Владивосток
В. В. Дьяченко (зам. председателя), НПИ КубГТУ, Новороссийск
Г. С. Евтушенко, ТПУ, Томск
В. С. Иванов, СПбГУ, С.-Петербург
И. Г. Иванов, ЮФУ, Ростов-на-Дону
В. Н. Курятов, НИИ «Полюс», Москва
Е. Л. Латуш, ЮФУ, Ростов-на-Дону
В. А. Лопота, СПбПУ, С.-Петербург
В. П. Минаев, ЛА, Москва
В. Я. Панченко, ИПЛИТ РАН, Шатура Московской обл.
П. В. Чартий (ученый секретарь), НПИ КубГТУ, Новороссийск
В. Е. Привалов (председатель), СПбПУ, С.-Петербург
И. В. Пучков, НИЦ «Репер», С.-Петербург
И. В. Самохвалов, ТГУ, Томск
А. Н. Солдатов, ТГУ, Томск
В. А. Степанов, РГПУ, Рязань
В. А. Тарлыков, СПбНИУИТМО, С.-Петербург
В. А. Туркин, ГМУ, Новороссийск
В. В. Тучин, СаратовГУ, Саратов
А. Б. Федорцов, НМСУ «Горный», С.-Петербург
А. Э. Фотиади, СПбПУ, С.-Петербург
Ю. В. Чугуй, КТИ СО РАН, Новосибирск
В. Г. Шеманин (зам. председателя), НФ БГТУ, Новороссийск
И. А. Щербаков, ИОФ РАН, Москва

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА	14

СЕКЦИЯ А-1 – ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА И ТЕХНИКА

Паюров А. Я., Кюн В. В., Румянцев Р. С., Степанов В. А., Фёдоров М. А., Лепехов А. В. 3D-проектирование волноводного CO ₂ -лазера с поперечным высокочастотным возбуждением	15
Паюров А. Я., Кюн В. В., Румянцев Р. С., Степанов В. А., Федоров М. А. Тепловые режимы работы волноводного CO ₂ -лазера с поперечным высокочастотным возбуждением	18
Паюров А. Я., Бодров А. И., Кюн В. В., Шлыкова С. П. Волноводные CO ₂ -лазеры и их применение	20
Казаков С. В., Касьян В. Г., Пьянов О. Г., Чуляева Е. Г. Современные частотно-стабилизированные гелий-неоновые лазеры	22
Кочин Л. Б. Концепция энергоинформационного обмена по лазерному каналу	25
Вейко В. П., Заколдаев Р. А., Рамос Веласкес А. Лазерная маркировка прозрачных материалов и изделий из них	27
Кожевников В. А., Привалов В. Е. Новые формы геометрии активного элемента He-Ne лазера	30
Кожевников В. А., Привалов В. Е. Мощность He-Ne лазера с прямоугольным сечением трубки	32
Кожевников В. А., Привалов В. Е. Мощность He-Ne лазера с эллиптическим сечением трубки	34
Кожевников В. А., Привалов В. Е., Фотиади А. Э. Процессы в положительном столбе разряда в лазерных трубках плавно изменяющегося диаметра	36
Жуков В. В., Кожин А. А., Попова В. А., Мрыхин В. В. Экспериментальное обоснование применения низкоинтенсивного лазерного излучения для терапии нейроэндокринных нарушений ксеногенной этиологии в организме человека	37
Тимченко Е. В., Тимченко П. Е., Волова Л. Т., Бажутова И. В., Зыбин М. А., Фролов О. О., Итяксов Ю. Д. Сравнительная спектральная оценка состояния дентина зубов при третьей степени их подвижности	40
Тимченко Е. В., Тимченко П. Е., Писарева Е. В., Власов М. Ю., Волова Л. Т., Фролов О. О., Федорова Я. В., Тихомирова Г. П., Романова Д. А. Метод спектроскопии комбинационного рассеяния для анализа костной ткани при остеорезорбции	42
Тимченко П. Е., Тимченко Е. В., Волова Л. Т., Фролов О. О., Зыбин М. А. Расширенный спектральный анализ материалов из дентина в процессе их изготовления для стоматологии	44

Тимченко Е. В., Тимченко П. Е., Зыбин М. А., Черный-Ткач К. Б., Фролов О. О. Комплексная оптическая диагностика периодонтита	46
Тимченко Е. В., Тимченко П. Е., Волова Л. Т., Фролов О. О., Ягофарова Е. Ф. Хеометрический анализ спектров комбинационного рассеяния при оценке имплантатов из твердого неба	48
Кожевников В. А., Привалов В. Е. Коэффициент усиления He-Ne лазера с сечением трубки в виде гиперболического многоугольника	51
Кизеветтер Д. В., Резник А. С., Журавлева Н. М., Литвинов Д. В. Флуоресцентный анализ смесей диэлектрических жидкостей	52
Иванов И. Г. Ионный лазер на парах меди с одновременным многоволновым излучением в ультрафиолетовом и инфракрасном частях спектра	54
Иванов И. Г. О накачке лазерных переходов перезарядкой в ионных лазерах на парах металлов	57
Власов А. Н. Индикатор кровотока на основе лазерной указки	61
Алексеев В. А., Зарипов М. Р., Юран С. И., Вершинин М. Н., Меркулова А. А. Лабораторный стенд предпосевной лазерной активации семян пшеницы	62
Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И., Шульмин Д. Н. Оптико-электронный стенд регистрации изменений оптической плотности жидких сред	65
Вершинин М. Н., Зарипов М. Р., Юран С. И. Некоторые аспекты использования лазерного излучения для воздействия на биологические объекты растительного происхождения	68
Голдина Н. Д. Применение отражающего интерферометра для анализа поглощающих газов	70
Огнев Б. И., Складчиков С. А., Чуляева Е. Г. Влияние турбулентности на распространение оптических сигналов с длиной волны 1550 нм	71
Люшневская Ю. Д., Губарев Ф. А., Жуков Е. Л. Оценка состояния системы коагуляции методом корреляции цифровых спекл-изображений	74
Усманова Ш. Ш., Скорнякова Н. М. Блок регистрации излучения комплекса на основе мультицветной анемометрии по изображениям частиц	74
Чеботарев Г. Д. Моделирование пространственных характеристик активных сред импульсно-периодических лазеров на парах металлов	77
Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И., Шульмин Д. Н., Буранов Д. Н. Оптико-электронный контроль содержания химических элементов в сточных водах	78

Велюхова О. Ю., Непомнящая Э. К., Величко Е. Н. Метод лазерной корреляционной спектроскопии для определения размеров агрегатов альбумин-золотые наночастицы	82
Филонов А. А., Коляда Н. А., Пивцов В. С. Исследование фазовых шумов волоконного эрбиевого лазера с синхронизацией мод, разработанного для фемтосекундного синтезатора частот	85
Коротких И. И., Малахов Ю. И. Высокоскоростная визуализация поверхностного разряда	87
Макаров А. О. Магнитометрия на основе оптической накачки	90
Усольцев А. В., Юран С. И. Комплекс оценки физической подготовки боксеров на тренировках	92
Алексеев В. А., Усольцева А. В., Усольцев В. П. Регрессионная модель лазерного воздействия на натуральные материалы	95
Филонов А. Г., Шиянов Д. В. Масштабирование лазера на парах европия	99
Кучменко А. В., Скорнякова Н. М., Кучменко В. В. Комплекс определения количественных характеристик газожидкостного потока от форсунок различной конфигурации	101
Мусоров И. С., Торгаев С. Н., Евтушенко Г. С., Шиянов Д. В. Исследование высокочастотного усилителя яркости на парах бромида меди	103
Гембух П. И., Шиянов Д. В., Тригуб М. В. Исследование особенностей барьерного емкостного разряда для возбуждения активных сред на переходах атомов металлов	105
Васнев Н. А., Гембух П. И., Тригуб М. В. Источник накачки лазеров на парах металлов с частотой следования импульсов возбуждения до 100 кГц	107
Семенов К. Ю., Федоров В. Ф., Шиянов Д. В., Тригуб М. В. Лазер на парах металлов с индукционным дозатором рабочего вещества	110
Васнев Н. А., Тригуб М. В., Торгаев С. Н., Евтушенко Г. С. Определение чувствительности активного элемента на парах бромида меди при различных режимах работы	112
Вейко В. П., Одинцова Г. В., Лыонг В. К., Лутошина Д. С., Морозова А. А. Цветная лазерная маркировка как направление «научного искусства»	116
Скорнякова Н. М. Обработка изображений теневого фонового метода цифровыми методами поля направлений	119
Киселев А. С., Смирнов Е. А., Смоляк В. Г. Разработка компактного лазерного сканера для решения задач реверс-инжиниринга	121
Безъязычный В. Ф., Чукарин А. Н., Чумак П. В. Расчет вибрации ползуна на токарно-карусельном станке	124

СЕКЦИЯ Б-2 – НАНОТЕХНОЛОГИИ

Михайлов Г. П., Великанов Н. В.

Квантовохимическое моделирование перераспределения заряда иона капли дождя на фрагмент графена 131

Шеманин В. Г., Мкртычев О. В.

Динамика распространения тепловой волны лазерной абляции в материале мишени 133

Баранов М. А., Величко Е. Н.

Дегидратированные пленки белков как перспективный материал для разработки элементов биомолекулярной электроники 138

Кривонос Е. А., Колпакова Е. В.

Элементы теории изнашивания твердосплавных инструментов 140

Колесников Б. П., Арушанян Р. Р.

Прогнозирование эффективной проводимости N-компонентной макроскопически неупорядоченной среды 144

Салимгареев Д. Д., Южакова А. А., Львов А. Е., Корсаков М. С., Тураби А., Жукова Л. В.

Инфракрасные кристаллы системы AgBr-AgI для медицины 146

Жукова Л. В., Салимгареев Д. Д., Львов А. Е., Южакова А. А., Шмыгалев А. С., Корсаков А. С.

Высокопрозрачная оптическая керамика для среднего инфракрасного диапазона 149

Южакова А. А., Салимгареев Д. Д., Львов А. Е., Корсаков А. С., Жукова Л. В.

Определение коэффициентов нелинейности фотонно-кристаллических световодов с высоким градиентом показателя преломления 151

Южакова А. А., Салимгареев Д. Д., Львов А. Е., Шмыгалев А. С., Тураби А., Жукова Л. В.

Моделирование самофокусировки в оптических изделиях на основе галогенидов серебра и таллия (I) 153

Кондрашин В. М., Липустин К. В., Пахоменко О. Н., Корсаков А. С., Жукова Л. В.

Моделирование и изготовление лазерной системы для измерения показателей преломления на длине волны 10,6 мкм 156

Богданов А. В.

Донорно-акцепторная рекомбинация как обратная связь инормирующий фактор электрофизических свойств полимолекулярных веществ 157

Богданов А. В.

Модель межмолекулярной донорно-акцепторной рекомбинации носителей заряда в алмазе 159

Ермаков Л. К.

Плотность электронных состояний иттрий-алюминиевых гранатов 161

Липустин К. В., Кондрашин В. М., Корсаков А. С., Жукова Л. В., Корсакова Е. А.	
Перспективные акустооптические кристаллы для среднего инфракрасного диапазона	162
Салимгареев Д. Д., Южакова А. А., Львов А. Е., Жукова Л. В., Белоусов Д. А., Корсаков А. С.	
Исследование оптической прозрачности кристаллов на основе твердых растворов систем AgHal-TlHal в терагерцовом диапазоне	164

СЕКЦИЯ В-3 – КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ И СИГНАЛОВ

Орлов М. Ю., Степанов В. А., Лепехов А. В.	
Применение лазерного станка с числовым программным управлением в дополнительном образовании детей средних классов	167
Савин В. Н., Степанов В. А., Моос Е. Н., Умняшкин Н. В., Умняшкин А. В., Шадрин М. В.	
Электронная система обработки триангуляционного сигнала от изделия на производстве	169
Забанов Д. С.	
Комбинированные биотехнические обратные связи в компьютерных системах персонализированной магнитотерапии	173
Шаталова О. В., Медников Д. А., Протасова З. У.	
Компьютерные технологии прогнозирования медицинских рисков с сегментированным пространством факторов риска	177
Стадниченко Н. С., Шаталова О. В., Мирошников А. В.	
Многомерный биоимпедансный анализ в компьютерных технологиях ранней диагностики инфекционных заболеваний	180
Трифонов А. А., Мяснянкин М. Б., Филист С. А.	
Нейросетевые модели формирования команд управления в биотехнической системе реабилитационного типа	184
Сапронов М. В.	
Моделирование индикатрис рассеяния света на малых полидисперсных сферических частицах	188
Шматко Е. В., Ильина Н. С., Поройков А. Ю.	
Оценка погрешности фотограмметрического алгоритма с помощью компьютерного моделирования деформируемой поверхности	190
Беляев К. П., Кушнир Н. В.	
Описание работы программы сравнения снимков при интервальной съемке	191
Колпакова Е. В., Кривonos Е. А.	
Обобщенный спектр в моделях Маггерра – Власова колебаний пологих оболочек в неограниченной области	194
Вальшин А. М.	
Спектральные характеристики плазмы при высокочастотном импульсно-периодическом воздействии	195

Вальшин А. М. Электрические характеристики стекла при высокочастотном импульсно-периодическом воздействии	198
Шитов С. А., Калугин П. О., Поройков А. Ю. Оценка погрешности определения пространственного положения изображений маркеров AgUso с применением компьютерного моделирования	200

СЕКЦИЯ Г-4 – ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Кугейко М. М., Лысенко С. А., Смунев Д. А. Планирование эксперимента и программные пакеты в диагностике биообъекты и аэрозолей	202
Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Зондирование молекул метанола в атмосфере лидаром комбинационного рассеяния света	206
Привалов В. Е., Воронина Э. И., Шеманин В. Г. Лидар дифференциального поглощения для зондирования радионуклидов йода	211
Заикин Я. О., Гридасов О. Н., Кондрашов Д. С. Геоэкологический мониторинг с использованием беспилотных летательных аппаратов	214
Чербачи Ю. В., Шеманин В. Г. Аэрозольный лидар для зондирования атмосферного пограничного слоя	218
Дубров М. Н., Александров Д. В., Кравцов В. В. Лазерно-интерферометрическая антенна для сверхширокополосного мониторинга сейсмо-деформационных полей	224
Мельников В. А., Никитин О. П. Особенности траекторий поверхностных дрейфтеров ARGOS при переносе из Северной Атлантики в Арктику	227

СЕКЦИЯ Д-5 – ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Баранов С. Е., Веремьев Н. К., Веремьев К. Н., Веремьев Р. Н., Сикорский В. И. Комплексная система управления работой электрофилтра	230
Давыдов Д. А., Туркин В. А. Человеческий фактор и его влияние на безопасность эксплуатации плавучей регазификационной установки	232
Игнатенко Г. В., Туркин В. А., Щербина А. В., Писаренко Л. Н. Система инструментального мониторинга концентрации вредных веществ в отработавших газах судовых дизелей	233
Щербина А. В., Туркин В. А., Атласов Р. Ю., Сарычев И. А. Судовая система лазерного мониторинга выбросов вредных веществ	235

Фурдуй В. С., Берёза И. Г. Применение озонирования для очистки производственных сточных вод	236
Нечаев М. А., Берёза И. Г. Технология доочистки ливневых нефтесодержащих вод	238
Гоманова А. Ю., Берёза И. Г. Технология переработки жидких отходов производства хитина	240
Санникова А. Б. Реализация государственной политики в сфере здравоохранения на территории Краснодарского края	242
Санникова А. Б. Реализация государственной демографической политики в Краснодарском крае	246
Санникова А. Б. Управление развитием сельского хозяйства в Краснодарском крае	249
Чура М. Н., Чура Н. Н. Техносферная безопасность: пути оценки	253
Березенко Н. С. Многолетние эколого-фитоценотические изменения макрофитобентоса памятника природы «Суджукская лагуна» (Новороссийская бухта, Чёрное море)	255
Студиград Н. П. Ихтиопланктон Геленджикской бухты в весенний и летний периоды 2020 г.	259
Матасова И. Ю. Концентрация гумуса в почвах биогенных ландшафтов Черноморского побережья России	263
Сарычев И. А., Хекерт Е. В., Чартий П. В., Шеманин В. Г. Оценка взрывоопасности зерновой пыли при проведении перегрузочных работ методами лазерного зондирования	266
Калинина И. В., Храмов В. Н. Экспериментальное исследование особенностей световых параметров различных источников света	270
Шелехов А. П., Афанасьев А. Л., Кобзев А. А., Тельминов А. Е., Молчунов А. Н., Шелехова Е. А., Поплевина О. Н. Возможности квадрокоптеров малых размеров для низковысотного зондирования турбулентных вихревых образований	273
Хованский А. Д., Дьяченко В. В. Обеспечение экологической безопасности в регионе	277
Тураби А., Корсаков А. С., Жукова Л. В., Жилкин Б. Д. Исследование влияния механической вибрации на оптические свойства при передаче инфракрасного излучения по галогенидсеребряным световодам	281
Магомадов А. С., Вайниловский Э. К. Коэффициент теплопроводности газовых конденсаторов на псевдокритической изобаре	283

Вишневецкая В. В. Геоэкологическая трактовка англоязычного термина «геоинжиниринг» в российской научной литературе	285
Дьяченко В. В., Хованский А. Д. География и геохимия ветровой эрозии ландшафтов юга России	288
Половченко С. В., Сарычев И. А., Солдатов А. Н., Чартий П. В., Шумейко А. С. Экспериментальная установка для многочастотного лазерного зондирования аэродисперсных потоков в диапазоне длин волн от 0,405 до 6,45 мкм	292
Аблязов Э. К., Васильев А. О., Веденин Е. И., Сарычев П. И., Чартий П. В. Лазерная система мониторинга молекул углеводородов в атмосфере над акваторией морского порта	297
Дьяченко В. В., Матасова И. Ю. Геохимия дефляционных и техногенных аэрозолей	299
Воробьев А. Е., Воробьев К. А. Наноматериалы высоковольтных кабелей и проводов	303
Воронина Т. В., Лохова Т. В. Имидж муниципального образования – основа экономического роста и инвестиционной привлекательности территории	307
В. Е. Павлюк, Н. Ю. Настаева, Т. В. Лохова К вопросу развития инновационного человеческого капитала в современной муниципальной политике	310
Е. Р. Лысенко Санаторно-курортный комплекс, как объект государственного регулирования	317
Н. Ю. Настаева К вопросу о взаимодействии между лечебными учреждениями города и ведомственными учреждениями здравоохранения	319
В. Е. Павлюк Цифровые технологии и их роль в развитии некоммерческого сектора муниципального образования город Новороссийск	322

ПРЕДСТАВЛЯЕМ ЖУРНАЛ

Журнал «Фотоника»	327
Журнал «Безопасность в техносфере»	328

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

Доктору физико-математических наук, профессору Привалову Вадиму Евгеньевичу – 80 лет

Вадим Евгеньевич окончил Ленинградский политехнический институт. В 1970 г. он защитил кандидатскую диссертацию, в 1981 – докторскую. В 1991 г. перешел на работу профессором в Ленинградский механический институт на кафедру физики, а в 2002 г. вернулся в ЛПИ, который к этому времени стал называться Санкт-Петербургским политехническим университетом на кафедру экспериментальной физики. Работая во Всероссийском научно-исследовательском институте метрологии им Д. И. Менделеева, В. Е. Привалов был руководителем работ по созданию первого отечественного гелий-неонового лазера, стабилизированного по поглощению в йоде. Лазерами этого типа позднее были оснащены три первичных эталона страны, в результате чего погрешность воспроизведения ими своих физических величин уменьшилась в 3 раза. Эти лазеры лабораторией В. Е. Привалова были установлены также в лазерном сейсмометре ТОИ АН СССР и лазерном интерферометре Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ АН СССР. В феврале 2018 г. 17-й его ученик защитил кандидатскую диссертацию, а 6 – стали докторами наук. В. Е. Привалов является организатором и бессменным председателем оргкомитетов двух международных конференций «Лазеры. Измерения. Информация» и «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии», членом редколлегии журнала РАН «Научное приборостроение» и «Научно-технических ведомостей Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого». В. Е. Привалов – автор более 400 научных трудов: 7 монографий, 12 учебных пособий, более 50 авторских свидетельств и патентов, более 300 статей. Научно-педагогическая деятельность В. Е. Привалова была отмечена правительственной наградой – медалью «За доблестный труд» (1970), двумя медалями ВДНХ (бронзовая – 1979 г. и серебряная – 1984 г.), знаком «Изобретатель СССР» за внедрение его изобретений в технику (1982), медалью им. С. Э. Фриша Оптического общества им. Д. С. Рож-дественского за образовательную деятельность и проведение международных конференций по лазерам (2009). В. Е. Привалова избран действительным членом Академии инженерных наук им. А. М. Прохорова (2000). Его деятельность в Академии отмечена двумя медалями: медалью АИН А. М. Прохорова за вклад в лазерную физику и юбилейной медалью А. М. Прохорова. В. Е. Привалов имеет отраслевую награду: в 2013 г. ему присвоено звание «Почетный работник высшего профессионального образования». Указом Президента России № 37 от 25 января 2017 г. ему присвоено звание «Заслуженный работник высшей школы России».

**Доктору физико-математических наук, профессору
Шеманину Валерию Геннадьевичу – 70 лет**

Валерий Геннадьевич в 1972 г. закончил Физический факультет Башкирского государственного университета по специальности «Физика». В 1997 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 2007 – докторскую. С 1995 г. работает в Новороссийском политехническом институте КубГТУ, где длительное время возглавлял кафедру и был директором. Все 50 лет трудовой деятельности посвятил лазерной физике. Основное направление – лазерное зондирование многокомпонентных газовых потоков в атмосфере и лазерная абляция. Им разработан комплексный подход к решению этой проблемы и предложены варианты лидаров, использующих излучение различных лазеров и предназначенных для дистанционного зондирования загрязняющих веществ. За эти годы под руководством В. Т. Шеманина выполнены исследования в рамках грантов РФФИ, Президиума РАН, программ Минобрнауки РФ и защищены кандидатские диссертации (Э. К. Аблязов, А. О. Васильев, Е. И. Веденин, О. В. Мкртычев). Результатом научной деятельности стали более 300 публикаций: монографии, учебные пособия, препринты, патенты, статьи и доклады на конференциях. Работа Валерия Геннадьевича отмечена избранием в действительные члены Оптического общества им. Д. С. Рождественского (Санкт-Петербург); Европейского оптического общества и Лазерной ассоциации (Москва).

В 2019 г. В. Г. Шеманину присвоено звание Почетного работника в сфере образования Российской Федерации

**ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ, КОЛЛЕГИ И УЧЕНИКИ
ПОЗДРАВЛЯЮТ НАШИХ ЮБИЛЯРОВ И ЖЕЛАЮТ ИМ
ЗДОРОВЬЯ, БОДРОСТИ И НОВЫХ ДОСТИЖЕНИЙ!**

ОТ РЕДАКТОРА

С 1992 г. в Санкт-Петербурге регулярно проводится школа-семинар-выставка «Лазеры для медицины и биологии». С 1994 г. у нас появилась и экологическая тематика. Материалы публиковались в отечественных журналах, отдельные доклады помещены в «Труды международного общества по оптической технике» (SPIE). География участников, включая и зарубежных, была довольно обширной, тематика разрасталась, поэтому было принято решение с 2000 г. проводить конференцию «Лазеры для медицины, биологии и экологии». Круг рассматриваемых вопросов – это области, в которых лазеры дают несомненное преимущество, разработка лазеров для этих областей, применение лазеров в традиционных областях медицины, биологии и экологии. Важно понять причины эффективного применения лазеров в указанных отраслях науки и при решении прикладных задач. С 2007 г. тематика конференции ещё больше расширена, высокие технологии не ограничены лазерами, отражены вопросы техносферной безопасности и нанотехнологий. С 2007 г. Международная конференция «Высокие технологии в медицине, биологии и геоэкологии – 2007» проводилось в Новороссийске. В 2008 г. название конференции было конкретизировано. С 2014 г. конференция проводилась в Государственном морском университете им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. С 2019 г. она снова стала проводиться на базе Новороссийского политехнического института (филиала) Кубанского государственного технологического университета.

На конференции 2020 г. представлены 106 докладов по указанной тематике. Авторы докладов работают в различных научных учреждениях и университетах Санкт-Петербурга, Москвы, Фрязино Московской области, Рязани, Ижевска, Самары, Волгограда, Уфы, Екатеринбурга, Томска, Новосибирска, Курска, Ростова-на-Дону, Краснодар, Туапсе, Новороссийска, Минска (Беларусь).

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

По материалам наших конференций, прошедших в 2007 и 2008 гг., изданы Вестники СПбО Академии инженерных наук им. А. М. Прохорова (№ 3, 4 и 5). Материалы прежних конференций опубликованы в восьми томах Proceedings of SPIE. В 2009–2014 гг. ежегодно публиковались 3–4 тома Трудов, издаваемых издательством СПбГПУ. Ряд статей, отобранных Оргкомитетом, был опубликован в отечественных и зарубежных журналах. Нашей конференции посвящены отдельные выпуски «Оптического журнала» (№ 3 за 2015 г. и № 5 за 2016 г.), издаваемого в Санкт-Петербурге (входит в перечень ВАК и SCOPUS). Материалы конференции размещены также в № 6 «Оптического журнала» за 2017 г. Статьи 2017 г. размещены в № 4–9 «Оптического журнала» за 2018 г. Информационную поддержку конференции осуществляют журналы «Фотоника» и «Безопасность в техносфере» (информация на сайте конференции). Ряд статей 2018 и 2019 гг. опубликованы в журнале «Optical Memory&Neural Networks (Information Optics)».

СЕКЦИЯ А-1 – ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА И ТЕХНИКА

3D-проектирование волноводного СО₂-лазера с поперечным высокочастотным возбуждением

*А. Я. Паюров, В. В. Кюн, Р. С. Румянцев, В. А. Степанов,
М. А. Фёдоров, А. В. Лепехов*

АО «ПЛАЗМА», Рязанский государственный университет
имени С. А. Есенина, Рязань, vl.stepanov@365.rsu.edu.ru

Рассмотрено 3D-проектирование элементов и узлов нового поколения волноводных СО₂-лазеров с поперечным ВЧ-возбуждением.

Ключевые слова: цикл, генерация, разработка, швеллер, метод экструзии, фланцы, штенгель.

This work is devoted to 3D design of elements and assemblies of a new generation of waveguide CO₂ lasers with transverse RF excitation.

Keywords: cycle, generation, under development, channelbar, extrusion method, flanges, exhaust tube.

Сегодня нет ни одной отрасли знаний и промышленности, которая бы обходилась без широкого применения лазеров. Одним из наиболее представительных типов данного класса приборов являются газоразрядные СО₂-лазеры. СО₂-лазеры являются сегодня не только прекрасными приборами для физических исследований, но и служат эффективным инструментом современных промышленных технологий. Возникающая отсюда необходимость в разработке СО₂-лазеров, отвечающих этим запросам, приводит к поиску новых технических решений [1, 2].

В связи с этим поставлена задача создания волноводного СО₂-лазера с поперечным высокочастотным (ВЧ) возбуждением с широким использованием отечественного прецизионного профиля из сплавов алюминия. Применение методов объемного проектирования в данном случае призвано сократить сроки и обеспечить качество разработки СО₂-лазеров нового поколения.

Использование трехмерной графики позволяет смоделировать объект еще до выпуска пробных образцов, появляется возможность увидеть ошибки и нестыковки проекта, оценить степень соответствия исходному замыслу. 3D-модель с легкостью заменяет целую стопку документов.

Главное достоинство и преимущества 3D-моделирования не столько наглядность, сколько возможность одновременного параллельного проектирования – обеспечение автоматического согласованного внесения изменений, доработок как элементов, узлов, так и всего устройства в целом. Возможность расчета тепловых и эксплуатационных характеристик на всех этапах разработки и изготовления изделия. Сопряжение с современными технологиями обрабатывающих центров позволяет в несколько раз сократить время от идеи до выпуска готовой продукции.

На рисунке 1 предложен Z-образный вариант разрядной структуры, образованной двумя швеллерами – электродами из алюминиевого сплава АД31Т. Волноводный Z-образный канал получен путем фрезерования соответствующих цилиндрических пазов на внешней поверхности данных швеллеров и последующей симметричной сборкой. Диаметр канала равен 3 мм.

Для снижения волноводных потерь на рабочих длинах волн CO_2 -лазера поверхность электродов покрывается оксидом алюминия ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$). Z-образный канал позволяет уменьшить габариты при тех же мощностях на единицу длины, но требует введения дополнительных поворотных зеркал с возможностью регулировки их положения.

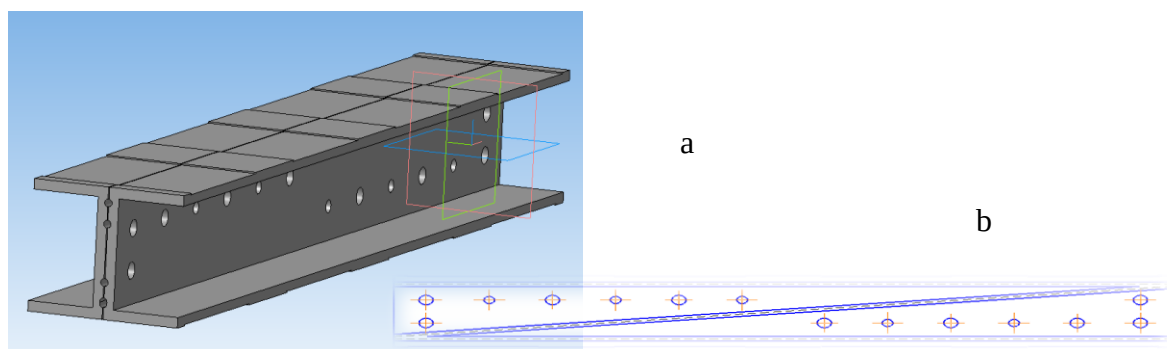


Рисунок 1 – Изометрическая проекция (а) и главный вид оптического канала (b)

Для обеспечения горения разряда в рабочем (3 мм) канале и исключение развитие его между электродами зазор уменьшается до 0,5 мм. Величина зазора и его регулировка обеспечиваются установкой в торцах и в середине дополнительной разрядной структуры и дополнительных керамических фиксаторов.

На внешней поверхности электродов фрезерованием выполнены пазы глубиной 0,5 мм, в которых затем помещаются керамические алюмонитратные (AlN) пластины толщиной 1 мм для изолирования корпуса и разрядной структуры. Во внешней полости каждого из швеллеров-электродов устанавливаются соответствующие катушки индуктивности из медной проволоки диаметром 15 мм (23 шт.). Корпус (бокс), в который помещается разрядная структура, изготовлен методом проката (экструзии) из сплава алюминия АД31Т (рисунок 2).

Охлаждение осуществляется двумя алюминиевыми радиаторами – пластинами с каналами для прохождения воды (рисунок 3). Радиаторы имеют симметричную форму; каналы по которым протекает жидкость для охлаждения также симметричны. Изгибы каналов способствуют возникновению турбулентного режима протекания жидкости и эффективности теплоотвода. Юстировочные фланцы выполнены в виде двух пластин, с отверстиями под зеркала. Фланцы со штенгелем для откачки имеют форму прямоугольного параллелепипеда, обладают большой жесткостью и прочностью.

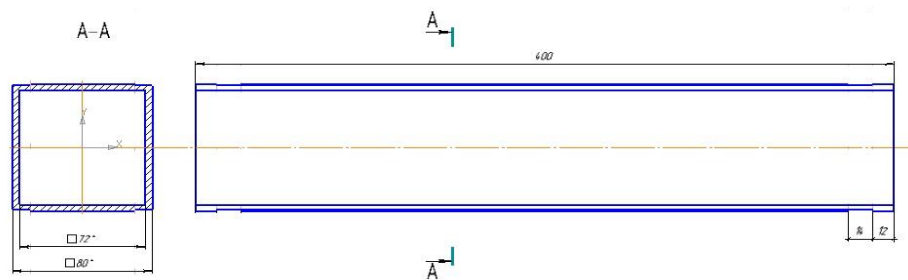


Рисунок 2 – Изометрия корпуса активного элемента

Герметичность вакуумной оболочки активного элемента обеспечивается кольцеобразными фторкаучуковыми уплотнениями круглого или плоского сечения. В зависимости от назначения для герметизации может быть применен один из набора современных полимерных клеев.

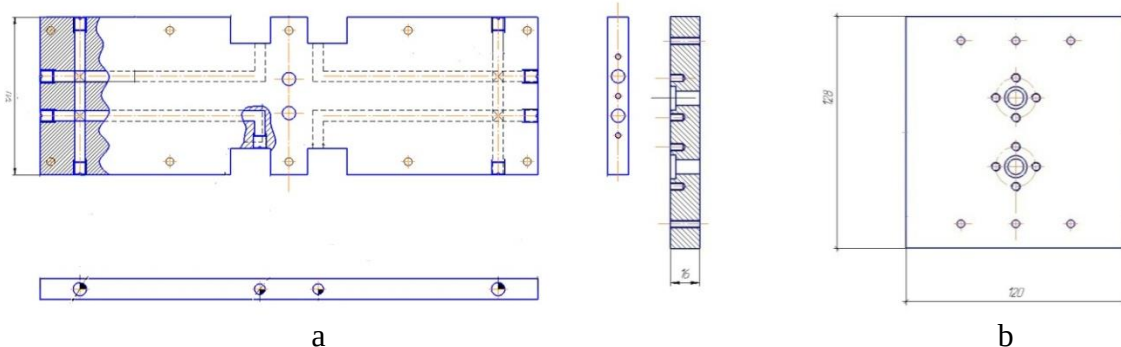


Рисунок 3 – Система охлаждения (a) и система юстировки зеркал и оптических элементов (b)

ВЧ-генератор (рисунок 4) представляет собой автогенератор на четырех транзисторах с номинальной частотой 81,36 МГц. С его помощью ВЧ накачка активной среды лазера. В качестве силовых высокочастотных транзисторов использовались MOSFET транзисторы MRF150 с рабочим диапазоном 30–150 МГц, токовой нагрузкой 16 А, мощностью до 150 Вт. Автогенератор имеет симметричный выход и подключен к двум поводам излучателя.

Внешний вид активного элемента, системы охлаждения, ВЧ-генератора (драйвера) и системы юстировки зеркал волноводного CO₂-лазера с поперечным ВЧ-возбуждением представлен на рисунке 4.

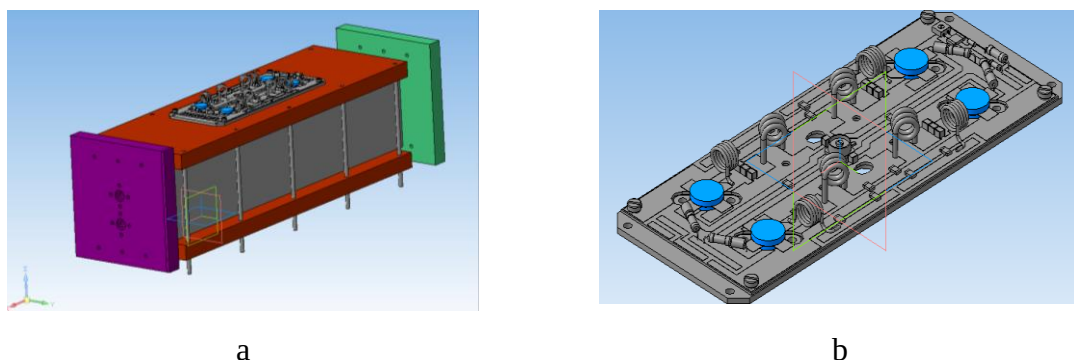


Рисунок 4 – Компьютерная модель разрабатываемого волноводного CO₂-лазера (a) и ВЧ-генератор (b)

На данный момент получена мощность более 20 Вт. К достоинствам рассматриваемой конструкции излучателя следует отнести широкое применение профилей из алюминиевых сплавов. Выбранное симметричное поперечное сечение корпуса лазера в целом обеспечивает устойчивость к внешним воздействиям, компактность лазера в целом и надежность его возбуждения.

Список литературы:

1. Пат. 2,065,238 США, кл6Н01S3/03, 1996.
2. Пат. 4,805,182 США, кл372/82, 1989.

Тепловые режимы работы волноводного CO₂-лазера с поперечным высокочастотным возбуждением

А. Я. Паюров, В. В. Кюн, Р. С. Румянцев, В. А. Степанов, М. А. Федоров

АО «ПЛАЗМА», Рязанский государственный университет
имени С. А. Есенина, Рязань, vl.stepanov@365.rsu.edu.ru

Описаны режимы (с воздушным и жидкостным охлаждением) работы волноводного CO₂-лазера с поперечным ВЧ возбуждением. Предложена конструкция радиаторов с развитой поверхностью (поперечных и продольных) ребер. Осуществлен расчет теплообмена лазера и радиатора при различных способах отвода тепла.

Ключевые слова: теплообмен, радиаторы, поверхность, турбулентное движение, CO₂-лазер, волноводный режим, ВЧ возбуждение, тепловой расчет.

Different modes (with air and liquid cooling) of the operation of the waveguide CO₂ laser with transverse RF excitation are described. The design of the radiators with a developed surface (transverse and longitudinal) of the fins is given in detail. Calculation of the heat transfer of the laser and the radiator with various methods of heat dissipation is presented.

Keywords: heat transfer, radiators, surface, turbulent motion, CO₂ laser, waveguide mode, RF excitation, thermal calculation.

Данная статья является продолжением работ по созданию нового поколения отечественных волноводных CO₂-лазеров с поперечным ВЧ возбуждением, использующих современные алюминиевые профили в качестве элементов конструкции прибора [1]. К достоинствам рассматриваемой конструкции излучателя следует отнести широкие возможности применения профилей из алюминиевых сплавов. Выбранное симметричное поперечное сечение корпуса лазера обеспечивает устойчивость к внешним воздействиям, компактность лазера в целом и надежность его возбуждения за счет совмещения источников ВЧ возбуждения и излучателя.

По способу отвода тепла из разряда приборы делятся на излучатели с воздушным (А) и жидкостным (W) охлаждением. В первом случае, охлаждение осуществляется за счет естественной или принудительной конвекции воздуха на радиаторах с развитой поверхностью (продольные или поперечные ребра). При жидкостном (водяном) охлаждении

в радиаторах имеются отверстия, по которым протекает вода. Радиатор воздушного охлаждения представляет собой набор штампованных пластин из алюминиевого сплава (рисунок 1), зафиксированных на внешней поверхности корпуса лазера с использованием теплопроводящей пасты типа КПТ-8.

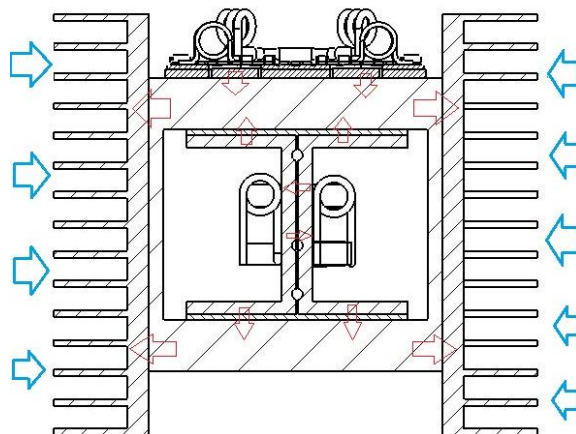


Рисунок 1 – Внешний вид волноводного CO_2 -лазера (Z образный оптический канал диаметром 3 мм, расположенный в двух скрепленных алюминиевых профилях, корпус и система ВЧ возбуждения), окруженного системой охлаждения. Стрелками указаны направления тепловых потоков (нагрева и охлаждения)

Внешняя поверхность пластин представляет собой ребристый радиатор: высота ребер 20 мм, расстояние между ребрами 6,3 мм; количество ребер – 15; материал – алюминиевый сплав АД31. С использованием уравнения теплопроводности осуществлена оценка эффективности теплоотвода на контактирующих поверхностях и возникающих перепадов температуры поверхностей на соответствие критериям Нуссельта и Рейнольдса. Определено количества тепла, отдаваемое конвекцией с ребер радиатора. Показано, что общий суммарный перепад (температурный напор) при воздушном охлаждении равен 9,7 °С.

Осуществлен расчет тепловых характеристик лазера при водяном его охлаждении. В каналах имеет место конвективный теплообмен. Тепловой поток при конвективном теплообмене пропорционален площади поверхности стенки и разности температур жидкости и стенки (температурный напор (рисунок 2).

На коэффициент теплоотдачи влияют различные факторы: физические свойства жидкости, скорость потока, геометрия и качество поверхности охлаждающего канала, которые определяют режим течения (ламинарный, переходной или турбулентный). В нашем случае турбулентный режим обеспечивается скоростью потока и формой охлаждающего канала. При турбулентном режиме эффективность теплообмена существенно возрастает. Осуществлен расчет коэффициента теплоотдачи при вынужденном движении жидкости в зависимости от критериев Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля.

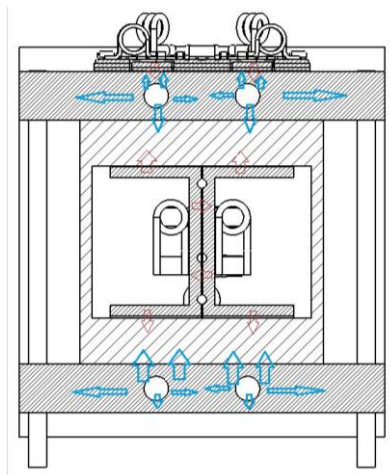


Рисунок 2 – Внешний вид волноводного CO₂-лазера, окруженного системой охлаждения, заполненной водой. Стрелками указано направление тепловых потоков при жидкостном охлаждении

Определены диаметр трубки и радиус ее закругления. Определяющей является средняя температура жидкости. Определен перепад температуры (температурный напор) при водяном охлаждении. Температурный напор при заданной тепловой мощности волноводного CO₂-лазера с поперечным ВЧ возбуждением составляет 0,53 °С, что обеспечивает эффективный теплообмен лазера с мощностью излучения 40–50 Вт.

Список литературы:

1. 3D-проектирование волноводного CO₂-лазера с поперечным ВЧ возбуждением / А. Я. Паюров, В. В. Кюн, Р. С. Румянцев, В. А. Степанов, М. А. Фёдоров, А. В. Лепехов // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте– 2020 : тр. XXXVIII Междунар. конф. (г. Новороссийск, Краснодарский край, 7–12 сентября 2020 г.). – Новороссийск, 2020. – С. 14–17.

Волноводные CO₂-лазеры и их применение

А. Я. Паюров, А. И. Бодров, В. В. Кюн, С. П. Шлыкова

АО «ПЛАЗМА», Рязань, kvazar@plasmalabs.ru

Показано, что важную роль в характеристиках лазерного излучения играет нестабильность мощности, возникающая от момента включения и до выхода на устойчивый режим работы. Этот временной интервал – время готовности – определяется конструкцией резонатора, тепловой инерцией его основных элементов и узлов. Сделан вывод, что использование компенсирующих устройств позволяет снизить влияние теплового режима лазера и существенно сократить время готовности.

Ключевые слова: лазерное излучение, резонатор, время готовности.

An important role in the characteristics of laser radiation is played by the instability of power, that occurs from the moment of switching on and until it reaches a stable mode of operation. This time interval, readiness time is determined by the design of the resonator, the thermal inertia of its main elements and units. The use of compensating devices

makes it possible to reduce the influence of the thermal behavior of the laser and significantly reduce the availability time.

Keywords: laser radiation, resonator, availability time.

На сегодняшний день CO_2 -лазеры являются наиболее перспективными в практическом применении: в промышленности, медицине, научных исследованиях. Высокий КПД, возможность работы в импульсном и непрерывном режимах в диапазоне мощности лазерного излучения от сотен Вт до сотен кВт сделали эти приборы чрезвычайно привлекательными в промышленной обработке материалов. При уровне мощности от долей Вт до нескольких десятков Вт CO_2 -лазеры отличаются компактностью, высоким качеством пространственных и временных характеристик излучения. В сочетании с широкодиапазонной дискретной и непрерывной перестройкой, развитым спектром излучения, преимуществом распространения излучения в атмосфере эти приборы представляют интерес для лазерного приборостроения.

Наиболее интенсивно с 1980-х годов растет промышленный выпуск волноводных CO_2 -лазеров с поперечной высокочастотной (ВЧ) накачкой. Приборы этого типа обладают целым рядом преимуществ по сравнению с лазерами, в которых для накачки рабочей среды применяется самостоятельный тлеющий разряд постоянного тока. Металлокерамическая конструкция, гибкая технология изготовления, высокие надежность, ресурс работы и удельные характеристики существенно превосходят характеристики лазеров с накачкой постоянным током. Снижение массы и габаритов волноводных CO_2 -лазеров с ВЧ-накачкой в сочетании с возможностью широкодиапазонной дискретной и непрерывной перестройки по частоте позволили создать целый ряд измерительных комплексов, легко встраиваемых в современное технологическое оборудование, подвижные системы локации и зондирования, экологического контроля параметров окружающей среды [1–3] и др.

Характеристики волноводных CO_2 -лазеров серии LCD. Мощность лазерного излучения CO_2 -лазеров серии LCD варьируется в диапазоне от 3 до 50 Вт при ее нестабильности в пределах 3–5 %. Следует отметить, что, несмотря на все многообразие возможных типов колебаний в резонаторах волноводных CO_2 -лазеров, на практике их набор ограничивается низшей волноводной модой EH_{11} или суперпозицией двух – трех мод с эквивалентным моде EH_{11} распределением. Это вызвано жесткой конкуренцией пространственно связанных типов колебаний при однородном уширении линии усиления в волноводном CO_2 -лазере и обеспечивает, в свою очередь, гауссоподобное (90 % эквивалент моды TEM_{00} , $M^2 \leq 1,1$ –1,2) распределение интенсивности в поперечном сечении выходного пучка излучения.

Типичный диапазон дискретной перестройки по длинам волн волноводных CO_2 -лазеров серии LCD [4] реализуется в пределах 9,2–10,8 мкм и может быть расширен при использовании изотопов молекулы CO_2 .

Диапазон непрерывной перестройки по частоте излучения варьируется от 300 МГц до 1000 МГц. Кратковременная нестабильность частоты излучения СО₂-лазеров серии LCD, как правило, не хуже $5 \cdot 10^{-9}$ отн. ед. Приборы устойчивы к механоклиматическим воздействиям по IV группе жесткости.

Следует отметить важную роль в характеристиках лазерного излучения нестабильности мощности, возникающей от момента включения и до выхода на устойчивый режим работы. Этот временной интервал – время готовности – определяется конструкцией резонатора, тепловой инерцией его основных элементов и узлов. Использование компенсирующих устройств позволяет снизить влияние теплового режима лазера и существенно сократить время готовности.

Список литературы:

1. Отечественные волноводные лазеры серии LCD и некоторые аспекты их применения / А. Я. Паюров, А. И. Бодров, В. В. Кюн, А. А. Сипайло, Е. Ф. Шишканов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 55–63.
2. Привалов, В. Е. Оптимизация лидара дифференциального поглощения и рассеяния для зондирования молекулярного водорода в атмосфере / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Журнал технической физики. – 1999. – Т. 69, № 8. – С. 65–68.
3. Привалов, В. Е. Влияние шумов и вибраций оборудования на работу лазерного измерителя концентрации частиц и оптимизация его параметров / В. Е. Привалов, А. В. Рыбалко, П. В. Чартий, В. Г. Шеманин // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77, № 3. – С. 62–65.
4. URL: sales@plasmalabs.ru

Современные частотно-стабилизированные гелий-неоновые лазеры

С. В. Казаков, В. Г. Касьян, О. Г. Пьянов, Е. Г. Чуляева

АО «ПЛАЗМА», Рязань, vgkassian@mail.ru

Рассмотрены особенности современных частотно-стабилизированных гелий-неоновых лазеров, разработанных и выпускаемых на предприятии АО «ПЛАЗМА». Лазерная интерферометрия является признанным методом измерения расстояний с высокой точностью. Измерительные системы на основе лазерных интерферометров широко распространены в таких отраслях промышленности, как авиастроение, автомобилестроение, электроника, прецизионное производство, а также в медицине и научной сфере. Одним из ключевых элементов в лазерных интерферометрах являются частотно-стабилизированные лазеры, характеристики которых определяют точность и скорость проводимых измерений в системе.

Ключевые слова: частотно-стабилизированные гелий-неоновые лазеры, стабилизация оптической частоты, когерентность.

The article discusses the features of modern frequency-stabilized helium-neon lasers developed and manufactured at the PLASMA JSC. Laser interferometry is a recognized method of measuring distances with high accuracy. Measuring systems based on laser interferometers are widely used in such industries as aerospace, automotive, electronics, precision manufacturing. One of the key elements in laser interferometers is frequency-

stabilized lasers, the characteristics of which determine the accuracy and speed of measurements in the system.

Keywords: frequency-stabilized helium-neon lasers, stabilization of the optical frequency, coherency.

Двухчастотный лазер. Лазеры ЛГН 212-1М, стабилизированные путем использования эффекта Зеемана в продольном магнитном поле, называют двухчастотными лазерами. Наложение продольного магнитного поля на активную среду изотропного газового лазера приводит к появлению в нем ряда новых физических эффектов. Эти явления подробно изучались как теоретически, так и экспериментально. Под действием продольного магнитного поля контур линии усиления расщепляется на два, каждый из которых взаимодействует только с излучением определенной левой или правой круговой поляризации. При этом излучение одномодового лазера представляет собой две ортогонально поляризованные по кругу составляющие с частотами J_1 и J_2 . Разность частот между ними f_p пропорциональна добротности резонатора.

Разностная частота составляет примерно 10^{-3} значения зеемановского расщепления. При точной настройке резонатора на центр нерасщепленного контура интенсивности составляющих будут одинаковы. При расстройке частоты излучения относительно центра нерасщепленной линии интенсивности составляющих изменяются в противофазе. Учитывая, что вследствие ортогональности компонентов излучения, их легко разделить пространственно, это явление может быть использовано для выделения сигнала рассогласования в цепи автоматической подстройки центральной частоты излучения.

Активный элемент помещен в магнитную систему, которая создает постоянное продольное магнитное поле. Под воздействием магнитного поля на активную среду активного элемента, генерируется двухчастотное излучение с левой и правой круговыми поляризациями (эффект Зеемана). Разность частот ортогональных компонентов лазерного излучения находится в диапазоне 0,5...5 МГц.

Фазовые пластины служат для преобразования лазерного излучения, поляризованного по кругу, в линейно-поляризованное, с заданным расположением векторов поляризации ортогонально поляризованных компонентов излучения. Коллиматор уменьшает энергетическую расходимость лазерного излучения. С выхода коллиматора излучение поступает на делительное зеркало, где лазерный пучок расщепляется. Постоянная составляющая на выходе фотоприемников используется для формирования сигнала ошибки (в случае стабилизации по равенству интенсивностей). Переменная составляющая сигнала ($E_1 - E_2$) поступает на усилитель высокой частоты (УВЧ), который усиливает ее и преобразует в меандр с уровнями ТТЛ-логики.

Стабилизация оптической частоты в таком лазере осуществляется методом сравнения интенсивностей ортогонально поляризованных мод излучения. В центре линии усиления, ортогонально поляризованные компоненты таких лазеров изменяются в противофазе, что позволяет настраивать длину резонатора по равенству их интенсивности. Преимуществами данного метода стабилизации являются отсутствие уширения линии излучения, достаточная стабильность частоты, простота исполнения.

Основные рабочие характеристики лазера:

- мощность лазерного излучения – 0,3 мВт,
- стабильность оптической частоты – 1×10^{-8}
- разность частот ортогональных компонентов – 1,5–4 МГц

Одно из основных применений двухчастотного лазера в качестве источника излучения в системах измерения положения и контроля перемещения.

Одночастотные стабилизированные лазеры. К числу последних разработок АО «ПЛАЗМА» следует отнести одночастотный стабилизированный малогабаритный относительно недорогой лазер ЛГН-305. Поскольку в промышленности возникли серьёзные ограничения на применение известных моделей стабилизированных лазеров, потребовались новые разработки и модернизации. Так современные тенденции развития и оптимизации производства сформировали новые требования к измерительным системам в части их миниатюризации и уменьшении времени выхода на рабочий режим, что внесло корректировки в план новых разработок. Недавно разработанный стабилизированный He-Ne лазер, обладающий уменьшенными габаритами при сохранении основных рабочих характеристик, повышенной выходной мощности на единицу длины активной среды и повышенной когерентностью. Лазер стабилизирован по уровню мощности с использованием цифровой системы автоподстройки частоты. Это обеспечивает высокую стабильность и когерентность лазерного излучения.

Основные рабочие характеристики:

- мощность лазерного излучения в одной поляризации – 0,7–1 мВт,
- стабильность оптической частоты – 1×10^{-7} .

На выходе излучения установлен адаптер для установки стандартного устройства сопряжение с оптоволоком. Область применения стабилизированного лазера ЛГН-305 в системе контроля качества оптических поверхностей, а также в научных исследованиях.

Модернизация коснулась модели лазеров ЛГН-302. В этих приборах существенно изменена конструкция прибора в целом. Снижено время готовности прибора в 2 раза, увеличена выходная мощность

Основные рабочие характеристики следующие:

- мощность лазерного излучения в одной поляризации – 1 мВт;
- стабильность оптической частоты – 1×10^{-8} .

В результате модернизации прибор получил новое название – ЛГН-306.

Таким образом, в последние годы проведена модернизация частотно-стабилизированных лазеров с целью расширения диапазона рабочих характеристик.

Концепция энергоинформационного обмена по лазерному каналу

Л. Б. Кочин

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»,
имени Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург, *klen68@mail.ru*

Сформулирована универсальная концепция энергоинформационного обмена по лазерному каналу. В качестве частного случая применения концепции предложена система управления формой крупногабаритной трансформируемой антенны.

Ключевые слова: информационный обмен, лазерный канал, беспроводной, передача энергии.

A universal concept of energy-informational transfer via a laser channel is formulated. As a special case of applying the concept, a control system for the shape of a large-sized transformable antenna is proposed.

Keywords: transfer of information, laser channel, wireless, transfer of power.

Предложенная универсальная концепция энергоинформационного обмена включает несколько базовых составляющих: философскую, математическую, физическую, техническую, экономическую, юридическую.

Философская составляющая концепции энергоинформационного обмена призвана выявлять глубинные взаимосвязи между энергией и информацией. Сюда же относится осознание и дефиниция сущности и проявлений преобразования различных форм и содержания энергии и информации в процессе энергоинформационного обмена. Здесь же установление иерархии процессов энергоинформационного обмена и их место в структуре универсума.

Математическая составляющая состоит в поиске, формализации и верификации соотношений, характеризующих процесс энергоинформационного обмена. Сюда же входит преобразование, упрощение и оптимизация математического описания компонентов энергоинформационного обмена.

Физическая составляющая заключается в описании физических моделей энергоинформационного обмена, а также исследовании физики явлений происходящих при энергоинформационном обмене.

Техническая составляющая – это совокупность технических решений для реализации энергоинформационного обмена. Сюда же входит все техническое «обрамление»: структуры и топологии систем; воздействия и ограничения; элементная база; логика функционирования систем; алгоритмы и программы; полунатурное и натурное моделирование; комплект конструкторской документации.

Экономическая составляющая охватывает вопросы экономической целесообразности реализации и внедрения технических систем энергоинформационного обмена, затраты на разработку, экономический эффект и т.п.

Юридическая составляющая включает патентно-правовые исследования, изучение и соблюдение авторских прав, зарегистрированных торговых марок, законодательства о промышленных образцах, о коммерческой тайне и др.

Лазерный канал энергоинформационного обмена можно представить в виде совокупности нескольких уровней: физического, канального, сетевого и транспортного.

Основная задача физического уровня – организация интерфейса с канальным уровнем на основе соответствующих управляющих сигналов и энергетических потоков. Осуществляется стыковка между оконечным оборудованием и аппаратурой передачи энергии и информации.

Функции физического уровня (модуляция-демодуляция): преобразование дискретных сигналов на входе в непрерывные сигналы; передача энергии в виде излучения и информации в виде сигналов по физическому каналу; обратное преобразование на приемной стороне.

Основная задача канального уровня – управление каналом передачи энергии и информации. Функции канального уровня (кодирование-декодирование): формирование кадра в виде последовательности битов; кодирование и декодирование; введение избыточности для обнаружения и устранения ошибок; управление энергетическим и информационным потоком в канале.

Основная задача сетевого уровня – выбор оптимального маршрута передачи энергоинформационных пакетов по сети. Функции сетевого уровня (организация энергоинформационных потоков): маршрутизация сообщений; ограничение нагрузки трафика; приоритетное обслуживание.

Основная задача транспортного уровня – установление и ликвидация транспортных соединений. Функции транспортного уровня: установление соединений; адресация информационных сообщений; контроль соответствия адресов; контроль задержек и потерь сообщений; восстановление информационных сообщений при приеме.

В связи с появлением в последнее время высокоэффективных полупроводниковых лазеров и фотоприемников концепция энергоинформационного обмена по лазерному каналу приобретает все большую актуальность.

Одновременная передача энергии и информации по единому лазерному каналу позволяет организовать беспроводное электроснабжение множества удаленных интеллектуальных потребителей и реализовать управление ими, в частности такая система была предложена для стабилизации формы крупногабаритной антенны космического базирования [1, 2].

Список литературы:

1. Кочин, Л. Б. Особенности структурно-параметрического синтеза системы управления трансформируемой антенной космического базирования при использовании оптических каналов энергоинформационного обмена / Л. Б. Кочин, С. Ю. Страхов, С. А. Матвеев // Вопросы радиоэлектроники. – 2016. – № 8. – С. 48–53.
2. Кочин, Л. Б. Использование оптико-электронных средств для управления формой космической антенны / Л. Б. Кочин, С. Ю. Страхов // Инновационные технологии и технические средства специального назначения : тр. двенадцатой общерос. науч.-практ. конф. В 3 т. Т. 2 / Балт. Гос. техн. ун-т. – Санкт-Петербург, 2020. – С. 140–144. – (Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 63).

Лазерная маркировка прозрачных материалов и изделий из них

В. П. Вейко, Р. А. Заколдаев, А. Рамос Веласкес

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург,
vpveiko@itmo.ru

Рассмотрена проблема лазерной маркировки в контексте возрастающих требований к идентификации товаров различного назначения и защиты их от фальсификации. Отдельным классом исследуемых в этой связи материалов являются стекла, минералы, полимеры, которые стоят особняком вследствие своей оптической прозрачности. В то же время они обладают весьма глубоким рынком применений – фармацевтическая, ювелирная промышленность и пр. Раскрыты новые методы обработки прозрачных материалов – локальный лазерно-индуцированный перенос тонких пленок (laser-induced film transfer) и метод лазерно-индуцированной микроплазмы (laser-induced microplasma), позволяющие наносить амплитудные (непрозрачные) и фазовые (прозрачные) идентификационные метки на поверхность прозрачных материалов и изделий из них.

Ключевые слова: лазер, маркировка, идентификационная метка, лазерно-индуцированный перенос тонких пленок, лазерно-индуцированная микроплазма.

Laser marking is considered in the context of identification of products for various purposes and their protection from falsification. A separate class of materials considered in this regard are glasses, minerals, and polymers, which stand apart due to their special mechanical, chemical, optical, and other properties. At the same time, the market of applications is highly extensive – pharmaceutical, jewelry, etc. The article reveals new methods for processing transparent materials – local laser-induced thin film transfer (laser-induced film transfer) and laser-induced micro-plasma (laser-induced micro-plasma), which allow to apply amplitude (non-transparent) and phase (transparent) identification marks to the surface of transparent materials and products made of them.

Keywords: laser, marking, identification mark, laser-induced film transfer, laser-induced microplasma.

Лазерная маркировка рассматривается в настоящее время как важная операция для многих совершенно разных отраслей промышленности – от машино- и приборостроения до фармацевтики и ювелирного дела [1]. Она становится особенно существенной, когда необходимо проследить судьбу изделия на протяжении всего его жизненного цикла, и во многих случаях сопрягается с проблемой защиты изделий от подделок, контрафакта и т.п.

Традиционная лазерная технология не позволяет напрямую решить проблему лазерной маркировки (кодировки, идентификации) прозрачных материалов и изделий из них по причине их оптической прозрачности, да и в более общем смысле, непригодности традиционных подходов лазерной технологии даже в тех диапазонах длин волн, в которых эти материалы непрозрачны (ИК – 10,6 мкм и УФ – 193 нм) из-за их термо-механической хрупкости при нагреве [2].

В то же время, эти материалы обладают хотя и довольно узким, но весьма глубоким рынком применений – фармацевтическая, ювелирная промышленность, а прозрачные пластики – и того шире (бутылки и

т.п.). Задачи, которые ставятся в различных приложениях, также отличаются – от идентификации материалов и изделий до их защиты от фальсификации и производства сувенирной продукция и т.п.

Соответственно, выдвигаются и различные требования к наносимым меткам, во-первых, везде это прочность (долговечность), но для приложений в идентификации (1) важен оптический контраст метки, для защиты от подделок (2), напротив, ее скрытность, а при производстве украшений (3) – живописность – привлекательный внешний вид и т.д.

В докладе рассматриваются два подхода к нанесению маркировки на прозрачные материалы и изделия из них. Первый – нанесение цветных амплитудных (поглощающих) меток (ЦАМ) для 1-го и 3-го приложений, и фазовых меток (ФМ) – для 2-го приложения, которое производится методом прямого лазерного переноса поглощающих пленок, нанесенных на прозрачную подложку [3]. Для нанесения ЦАМ используется метод обратного лазерного переноса (ОЛП) вещества с различных мишеней, преимущественно металлических. Для нанесения ФМ применяется метод лазерно-индуцированной микроплазмы (ЛИМП) с углеродной мишенью [4].

Следует отметить, что оба метода реализуются на коммерчески доступных установках «Минимаркер-2» с использованием волоконного иттербиевого лазера. Однако, задействованы различные физические механизмы при реализации ЦАМ и ФМ на поверхности стекла. Рассмотрим кратко суть каждого метода и полученные результаты.

1. Нанесение ЦАМ осуществляется путем фокусировки лазерного пучка на металлической мишени (бронзе) таким образом, что испаренное с ее поверхности вещество осаждается (конденсируется) из лазерного факела (мироплазмы) на маркируемую поверхность прозрачной пластины (стекла «Микромед»). С этой целью стеклянная поверхность приводится в контакт с мишенью, а лазерный пучок сканируется в плоскости их контакта со скоростью. 200–1000 мм/с, когда в область воздействия приходит от 400 до 2000 импульсов и происходит образование контрастного цветного (цвет зависит от вида мишени, мощности излучения и т.п.) изображения в результате взаимодействия горячих паров металла с атмосферными газами.

В различных режимах обработки реализовано три цвета (золотой, красный, зеленый) с дополнительными оттенками. В частности, в режимах с максимальной мощностью лазерного излучения (6.4–8.0 Вт) при минимальной скорости сканирования (200–500 мм/с) реализованы ЦАП зеленых оттенков. Увеличение скорости сканирования позволяет создать контрастный золотой цвет. При минимальной мощности (5.2 Вт) и скорости сканирования (300–800 мм/с) были получены идентификационные метки красного цвета. Максимальное достигнутое значение контраста составило 8:1 при использовании белого листа бумаги в качестве фона. На данном этапе реализуются ЦАП различного цвета в виде QR кодов, которые считываются мобильным устройством. Минимальный размер единичного ЦАП достигает 50 мкм.

2. При увеличении плотности мощности излучения и замене материала мишени на графит происходит процесс лазерно-плазменного травления (удаления) прозрачного материала лазерно-индуцированной микроплазмой, на основе чего реализовано управляемое формирование микро- и нанорельефа на поверхности стекла [5]. Глубина формируемого рельефа варьируется от 0,1 до 5,0 мкмс шагом 50 ± 10 нм. Более того, способ обработки стекла ЛИМП позволил реализовать фазовые элементы различной конфигурации от дифракционных решеток [6] до многоуровневых дифракционных элементов [7] оптического качества. Создаваемые таким образом дифракционные оптические элементы успешно использованы для преобразования лазерных пучков. В данной работе впервые предложено и реализовано создание фазовых идентификационных меток, которые при считывании – засветке определённой длиной волны лазерного излучения, воссоздают заданную картину распределения интенсивности, например, в виде очертания логотипа, в дальней зоне. Подобные ФМ могут быть использованы в случаях, когда особенно существенно обеспечить подлинность изделия, например, ювелирного, подлинность носителя информации и т.п.

В докладе будут приведены примеры цветных амплитудных и фазовых идентификационных меток и изображений.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Постановления Правительства от 09.04.2010 г. № 218, Соглашение № 075-11-2019-066 от 22.11.2019.

Список литературы:

1. Цветная лазерная маркировка поверхности металлов / С. Горный, В. Вейко, Г. Одинцова, Е. Горбунова, А. Логинов, Ю. Карлагина, А. Скуратова, Э. Агеев // Фотоника. – 2013. – № 6 (42). – С. 34–44.
2. Вейко, В. П. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Силовая оптика / В. П. Вейко, М. Н. Либенсон, Г. Г. Червяков, Е. Б. Яковлев. – Москва : Физматлит, 2008. – 311 с.
3. Laser-induced film deposition by LIFT / V. P. Veiko, E. A. Shakhno, V. N. Smirnov, A. M. Miaskovski, G. D. Nikishin // Physical mechanisms and applications. Laser and Particle Beams. – 2006. – Jun 1. – № 24 (2). – P. 203.
4. Laser-induced microplasma as a tool for microstructuring transparent media / V. P. Veiko, S. A. Volkov, R. A. Zakoldaev, M. M. Sergeev, A. A. Samokhvalov, G. K. Kostyuk, K. A. Milyaev // Quantum Electronics. – 2017. – № 47 (9). – P. 842.
5. Fast fabrication of multilevel phase plates used for laser beam correction / R. Zakoldaev, G. Kostyuk, V. Rymkevich, V. Koval, M. Sergeev, V. Veiko, E. Yakovlev, A. Sivers // Journal of Laser Micro / Nanoengineering. – 2017. – № 12 (3). – P. 281–285.
6. Laser microplasma as a tool to fabricate phase grating applied for laser beam splitting / G. K. Kostyuk, R. A. Zakoldaev, V. V. Koval, M. M. Sergeev, V. S. Rymkevich // Optics and Lasers in Engineering. – 2017. – T 92. – P. 63–69.
7. Rapid fabrication of spiral phase plate on fused silica by laser-induced microplasma / V. Shkuratova, G. Kostyuk, M. Sergeev, R. Zakoldaev, E. Yakovlev, O. Medvedev // Applied Physics. – 2020. – № 126 (4). – P. 1–6.

Новые формы геометрии активного элемента He-Ne лазера

В. А. Кожевников, В. Е. Привалов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, vaevpriv@yandex.ru

Изложена эволюция перехода от цилиндрического активного элемента к более сложной геометрии. В расчетах использовано точное решение уравнения Гельмгольца. С целью экономии объема тезисов дана обширная библиография.

Ключевые слова: мощность излучения He-Ne лазера, поперечное сечение активного элемента, эффективный модовый объем.

The evolution of the transition from a cylindrical active element to more complex geometry is described. The calculations use the exact solution of the Helmholtz equation. In order to save the volume of theses, an extensive bibliography is given.

Keywords: He-Ne laser radiation power, active element cross section, efficient mode volume.

Появление He-Ne лазеров стимулировало исследование параметров плазмы данной смеси. Зондовые измерения [1, 2] позволили установить зависимость мощности излучения от электронных концентрации и температуры. В дальнейшем, по понятным причинам, чаще отдавали предпочтение микроволновым измерениям (см., например, [3]). Авторы [4] обнаружили, что оптимальное соотношение компонент смеси может отличаться от общепринятого к тому времени 5:1. Изучение радиального распределения усиления излучения 0,63 мкм в He-Ne плазме [5] показало, что это распределение подобно распределению концентрации электронов. Более высокое усиление излучения на 3,39 мкм позволило провести аналогичные измерения в трубке большего диаметра, что позволило убедиться в этом [6] с большей точностью. Измерения показали [7, 8] зависимость радиального распределения усиления от соотношения компонент смеси. Следующим шагом стал вопрос о геометрии разряда [9]. Вскоре появилась идея заменить понятие «модовый объем» [10] на более емкое «эффективный модовый объем» [11]. В дальнейшем изучались эллиптическое и прямоугольное сечения, многоугольники, их модификации (см., например, [12–14]). Проведен эксперимент с прямоугольным сечением, одна из сторон которого изменялась в процессе измерений [15]. Состояние вопроса в начале нынешнего столетия представлено в обзоре [16], в котором рассмотрены поперечные и продольные сечения активных элементов. В заключительном разделе упомянутого обзора обращается внимание на дальнейшее развитие вопроса, в частности, учёт тепловых процессов в He-Ne лазере.

Отмеченные выше исследования проводились в прошлом веке, модели не были аналитическими, а расчеты носили приближенный характер. Сегодня появились новые методы и средства решения задач. Поэтому можно ожидать новых подходов и обнаружения новых результатов. Появились новые работы в этом направлении [17–19], удалось исследовать многочисленные сечения, сделать ряд обобщений, о которых идёт речь в нашем докладе. Разработаны и зарегистрированы более

двух десятков программ для ЭВМ. Среди сечений привлекают особое внимание гиперболические многоугольники (см., например, [20]). Подробнее о некоторых из них будет в нашем следующем докладе [21].

Список литературы:

1. Белоусова И. М., Данилов О. Б., Елькина И. А. // Журнал теоретической физики. – 1967. – Т. 37, № 9.
2. Белоусова И. М., Данилов О. Б., Елькина И. А., Киселева В. М. // Оптика и спектроскопия. – 1968. – Т. 24. – С. 779.
3. Овчинников, Л. В. О связи мощности излучения лазера с концентрацией электронов в He-Ne плазме / Л. В. Овчинников, В. Е. Привалов, С. А. Фридрихов // Журнал прикладной спектроскопии. – 1969. – Т. 11, № 1. – С. 23–29.
4. Голубев, Ю. М. Некоторые характеристики He-Ne лазера при одновременной генерации 0,63 и 3,39 мкм / Ю. М. Голубев, В. Е. Привалов // Оптика и спектроскопия. – 1967. – Т. 22. – С. 499.
5. Троицкий, Ю. В. Оптика и спектроскопия / Ю. В. Троицкий, В. П. Чеботаев. – 1966. – Т. 20. – С. 362.
6. Привалов, В. Е. Радиальное распределение инверсии заселенностей в He-Ne разряде при различных соотношениях компонент смеси / В. Е. Привалов, С. А. Фридрихов // Журнал прикладной спектроскопии. – 1968. – Т. 9, № 2. – С. 320–322.
7. Голубев, Ю. М. О связи оптимального соотношения компонент смеси в He-Ne лазере с полем резонатора / Ю. М. Голубев, В. Е. Привалов, С. А. Фридрихов, В. А. Ходовой // Журнал технической физики. – 1968. – 38. – С. 1097.
8. Привалов, В. Е. Исследование свойств He-Ne лазера с малым разрядным промежутком / В. Е. Привалов, В. А. Ходовой // Оптика и спектроскопия. – 1968. – Т. 25. – С. 318.
9. Привалов, В. Е. Зависимость мощности He-Ne лазера от геометрии разрядного промежутка / В. Е. Привалов, С. А. Фридрихов // Журнал технической физики. – 1968. – Т. 38. – С. 2080–2084.
10. Sinclair, D. C. Appl. Optics / D. C. Sinclair. – 1964. – 3. – P. 1067.
11. Привалов, В. Е. Модовый объем и мощность излучения лазера / В. Е. Привалов // Оптика и спектроскопия. – 1970. – Т. 28, № 3. – С. 524–527.
12. Привалов, В. Е. Поперечное распределение усиления в разрядных промежутках лазеров / В. Е. Привалов, С. Ф. Юдин // Оптика и спектроскопия. – 1974. – Т. 37. – С. 991.
13. Привалов, В. Е. Влияние формы сечения разрядного промежутка на усиление активной среды газового лазера / В. Е. Привалов, С. Ф. Юдин // Квантовая электроника. – 1974. – Т. 1, № 11. – С. 2484–2487.
14. Привалов, В. Е. Влияние граничных условий на усиление активной среды лазера / В. Е. Привалов, С. Ф. Юдин // Журнал прикладной спектроскопии. – 1975. – Т. 22, № 1. – С. 42–46.
15. Привалов, В. Е. Экспериментальное исследование He-Ne лазера прямоугольного сечения / В. Е. Привалов, В. А. Ходовой // Оптика и спектроскопия. – 1974. – Т. 37. – С. 797–799.
16. Привалов, В. Е. Некоторые перспективы развития газоразрядных лазеров / В. Е. Привалов // Известия Высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56, № 2/2. – С. 246–253.
17. Кожевников, В. А. Влияние геометрии сечения активного элемента лазера на усиление его излучения / В. А. Кожевников, В. Е. Привалов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 84–95.
18. Кожевников, В. А. Усиление излучения в лазерах с сечениями в виде правильных многоугольников / В. А. Кожевников, В. Е. Привалов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. – Т. 61, № 5 (725). – С. 94–97.

19. Кожевников, В. А. Исследования нетрадиционных поперечных сечений газоразрядных лазеров / В. А. Кожевников, В. Е. Привалов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. – Т. 61, № 10 (730). – С. 102–106.

20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020616878 / В. А. Кожевников, В. Е. Привалов.

21. Кожевников, В. А. Коэффициент усиления He-Ne лазера с сечением трубки в виде гиперболического многоугольника / В. А. Кожевников, В. Е. Привалов // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геэкологии и на транспорте – 2020 : тр. XXVIII Междунар. конф. (г. Новороссийск, 7–12 сентября 2020 г.) / под ред. проф. В. Е. Привалова. – Новороссийск. – 2020. – С. 50–52.

Мощность He-Ne лазера с прямоугольным сечением трубки

В. А. Кожевников, В. Е. Привалов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, vaevpriv@yandex.ru

Предложен метод оценки мощности излучения He-Ne лазера, имеющего прямоугольную форму сечения трубки. Метод основан на введенном понятии эффективного модового объема и методе решения однородного уравнения Гельмгольца. Использовано точное решение соответствующего уравнения. Результаты расчетов для прямоугольного сечения хорошо согласуются с предшествующими расчетами усиления лазера и экспериментами.

Ключевые слова: мощность He-Ne лазера, прямоугольное сечение активного элемента, эффективный модовый объем.

A method is proposed for estimating the radiation power of a He-Ne laser having a rectangular tube cross section. The method is based on the previously introduced concept of effective mode volume and the method for solving the homogeneous Helmholtz equation. In this paper, we use the exact solution of the corresponding equation. The results of calculations for a rectangular cross section give good agreement with previous calculations of laser gain and experiments.

Keywords: He-Ne laser power, rectangular cross section of the active element, effective mode volume.

В работе [1] авторами предложен новый метод оценивания мощности He-Ne лазера и введена новая энергетическая характеристика моды – эффективный модовый объем NMV . Если δN – распределение инверсии населенностей активной среды, а E – модуль напряженности поля в резонаторе, то NMV определяется как тело, ограниченное поверхностью, где величина $E^2 \delta N$ спадает в e^2 раз по сравнению с $E_0^2 \delta N_0$ (где δN_0 – это значение δN на оси, а E_0 – значение напряженности поля на оси трубки у перемычки гауссового пучка основной гауссовой моды TEM_{00}), а в качестве оценки мощности излучения лазера P предлагается использовать следующую формулу (где ε – соответствующий коэффициент пропорциональности):

$$P = \iiint_{NMV} \varepsilon |E|^2 \delta N dV. \quad (1)$$

При этом в первом приближении распределение δN в He-Ne лазере удовлетворяет однородному уравнению Гельмгольца с однородным граничным условием. В работе [1] проводились расчеты мощности излучения He-Ne лазера с круглым сечением трубки. Результаты расчета показали хорошее согласие с экспериментом. В данной работе мы рассмотрели прямоугольное сечение.

Если стороны прямоугольника равны a и b , то для оценки мощности He-Ne лазера с таким прямоугольным сечением активного элемента и резонатором плоскость-сфера с радиусом кривизны сферического зеркала R и расстоянием между зеркалами d получается следующая формула:

$$P = \frac{4E_0^2 \delta N_0 \varepsilon}{k} \sqrt{d(R-d)} \iiint_{NMV} \cos\left(\frac{\pi}{a} r \cos \phi\right) \cos\left(\frac{\pi}{b} r \sin \phi\right) \exp\left(\frac{-2r^2}{w^2}\right) \frac{1}{w^2} dz d\phi dr, \quad (2)$$

где r , ϕ , z – цилиндрические координаты (z отсчитывается от перемычки гауссового пучка), $k = 2\pi/\lambda$, $w = \{(R_e + 4z^2 / R_e) / k\}^{1/2}$, а уравнение для определения границы NMV , полученное из точного решения соответствующего однородного уравнения Гельмгольца, имеет вид:

$$\ln\left(\cos\left(\frac{\pi}{a} r \cos \phi\right)\right) + \ln\left(\cos\left(\frac{\pi}{b} r \sin \phi\right)\right) + \ln\left(\frac{2R_e}{kw^2}\right) + 2 - \frac{2r^2}{w^2} = 0. \quad (3)$$

Расчеты производились с разными параметрами лазеров. Мы также сравнивали мощности лазеров с прямоугольным и круглым сечением одинаковой площади. Результаты расчетов мощности прямоугольного лазера хорошо согласуются как с нашими работами по расчету усиления лазера [2–4], так и с экспериментами [5] – мощность прямоугольного лазера примерно на 4–6 % меньше мощности цилиндрического лазера (с сечением той же площади) и очень слабо зависит от отношения сторон прямоугольника a/b . Поэтому мы можем предположить, что предложенный нами метод расчета мощности лазера вполне корректен. Мы надеемся, что данная работа окажется полезной авторам [6, 7].

Список литературы:

1. Kozhevnikov, V. A. Effective Mode Volume Evolution in the He-Ne Laser / V. A. Kozhevnikov, V. E. Privalov, V. G. Shemanin // Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech) / ed. by E. Velichko. Saint Petersburg, 2019. – P. 272–274. – DOI 10.1109/EExPolytech.2019.8906832.
2. Kozhevnikov, V. A. The geometrical effect of an active element cross-section on the laser gain / V. A. Kozhevnikov, V. E. Privalov // St. Petersburg Polytechnical State University Journal. Physics and Mathematics. – 2018. – № 11 (2). – P. 77–87. – DOI 10.18721/JPM.11208.
3. Kozhevnikov, V. A. Upgrade the Evaluation of the Contribution of the Active Element Cross Section Geometry to the He-Ne Laser Energy Characteristics / V. A. Kozhevnikov, V. E. Privalov, V. G. Shemanin // Optical Memory and Neural Networks. – 2019. – Vol. 28, № 3. – P. 215–221. – DOI 10.3103/S1060992X19030056.
4. Кожевников, В. А. Усиление излучения в лазерах с сечениями в виде правильных многоугольников / В. А. Кожевников, В. Е. Привалов // Известия высших

учебных заведений. Физика. – 2018. – Т. 61, № 5 (725). – С. 94–97. – DOI 10.1007/s11182-018-1477-4.

5. Привалов, В. Е. Экспериментальное исследование He-Ne лазера с разрядным промежутком прямоугольного сечения / В. Е. Привалов, В. А. Ходовой // Оптика и спектроскопия. – 1974. – Т. 37. – С. 797–799.

6. Savchenko, E. A. Combined method for laser selection, positioning and analysis of micron and submicron cells and particles / E. A. Savchenko, E. N. Velichko, E. T. Aksenov, E. K. Nepomnyashchaya // Proceedings – International Conference Laser Optics (ICLO) IEEE, 2018. – P. 539. – DOI 10.1109/LO.2018.8435384.

7. Investigation of ferrofluid nanostructure by laser light scattering: medical applications / E. K. Nepomnyashchaya, E. N. Velichko, I. V. Pleshakov, E. T. Aksenov, E. A. Savchenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. – 841. – P. 012020. – DOI 10.1088/1742-6596/841/1/012020.

Мощность He-Ne лазера с эллиптическим сечением трубки

В. А. Кожевников, В. Е. Привалов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, *vaevpriv@yandex.ru*

Предложен метод оценки мощности излучения He-Ne лазера с эллиптическим сечением трубки. Использованное введенное понятие эффективного модового объема. Используется точное решение однородного уравнения Гельмгольца в эллиптических координатах через функции Матье. Результаты расчетов дают хорошее согласие с предшествующими расчетами усиления эллиптического лазера.

Ключевые слова: мощность He-Ne лазера, эллиптическое сечение активного элемента, эффективный модовый объем.

A method for estimating the radiation power of a He-Ne laser with an elliptical tube cross section is proposed. The previously introduced concept of effective mode volume is used. In this paper, we use the exact solution of the homogeneous Helmholtz equation in elliptic coordinates through the Mathieu functions. The calculation results give good agreement with previous calculations of the amplification of an elliptical laser.

Keywords: He-Ne laser power, elliptical cross section of the active element, effective mode volume.

В данной работе мы рассмотрели мощность излучения He-Ne лазера с эллиптическим сечением трубки, используя предложенный в [1] метод оценивания мощности He-Ne лазера. Мощность излучения лазера P находится по следующей формуле (где ε – соответствующий коэффициент пропорциональности):

$$P = \iiint_{NMV} \varepsilon |E|^2 \delta N dV, \quad (1)$$

где δN – распределение инверсии населенностей активной среды, а E – модуль напряженности поля в резонаторе, а NMV – эффективный модовый объем. δN в первом приближении для He-Ne лазера удовлетворяет однородному уравнению Гельмгольца с однородным граничным условием:

$$\Delta(\delta N) + \lambda^2(\delta N) = 0 \quad (2)$$

$$\delta N|_{\Gamma} = 0, \quad (3)$$

где Γ – граница области, в которой ищется решение (2) (в нашем случае – граница трубки с активной средой).

Мы рассмотрели уравнение (2) в эллиптических координатах (u, v, z) , (они так связаны с декартовыми координатами: $x = \rho \cdot \text{ch}(u) \cdot \cos(v)$, $y = \rho \cdot \text{sh}(u) \cdot \sin(v)$, $z = z$, $\rho = \text{const} > 0$, $u \geq 0$, $0 \leq v < 2\pi$) и нашли точное решение (2)–(3):

$$\delta N = \delta N_0 \text{Ce}_0(u, \lambda^2(a^2 - b^2)/4) \cdot \text{ce}_0(v, \lambda^2(a^2 - b^2)/4) / \\ (\text{Ce}_0(0, \lambda^2(a^2 - b^2)/4) \cdot \text{ce}_0(\pi/2, \lambda^2(a^2 - b^2)/4)),$$

где a и b – полуоси эллипса ($b < a$), $\text{Ce}_0(u, q)$ и $\text{ce}_0(v, q)$ – функции Матье (здесь и далее мы придерживаемся обозначений из [2, 3], у разных авторов они отличаются), а также границу эффективного модового объема NMV :

$$-\frac{2(a^2 - b^2)}{w^2} (\text{ch}^2(u) \cos^2(v) + \text{sh}^2(u) \sin^2(v)) + \ln\left(\frac{2R_e}{kw^2}\right) + 2 - \ln\left[\left|\text{Ce}_0\left(0, \frac{\lambda^2}{4}(a^2 - b^2)\right)\right|\right] + \\ + \ln\left[\left|\text{Ce}_0\left(u, \frac{\lambda^2}{4}(a^2 - b^2)\right)\right|\right] - \ln\left[\left|\text{ce}_0\left(\frac{\pi}{2}, \frac{\lambda^2}{4}(a^2 - b^2)\right)\right|\right] + \ln\left[\left|\text{ce}_0\left(v, \frac{\lambda^2}{4}(a^2 - b^2)\right)\right|\right] = 0$$

Расчеты производились с разными параметрами лазеров, также сравнивались мощности лазеров с эллиптическим и круглым сечением одинаковой площади. Результаты расчетов мощности лазера с эллиптическим сечением хорошо согласуются с нашими работами по расчету усиления лазера [4–6] – мощность эллиптического лазера, как и усиление, соответственно несколько меньше мощности и усиления цилиндрического лазера и их разность растет с ростом отношения полуосей эллипса a/b . В настоящее время проводится поиск оптимального по мощности излучения сечения He-Ne лазера. Надеемся, что эти результаты могут быть полезны и в задачах, решаемых авторами [7, 8].

Список литературы:

1. Kozhevnikov, V. A. Effective Mode Volume Evolution in the He-Ne Laser / V. A. Kozhevnikov, V. E. Privalov, V. G. Shemanin // Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech) / ed. by E. Velichko. Saint Petersburg, 2019. – P. 272–274. – DOI 10.1109/EExPolytech.2019.8906832.
2. Handbook of Mathematical Functions: with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. National Bureau of Standards / ed. by Milton Abramowitz, Irene A. Stegun. – 10th edn. – 1972.
3. McLachlan, N. W. Theory and application of Mathieu functions / N. W. McLachlan. – Oxford : Clarendon Press, 1951.
4. Kozhevnikov, V. A. The geometrical effect of an active element cross-section on the laser gain / V. A. Kozhevnikov, V. E. Privalov // St. Petersburg Polytechnical State University Journal. Physics and Mathematics. – 2018. – № 11 (2). – P. 77–87. – DOI 10.18721/JPM.11208.
5. Kozhevnikov, V. A. Upgrade the Evaluation of the Contribution of the Active Element Cross Section Geometry to the He-Ne Laser Energy Characteristics / V. A. Kozhevnikov, V. E. Privalov, V. G. Shemanin // Optical Memory and Neural Networks. – 2019. – Vol. 28, № 3. – P. 215–221. – DOI 10.3103/S1060992X19030056.

6. Кожевников, В. А. Исследования нетрадиционных поперечных сечений газоразрядных лазеров / В. А. Кожевников, В. Е. Привалов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. – Т. 61, № 10 (730) . – С. 102–106. – DOI 10.1007/s11182-019-01610-5.

7. Investigation of ferrofluid nanostructure by laser light scattering: medical applications / E. K. Nepomnyashchaya, E. N. Velichko, I. V. Pleshakov, E. T. Aksenov, E. A. Savchenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 841. – P. 012020. – DOI 10.1088/1742-6596/841/1/012020.

8. Savchenko, E. A. Combined method for laser selection, positioning and analysis of micron and submicron cells and particles / E. A. Savchenko, E. N. Velichko, E. T. Aksenov, E. K. Nepomnyashchaya // Proceedings – International Conference Laser Optics (ICLO) IEEE, 2018. – P. 539. – DOI 10.1109/LO.2018.8435384.

Процессы в положительном столбе разряда в лазерных трубках плавно изменяющегося диаметра

В. А. Кожевников, В. Е. Привалов, А. Э. Фотиади

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, vaevpriv@yandex.ru

Рассмотрены процессы в положительном столбе разряда постоянного тока в лазерных трубках с плавно изменяющимся диаметром разрядного канала. Получена система уравнений, связывающая внешние параметры столба (такие, как меняющийся радиус разрядного канала, разрядный ток, давление напуска газа) с его внутренними характеристиками (такими, как концентрация заряженных частиц, электронная температура, напряженность продольного электрического поля), решающая поставленную задачу. Проведены численные расчеты.

Ключевые слова: положительный столб, лазерная трубка переменного диаметра.

The processes in the positive column of a direct current discharge in laser tubes with a smoothly varying diameter of the discharge channel are considered. A system of equations is obtained that relates the external parameters of the column (such as the varying radius of the discharge channel, discharge current, gas inlet pressure) with its internal characteristics (such as the concentration of charged particles, electron temperature, and longitudinal electric field strength), which solves the problem. Numerical calculations are carried out.

Keywords: positive column plasma characteristic, variable diameter laser tube.

В поисках энергетически оптимальной формы разрядной трубки газоразрядных лазеров рассматриваются различные геометрии, отличающиеся от традиционной цилиндрической [1–3]. Поскольку в газоразрядных трубках активной средой как правило является положительный столб (ПС) тлеющего разряда постоянного тока, то необходимо исследование влияния переменного радиуса разрядной трубки на параметры положительного столба. Существовавшие до этого в литературе модели довольно просты и либо вообще не учитывают зависимость характеристик активной среды от продольной координаты трубки, либо рассматривают скачкообразное изменение радиуса разрядного канала [4].

В [5] нами был рассмотрен ПС разряда постоянного тока и получена система уравнений, связывающая внешние параметры столба (меняющийся радиус разрядного канала, давление напуска газа и разрядный ток) с его

основными внутренними характеристиками (концентрацией заряженных частиц, электронной температурой, напряженностью продольного электрического поля). Эта система дает решение поставленной задачи.

В дальнейшем нами были произведены числовые расчеты при параметрах ПС, типичных для активных сред газоразрядных лазеров, и для нескольких различных зависимостях радиуса разрядного канала от продольной координаты. В настоящее время строится модель ПС с переменным радиусом разрядного канала для многоатомного газа. Надеемся, что эти результаты могут быть полезны и в задачах, решаемых авторами [6, 7].

Список литературы:

1. Кожевников, В. А. Влияние геометрии сечения активного элемента на усиление его излучения / В. А. Кожевников, В. Е. Привалов // XVI Международная молодежная конференция по люминесценции и лазерной физике : тезисы лекций и докладов посвящ. 100-летию Иркутского государственного университета. – Иркутск, 2018. – С. 122–123.
2. Кожевников, В. А. Усиление излучения в лазерах с сечениями в виде правильных многоугольников / В. А. Кожевников, В. Е. Привалов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. – Т. 61, № 5 (725). – С. 94–97. – DOI 10.1007/s11182-018-1477-4.
3. Кожевников, В. А. Положительный столб разряда постоянного тока в трубках переменного диаметра / В. А. Кожевников, В. Е. Привалов, А. Э. Фотиади // Квантовая электроника : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2019. – С. 230–231.
4. Грановский, В. Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток / В. Л. Грановский. – Москва : Наука : Главная редакция физ.-мат. китературы, 1971. – 545 с.
5. Fotiadi, A. E. Positive column of a direct current discharge in laser tubes of variable diameter / A. E. Fotiadi, V. A. Kozhevnikov, V. E. Privalov // St. Petersburg Polytechnical State University Journal. Physics and Mathematics. – 2019. – № 12 (4). – P. 93–103. – DOI 10.18721/JPM.12410.
6. Investigation of ferrofluid nanostructure by laser light scattering: medical applications / E. K. Nepomnyashchaya, E. N. Velichko, I. V. Pleshakov, E. T. Aksenov, E. A. Savchenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 841. – P. 012020. – DOI 10.1088/1742-6596/841/1/012020.
7. Savchenko, E. A. Combined method for laser selection, positioning and analysis of micron and submicron cells and particles / E. A. Savchenko, E. N. Velichko, E. T. Aksenov, E. K. Nepomnyashchaya // Proceedings – International Conference Laser Optics (ICLO) IEEE, 2018. – P. 539. – DOI 10.1109/LO.2018.8435384.

Экспериментальное обоснование применения низкоинтенсивного лазерного излучения для терапии нейроэндокринных нарушений ксеногенной этиологии в организме человека

В. В. Жуков¹, А. А. Кожин¹, В. А. Попова², В. В. Мрыхин²

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

²Ростовский государственный медицинский университет,
Ростов-на-Дону, zhukov@sfedu.ru

Проведен анализ собственных исследований по изучению особенностей биологической активности низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) фиолето-

вого, синего, оранжевого, красного и ИК диапазонов спектра в экспериментально-клинических условиях. В экспериментальной части работы использовались как промышленные лазеры (He-Ne, He-Cd, полупроводниковый на арсениде галлия), так и лазеры, созданные в Южном федеральном университете (He-Sr, He-Hg). Объектом исследований были белые крысы, находящиеся в различных функциональных состояниях. Клиническая апробация происходила на базе Ростовского НИИ акушерства и педиатрии и клиники психиатрии Ростовского государственного медицинского университета. В экспериментально-клинических исследованиях изучены особенности реакций нейроэндокринной системы на НИЛИ в зависимости от исходного состояния организма. Продемонстрирована возможность применения НИЛИ для повышения резистентности организма к стрессовым воздействиям.

Ключевые слова: низкоинтенсивное лазерное излучение, нейроэндокринная система, функциональное состояние.

Analysis of our own research on biological activity of low-level laser radiation which falls on violet, blue, orange, red and infra-red area of spectrum were described in experimental and clinical setting. During the experimental stage of the investigation there were used industrial lasers (He-Ne, He-Cd, semiconductor GaAs) as well as lasers were made at Southern Federal University (He-Sr, He-Hg). The white rats in different functional condition were the object of investigation. Clinical testing of laser radiation was implemented in Rostov Research Institute of Obstetrics and Pediatrics and Psychiatric clinic of Rostov State Medical University. Experimental and clinical research explained specific features of neuroendocrine system response to laser radiation depending on initial functional state of the human and animals. The low-level laser radiation demonstrated ability to be used to increase body's resistance to stress.

Keywords: low level laser radiation, neuroendocrine system, functional condition.

Получившие широкое распространение невротизация и астенизация общества детерминирует рост психосоматической заболеваемости, снижение репродуктивного потенциала. Высокий удельный вес в ее структуре занимают патологические процессы, проявляющиеся эндокринной и астено-депрессивной симптоматикой. Возрастание риска хронизации патологических процессов побуждает разнопрофильных специалистов искать более эффективные приемы коррекций начальных проявлений указанных нозологий. В значительной степени последнее обстоятельство обусловлено нарастающей ксеносенсибилизацией населения.

В настоящее время во многих отраслях медицины успешно применяется низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ). Его внедрению способствовали разноплановые исследования его биологического действия [1].

Целью настоящей работы стал анализ собственных исследований по изучению биологических эффектов НИЛИ различного спектрального диапазона и его клинической апробации. Материалы собраны при изучении эффектов НИЛИ, применяемого для коррекции нейроэндокринной системы, которая резко реагирует на стрессы и агрессию факторов окружающей среды (ксеноагрессию).

В работе использовались гелий-стронциевый лазер (ГСЛ) с длиной волны 430,5 нм и гелий-ртутный лазер (ГРЛ) с длиной волны 615,0 нм, созданные в ЮФУ [2], а также промышленные гелий-неоновый лазер

(ГНЛ) с длиной волны 632,8 нм и гелий-кадмиевый лазер (ГКЛ) с длиной волны 441,6 нм. Выбор такого сочетания групп лазеров обусловлен сопоставимостью спектрального диапазона их излучения и различием характера генерации (первые два лазера работали в импульсном режиме, а последние два – в непрерывном).

Объектом исследования была репродуктивная система крыс-самок. Было установлено, что излучение ГНЛ приводило к активации пролиферативных процессов в яичниках и матке. В аденогипофизе имели место признаки умеренной акселерации выведения нейросекрета в русло циркуляции. Облучение ГРЛ приводило к выраженной вакуолизации нейросекреторных клеток аденогипофиза. Это указывало на очень массивный выброс нейрогормонов в кровяное русло. Очевидно, что излучение ГРЛ значительно биологически активнее излучения ГНЛ.

При использовании ГКЛ в репродуктивных органах отмечалась выраженная гипертрофия клеток, имело место гипергормональная реакция. В случае применения ГСЛ в половой системе развивались дистрофические изменения, указывающие на глубокое угнетение функциональной активности репродуктивных органов. Таким образом, было установлено, что излучение ГНЛ производило мягкий биостимулирующий эффект, в то время как излучение других лазеров вызывало резкие морфофункциональные перестройки, в ряде случаев имеющие деструктивный характер.

Было установлено, что использование излучения ГНЛ возможно только на фоне состояний, не сопровождающихся эстрогенией, пролиферативными изменениями в эндометрии, которые являются противопоказаниями к применению НИЛИ всех диапазонов.

В дальнейшем был разработан модифицированный способ немедикаментозной терапии дисфункциональных маточных кровотечений [3]. При этом установлено, что реограмма шейки матки является чувствительным индикатором региональных изменений гемодинамики под влиянием НИЛИ. В тех случаях, когда реограмма демонстрировала четкую вазоконстрикторную реакцию, остановка кровотечения наступала через 2–3 процедуры. Отмеченные особенности гемодинамической реакции указывали на необходимость дифференцированного подхода к использованию излучения ГНЛ в клинике. При кровотечениях необходимо использовать значения мощности и экспозиции облучения, вызывающие вазоконстрикцию и гемостаз. В тех случаях, когда необходимо улучшать регенерацию тканей (например, при эрозии шейки матки), надо применять меньшие значения указанных параметров, чтобы не развился вазоконстрикторный эффект.

Экспериментальные исследования послужили основанием для применения НИЛИ в физиотерапии нарушений менструальной функции женщин, отличающихся недостаточностью лютеиновой фазы цикла. В основе лежало применение излучения ГНЛ как фактора рефлексотерапии, позволяющего активизировать секрецию гонадотропных гормонов путем стимуляции шеечного рефлекса.

Указанный способ показал свою эффективность и в коррекции астенодепрессивных состояний. В экспериментальной терапии астенического состояния у животных, моделируемого экологическими факторами, в целях сравнения были применены ГНЛ и полупроводниковый лазер на арсениде галлия с длиной волны 890,0 нм (аппарат «Узор»). Были разработаны оптимальные параметры немедикаментозного воздействия. Как оказалось, в этом случае излучение ИК диапазона спектра обладает более выраженным биологическим влиянием, чем излучение ГНЛ. Полученные результаты стали основанием для внедрения метода в клиническую практику лечения депрессивных состояний [4].

Таким образом, проведенные исследования продемонстрировали актуальность экспериментального изучения биологической активности лазерного излучения как патогенетического обоснования принципов его клинического использования.

Список литературы:

1. Москвин, С. В. Основы лазерной терапии. Сер. Эффективная лазерная терапия / С. В. Москвин. – Москва ; Тверь : Триада, 2016. – Т. 1. – 896 с.
2. Иванов, И. Г. Ионные лазеры на парах металлов / И. Г. Иванов, Е. Л. Латуш, М. Ф. Сэм. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 255 с.
3. Серов, В. Н. Лазерная терапия в акушерстве и гинекологии / В. Н. Серов, С. В. Москвин, А. А. Кожин, В. В. Жуков. – Москва ; Тверь : Триада, 2018. – 248 с.
4. Жуков, В. В. Лазерная терапия нарушений психического здоровья / В. В. Жуков, А. А. Кожин, В. В. Мрыхин. – Ростов-на-Дону : Изд-во Южного федер. ун-та, 2016. – 146 с.

Сравнительная спектральная оценка состояния дентина зубов при третьей степени их подвижности

*Е. В. Тимченко¹, П. Е. Тимченко¹, Л. Т. Волова², И. В. Бажутова²,
М. А. Зыбин³, О. О. Фролов¹, Ю. Д. Итяков¹*

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, Самара, laser-optics.timchenko@mail.ru,

²Самарский государственный медицинский университет, Самара

³Стоматологическая клиника «Диамант», Самара

Представлены результаты экспериментальных исследований по применению метода спектроскопии комбинационного рассеяния для оценки дентина зубов при третьей степени их подвижности. Сравнительный спектральный анализ дентина зубов при третьей степени их подвижности и контрольной группы образцов показал, что изменения в дентине коронковой части зуба проявляются в изменении коллагеновых и минеральных структур при данной патологии.

Ключевые слова: пародонт, дентин, спектроскопия комбинационного рассеяния.

The paper presents the results of experimental studies on the use of Raman spectroscopy for the evaluation of dental dentin at the third degree of their mobility. A comparative spectral analysis of dental dentin with a third degree of mobility and a control

group of samples showed that changes in the dentin of the coronal part of the tooth are manifested in a change in collagen and mineral structures in this pathology.

Keywords: periodontium, dentin, Raman spectroscopy.

На сегодняшний день одно из ведущих мест в структуре стоматологических заболеваний занимают заболевания пародонта. Своевременное диагностирование и лечение заболеваний пародонта является важной медико-биологической задачей [1].

В современном мире лазеры широко применяются в различных задачах [2], а также для исследования компонентного состава веществ [3], в том числе и в стоматологической практике, все чаще используются оптические методы [4–6].

Методы спектроскопии считаются сегодня наиболее перспективными в современной неинвазивной оптической диагностике, прежде всего в медицине. Данный метод применяется в качестве инструмента для мониторинга динамики процессов, происходящих в тканях, дает уникальные возможности изучения возбужденных состояний молекул, фотохимических реакций, структуры и свойств сложных химических и биологических объектов [7].

В работе был применён метод спектроскопии комбинационного рассеяния для оценки дентина зубов при третьей степени их подвижности. В качестве материала для исследования были использованы образцы зубов человека, удаленные по различным парадонтологическим показаниям (обнажение корня зуба более 2/3, атрофия костной ткани в области зуба более 2/3 и т.д.), возраст пациентов составил 40–55 лет, и контрольные образцы зубов человека, удаленные по ортодонтическим показаниям. Все образцы исследований обрабатывались раствором «Алмадез Экспресс» методом погружения, затем помещались в морозильную камеру и доставлялись в течение 30 минут до места проведения исследований. Исследования дентина зубов проводились с помощью стенда, реализующего метод спектроскопии комбинационного рассеяния [8].

В результате исследований получены усредненные спектры комбинационного рассеяния дентина с продольных срезов зубов 2-х групп: контрольных образцов зубов и образцов зубов с третьей степенью подвижностью.

Установлено, что в дентине коронковой части зуба, при третьей степени их подвижности, основные изменения происходят на линиях КР 850 см^{-1} (пролин), 878 см^{-1} (гидроксипролин) и 957 см^{-1} (Р-О симметричное валентное колебание $\text{PO}_4^{3-}(\nu_1)$ гидроксиапатита), что связано с изменением коллагеновых и минеральных структур при данном заболевании.

В то время как в дентине корня все спектральные изменения проявляются в основном на линиях 850 см^{-1} (пролин) и 878 см^{-1} (гидроксипролин), что соответствует изменению коллагеновых структур внутри дентина.

Таким образом, с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния можно оценивать состояние дентина зубов при третьей степени их подвижности по изменению спектральных свойств.

Список литературы:

1. Максимовский, Ю. М. Терапевтическая стоматология / Ю. М. Максимовский. – Москва : Медицина, 2002. – С. 382–383.
2. Привалов, В. Е. Оптимизация лидара дифференциального поглощения и рассеяния для зондирования молекулярного водорода в атмосфере / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Журнал технической физики. – 1999. – Т. 69, вып. 8. – С. 65–68.
3. Привалов, В. Е. Влияние шумов и вибраций оборудования на работу лазерного измерителя концентрации частиц и оптимизация его параметров / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин, А. В. Рыбалко, П. В. Чартий // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77, вып. 3. – С. 62–65.
4. Чунихин, А. А. Влияние лазерного излучения на репаративный остеогенез и ремоделирование костной ткани челюстно-лицевой области. Ч. II / А. А. Чунихин, Э. А. Базилян // Пародонтология. – 2018. – Т. XXIII. – № 4 (89). – С. 22–26.
5. Мхитарян, А. К. Применение конусно-лучевой компьютерной томографии в процессе диагностики и планирования лечения кариеса и его осложнений / А. К. Мхитарян, Н. К. Нечаева, А. А. Долгалева, А. Н. Бражникова // ЭНДОДОНТИЯ TODAY. – 2018. – № 3. – С. 4–7.
6. Сметанина, О. А. Ранняя диагностика хронического катарального гингивита с использованием метода инфракрасной спектроскопии биологических жидкостей полости рта / О. А. Сметанина, Л. Н. Казарина, А. С. Гордецов, О. В. Красникова // ЭНДОДОНТИЯ TODAY. – 2018. – № 4. – С. 60–63.
7. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 // Lancet. – 2018. – Vol. 392. – P. 1789–1858.
8. Optical Methods for Periodontitis Early Rapid Diagnosis / E. V. Timchenko, P. E. Timchenko, O. O. Frolov, E. F. Yagofarova, K. B. Chernyy-Tkach, M. A. Zybin, G. G. Dolgushov // Electrical Engineering and Photonics (EEExPolytech). – IEEE, 2019. – С. 298–300. – DOI 10.1109/EEExPolytech.2019.890680.

Метод спектроскопии комбинационного рассеяния для анализа костной ткани при остеорезорбции

*Е. В. Тимченко¹, П. Е. Тимченко¹, Е. В. Писарева¹, М. Ю. Власов²,
Л. Т. Волова², О. О. Фролов¹, Я. В. Федорова¹, Г. П. Тихомирова¹,
Д. А. Романова¹*

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, Самара, *laser-optics.timchenko@mail.ru*,

²Самарский государственный медицинский университет, Самара

Изучены образцы костной ткани у крыс при моделировании остеорезорбции в условиях микрогравитации. Исследованы образцы костей крыс самок и самцов с остеопорозом при лечении гидроксиапатитом с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния. Установлены спектральные различия между исследуемыми образцами (контрольные образцы, образцы с моделью остеопороза, образцы с моделью остеопороза при лечении гидроксиапатитом).

Ключевые слова: спектроскопия комбинационного рассеяния, кортикальная костная ткань, вывешивание, гидроксиапатит.

In this paper, we studied bone tissue samples from rats when modeling osteoresorption in microgravity. In the course of the work, bone samples of female and male rats with osteoporosis were studied in the treatment of hydroxyapatite using Raman spectroscopy. As a result, spectral differences between the studied samples were established (control samples, samples with a model of osteoporosis, samples with a model of osteoporosis in the treatment of hydroxyapatite).

Keywords: Raman spectroscopy, cortical bone tissue, hanging, hydroxyapatite.

Микрогравитация, которую испытывают космонавты во время космических полетов, вызывает ускоренную потерю костной массы, происходит нарушение минерального обмена костной ткани, приводящее к развитию остеопороза. Процесс адаптации костной ткани к условиям микрогравитации выражается в её ремоделировании, сопровождается изменением кинетики кальция [1] и отклонением уровня биохимических маркеров метаболизма. Их динамика может дать ценную информацию о балансе процессов резорбции и новообразования кости после космического полета и в восстановительном периоде. Модель ортостатической разгрузки задних конечностей грызунов позволяет оценить в эксперименте последствия воздействия микрогравитации на обмен костной ткани.

Поэтому важной актуальной задачей является анализ костной ткани при моделировании остеорезорбции в антиортостатическом вывешивании и поиск новых способов профилактики и лечения остеопороза.

Оптические методы, реализуемые с помощью лазерных установок [2], считаются сегодня наиболее перспективными в современной неинвазивной оптической диагностике, прежде всего в медицине. Среди всех оптических методов широкое распространение получил метод спектроскопии комбинационного рассеяния.

Целью работы является применение метода спектроскопии комбинационного рассеяния для спектральной оценки костной ткани при моделировании остеорезорбции в условиях антиортостатического вывешивания.

Эксперимент проводили на взрослых беспородных лабораторных крысах обоего пола, которые были поделены на группы в соответствии со следующей схемой исследования. Лабораторные животные первой группы были подвержены воздействию антиортостатического вывешивания в течение 28 суток по методу Новикова-Ильина. Во вторую группу входили животные, подвергавшиеся антиортостатическому вывешиванию и глюкокортикоидов в течение 28 суток. Третья и четвертая группы аналогичны первой и второй, с дополнительным введением гидроксиапатита в дозе 100 мг/кг массы тела. Пятая группа – интактные животные (контроль).

В динамике животных выводили из эксперимента путем декапитации. Материалом для исследования послужили сыворотка крови и образцы бедренных, плечевых, тазовых, лопаточных и нижнечелюстных костей.

Образцы исследовали с помощью стенда, реализующего метод СКР, описанный в [3]. Обработка полученных спектров КР была выполнена в программе WolframMathematica 9. Так же был проведен биохимический анализ, результаты которого подробно приведены в [4].

В результате проведена деконволюция спектров методом подбора спектрального контура и деконволюции функции Гаусса в программной среде MagicPlotPro 2.7.2, что позволило провести расширенный компонентный качественный и количественный анализ костной ткани у крыс в условиях микрогравитации. Установлены основные спектральные различия исследуемых объектов (контрольные образцы, образцы с моделью остеопороза, образцы с моделью остеопороза при лечении гидроксиапатитом), наблюдающиеся на линиях 855 см^{-1} , 956 см^{-1} и 1069 см^{-1} .

Полученные результаты впоследствии могут быть применены для профилактики и лечения остеопороза у космонавтов, поддержания здоровья экипажей во время длительных межпланетных миссий, а также для коррекции нарушений минерального гомеостаза и других заболеваний, связанных с нарушением костно-хрящевого метаболизма и минерального гомеостаза.

Список литературы:

1. Hildebrand, T. Quantification of bone microarchitecture with the structure model index / T. Hildebrand, P. Rueggsegger // Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin. – 1997. – № 1. – P. 15.
2. Privalov, V. E. Optimization of a differential absorption and scattering lidar for sensing molecular hydrogen in the atmosphere / V. E. Privalov, V. G. Shemanin // Technical Physics. Russian Journal of Applied Physics. – 1999. – Т. 44, № 8 – С. 928–931.
3. Application of Raman spectroscopy to assess the condition of bone and cartilaginous biopsy specimens / P. E. Timchenko, E. V. Timchenko, D. A. Dolgushkin, L. T. Volova, M. D. Markova // J. Optical Technology. – 2017. – Vol. 84, Iss. 6. – P. 423–425.
4. Спектральный анализ костной ткани крыс при длительном антиортостатическом вывешивании и введении аллогенного гидроксиапатита / Е. В. Тимченко, П. Е. Тимченко, Е. В. Писарева, М. Ю. Власов, Л. Т. Волова, О. О. Фролов, Я. В. Федорова, Г. П. Тихомирова, Д. А. Романова, М. А. Даниэль // Оптика и спектроскопия. – 2020. – Т. 129, вып. 1. – DOI 10.21883/000000000000.

Расширенный спектральный анализ материалов из дентина в процессе их изготовления для стоматологии

П. Е. Тимченко¹, Е. В. Тимченко¹, Л. Т. Волова², О. О. Фролов¹, М. А. Зыбин³

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, Самара, laser-optics.timchenko@mail.ru,

²Самарский государственный медицинский университет, Самара

³Стоматологическая клиника «Диамант», Самара

Представлены результаты расширенного анализа дентинных материалов для стоматологии в процессе их изготовления с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния. С помощью спектрального анализа показано, что интенсив-

ность линии на 960 см^{-1} , соответствующая минеральному компоненту исследуемых материалов, полностью исчезает в деминерализованных образцах. Также установлено уменьшение интенсивности линии на 1739 см^{-1} (фосфолипиды) в процессе деминерализации.

Ключевые слова: пародонт, дентин, спектроскопия комбинационного рассеяния.

The paper presents the results of an extended analysis of dentin materials for dentistry in the process of their manufacture using the Raman spectroscopy method. Using spectral analysis, it was shown that the line intensity at 960 см^{-1} , corresponding to the mineral component of the studied materials, completely disappears in demineralized samples. A decrease in the line intensity at 1739 см^{-1} (phospholipids) during demineralization was also established.

Keywords: periodontium, dentin, Raman spectroscopy.

Лазеры широко используются для анализа компонентного состава биоматериалов [1, 2]. Внутрикостные имплантаты все чаще применяются в широкой стоматологической практике при лечении больных с дефектами зубных рядов различной локализации. Поскольку все чаще при частичной и полной адентии пациенты отказываются от пользования съемными протезами, активно ведется работа по совершенствованию материалов для замещения дефектов кости и стимуляции ее роста. Эти факторы способствуют дальнейшему поиску путей расширения показаний к операции дентальной имплантации [3]. Одним из возможных материалов при атрофии костной ткани в стоматологии может быть использован дентин человека. В настоящее время для оценки биоматериалов все чаще используются оптические методы [4]. Спектральная оценка качества изготавливаемых биоматериалов на любой стадии производства может быть осуществлена в реальном времени с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния.

В качестве объектов исследования были исследованы 21 дентинный материал взрослых зубов человека. Все образцы были разделены на три группы по степени обработки: до обработки (минерализованный дентин), промежуточный этап (дентин в процессе деминерализации), итоговый продукт (дентин по окончанию процесса деминерализации). Образцы были изготовлены с помощью технологии Лиопласт® (ТУ-9398-001-01963143-2004).

В качестве основного метода исследований был выбран метод спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) [5]. Метод моделирования спектрального контура для повышения информативности спектров был реализован в программной среде MagicPlotPro 2.9.1, где было произведено разложение спектра на линии, описываемые функцией Гаусса. Дальнейший хемометрический анализ с помощью линейного дискриминантного анализа (LDA) реализован в программной среде SPSS Statistics 23.

Для исследования влияния исследуемых критериев при производстве имплантатов наибольшим интересом обладают интенсивности линий КР 1446 , 1739 (lipids & fatty acid), 851 и 935 см^{-1} (proline & hydroxyproline),

1000 и 1026 см^{-1} (phenylalanine), 812 и 1416 см^{-1} (DNA), 1238, 1550 см^{-1} (amide II, amide III), а также линии гидроксиапатита: 960 см^{-1} , 1047 см^{-1} , 1069 см^{-1} , 1093 см^{-1} .

С помощью спектрального анализа показано, что интенсивность линии на 960 см^{-1} , соответствующая минеральному компоненту исследуемых материалов полностью исчезает в деминерализованных образцах. Также установлено уменьшение интенсивности линии на 1739 см^{-1} (фосфолипиды) в процессе деминерализации.

Расширенный спектральный анализ с использованием разделения на спектральные линии и хемометрических методов, позволяет выявить основные различия в составе образцов на разной стадии производства биоимплантов. Исследованные различия в линиях комбинационного рассеяния могут быть в дальнейшем использованы для экспресс-оценки качества дентинных материалов их при производстве.

Список литературы:

1. Привалов, В. Е. Влияние шумов и вибраций оборудования на работу лазерного измерителя концентрации частиц и оптимизация его параметров / В. Е. Привалов, А. В. Рыбалко, П. В. Чартий, В. Г. Шеманин // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77, № 3. – С. 62–65.
2. Привалов, В. Е. Об определении минимальной энергии импульса при лазерном зондировании на гармониках ND-YAG лазера / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Оптика и спектроскопия. – 1997. – Т. 82, № 5. – С. 873–875.
3. Вайнштейн, Е. А. Профилактика осложнений, возникающих при введении эндооссальных имплантатов / Е. А. Вайнштейн, Л. П. Мальчикова, М. Е. Шимова, В. В. Ребров // Организация и профилактика в стоматологии : материалы конф. стоматологов. – Екатеринбург, 1993. – С. 160–162.
4. Сметанина, О. А. Ранняя диагностика хронического катарального гингивита с использованием метода инфракрасной спектроскопии биологических жидкостей полости рта / О. А. Сметанина, Л. Н. Казарина, А. С. Гордецов, О. В. Красникова // Эндодонтия today. – 2018. – № 4. – С. 60–63.
5. Raman spectroscopy of the organic and mineral structure of bone grafts / E. V. Timchenko, P. E. Timchenko, L. T. Volova, Yu. V. Ponomareva, L. A. Taskina // Quantum Electronics. – 2014. – № 44 (7) – P. 696–699.

Комплексная оптическая диагностика периодонтита

*Е. В. Тимченко¹, П. Е. Тимченко¹, М. А. Зыбин²,
К. Б. Черный-Ткач¹, О. О. Фролов¹*

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, Самара, laser-optics.timchenko@mail.ru,

²Стоматологическая клиника «Диамант», Самара

Проанализированы спектры комбинационного рассеяния ротовой жидкости и твердых тканей зубов при периодонтите. Проведен хемометрический анализ образцов исследования. Установлены основные спектральные особенности ротовой жидкости и твердых тканей зубов при периодонтите, что позволит в дальнейшем при-

менить полученные данные для разработки новых способов обнаружения данного заболевания на ранних стадиях развития. Были сопоставлены результаты спектроскопического исследования ротовой жидкости и микроскопического анализа.

Ключевые слова: спектроскопия комбинационного рассеяния, периодонтит, ротовая жидкость, твердые ткани зубов.

The Raman spectra of oral fluid and hard tissues of teeth in periodontitis are analyzed. A chemometric analysis of the samples was carried out. The main spectral features of the oral fluid and hard tissues of teeth with periodontitis have been established, which will subsequently apply the data obtained to develop new methods for detecting periodontitis in the early stages of the disease. The results of spectroscopic examination of the oral fluid were compared with microscopic analysis.

Keywords: Raman spectroscopy, periodontitis, oral fluid, hard tissues of teeth.

Периодонтит представляет собой широко распространенное стоматологическое заболевание, которое на ранних стадиях может протекать бессимптомно [1]. Своевременное обнаружение периодонтита позволит избежать различных осложнений и упростить лечение заболевания. Поэтому, в настоящее время ведется поиск новых вариантов диагностики периодонтита.

В настоящее время лазеры широко применяются в различных областях науки [2, 3], в том числе и в медицине. Для исследования состава и структуры веществ применяется перспективный метод спектроскопии комбинационного рассеяния, который благодаря таким достоинствам, как неинвазивность, неdestructивность и значительная чувствительность, также может быть эффективен при диагностике периодонтита.

В качестве материалов исследования были выбраны ротовая жидкость трех групп пациентов: 1 группа – здоровая, 2 – на стадии лечения периодонтита, 3 – с диагнозом периодонтит, а также твердые ткани зубов двух групп пациентов: 1 – здоровая, 2 – с диагнозом периодонтит.

Спектральные характеристики исследуемых образцов были получены с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния, реализованного с помощью цифрового спектрометра высокого разрешения AndorShamrocksr303i. Микроскопический анализ был проведен с помощью экспериментального стенда, реализованного на базе конфокального микроскопа и лазерного комбайна фирмы ANDOR, в качестве источника излучения использовался широкополосный источник (галогеновая лампа).

Спектральные данные, полученные в ходе исследования, были проанализированы в программной среде SPSS Statistics 19.

Проведен хемометрический анализ ротовой жидкости и твердых тканей зубов. Были установлены спектральные особенности исследуемых образцов, возникающие при развитии периодонтита. В твердых тканях зубов спектральные изменения проявляются на линиях 937см^{-1} , 956см^{-1} , 1069см^{-1} , $1230\text{--}1270\text{см}^{-1}$, 1555см^{-1} , 1665см^{-1} и 1739см^{-1} , что свидетельствует о разрушении коллагеновых матриксов и солей гидроксиапатита в тканях зуба при развитии периодонтита [4, 5]. Характерны-

ми маркерами периодонтита в ротовой жидкости являются изменения на спектральных линиях 1560 см^{-1} и 1738 см^{-1} , вероятно вызванные усиленной функцией белков и усилением перекисления липидов при периодонтите [6, 7].

Данные спектроскопического анализа ротовой жидкости сопоставлены с микроскопическим анализом, что позволяет наглядно оценить возникающие изменения состава ротовой жидкости при периодонтите.

Список литературы:

1. Терапевтическая стоматология : учеб. для студентов медицинских вузов / под ред. Е. В. Боровского. – Москва : Медицинское информационное агентство, 2003. – 840 с.
2. Привалов, В. Е. Оптимизация лидара дифференциального поглощения и рассеяния для зондирования молекулярного водорода в атмосфере / В. Е. Привалов, А. В. Рыбалко, П. В. Чартий, В. Г. Шеманин // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77, №3. – С. 62–65.
3. Привалов, В. Е. Об определении минимальной энергии импульса при лазерном зондировании на гармониках ND-YAG лазера / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Оптика и спектроскопия. – 1997. – Т. 82, № 5. – С. 809–811.
4. Боровский, Е. В. Биология полости рта / Е. В. Боровский, В. К. Леонтьев. – Москва : Медицинская книга ; Н. Новгород : Изд-во НГМА, 2001. – 304 с.
5. Мандра, Ю. В. Возможности применения рамановской микроспектроскопии для исследования структурных особенностей твердых тканей зубов человека / Ю. В. Мандра, С. Л. Вотяков, А. С. Ивашов, Д. В. Киселева // Проблемы стоматологии. – 2011. – № 1.
6. Micro-Raman spectroscopy for assessment of periodontal disease follow-up / C. Camerlingo, F. Apuzzo, V. Grassia, L. Perillo, M. Lepore // International Electronic Conference on Sensors and Applications. – 2014.
7. Lipid peroxidation A possible role in the induction and progression of chronic periodontitis / C. C. Tsai, H. S. Chen, S. L. Chen, Y. P. Ho, K. Y. Ho, Y. M. Wu, C. C. Hung // Journal of Periodontal Research. – 2005. – Vol. 40 (5). – P. 378–384.

Хеометрический анализ спектров комбинационного рассеяния при оценке имплантатов из твердого нёба

*Е. В. Тимченко¹, П. Е. Тимченко¹, Л. Т. Волова², О. О. Фролов¹,
Е. Ф. Ягофарова¹*

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, Самара, laser-optics.timchenko@mail.ru,

²Самарский государственный медицинский университет, институт экспериментальной медицины и биотехнологий, Самара

Показаны результаты экспериментального исследования спектральных особенностей и хеометрического анализа компонентного состава спектров комбинационного рассеяния при оценке образцов имплантатов твердого нёба (ТН), изготовленных по технологии «Лиопласт», применяемой в клинике в области атрофических процессов при множественных рецессиях десны, с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния (КР). Показано, что спектроскопия КР позволяет получать верифицированные результаты и может быть использована для оценки изменения состава имплантатов ТН в процессе их обработки. На основе введенных коэф-

фициентов был проведён двумерный анализ, показывающий, что при обработке имплантатов сохраняются основные компоненты и удаляются ДНК/РНК, что повышает качество материала, обеспечивающего возможность хорошего клинического эффекта при лечении множественных рецессий десны.

Ключевые слова: спектроскопия комбинационного рассеяния, спектральный анализ, биоимплантаты, рецессия десны, «Лиопласт».

The results of an experimental study of spectral features and chemometric analysis of the component composition of Raman spectra in the evaluation of samples of hard palate (HP) implants made using the "Lioplast" technology used in the clinic in the field of atrophic processes in multiple gum recessions using the Raman spectroscopy method are shown. It is shown that Raman spectroscopy allows obtaining verified results and can be used to evaluate changes in the composition of HP implants during their processing. Based on the coefficients introduced, a two-dimensional analysis was performed, showing that the main components are preserved and DNA/RNA is removed during implant processing, which improves the quality of the material, which provides the possibility of a good clinical effect in the treatment of multiple gum recessions.

Keywords: Raman spectroscopy, spectral analysis, bioimplants, gum recession, «Lioplast».

Восстановление тканей атрофированной десны при адентии является весьма актуальной проблемой. Также при трансплантации нативных имплантатов имеется риск иммунного отторжения имплантата и увеличение срока приживляемости у реципиента [1]. Поэтому основной проблемой тканевой инженерии является разработка и контроль качества материалов, способных восстанавливать или заменять ту или иную функцию поврежденных тканей и органов.

Впервые в мировой практике при лечении этой патологии в качестве пластического материала предлагается использовать аллогенную биоткань на основе твердого нёба человека, изготовленную по оригинальной отечественной технологии «Лиопласт»®. Использование аллогенного материала, в данном случае, является наиболее выгодным решением, так как он может быть использован при множественных рецессиях. Успешный результат таких операций зависит от качества и технологий производства материалов с сохранением необходимых биологических веществ, таких как коллаген, гликозамингликаны, протеогликаны [2] и удалению клеточных компонентов (ДНК, РНК).

Оптические методы нашли широкое применение в биологических задачах [3–5]. Среди всех методов, метод спектроскопии КР позволяет контролировать компонентный состав биоматериалов, и обладает рядом преимуществ, таких как простота пробоподготовки, малоинвазивность, большой объем получаемой информации, оперативность исследования [5–6].

Цель работы: провести хеометрический анализ спектров комбинационного рассеяния при оценке имплантатов из твердого нёба.

В качестве объектов исследования были использованы образцы биоимплантов лиофилизированного нёба. Исследуемые образцы были обработаны с использованием технологии «Лиопласт»® (ТУ-9398-001-

01963143-2004). Проводился компонентный анализ биоимплантатов из твердого нёба лиофилизированных и нелиофилизированных образцов.

В качестве основного метода анализа образцов ТН был использован метод спектроскопии комбинационного рассеивания, реализуемый высокоразрешающим цифровым спектрометром Shamrock sr-303i, совмещенным с лазерным модулем LuxxMaster LML-785.0RB-04 (мощность до 500 мВт, длина волны 785 нм) [5] и встроенной охлаждаемой камерой DV420A-OE, обеспечивающей спектральное разрешение 0,15 нм (спектральный диапазон 200–1200 нм).

Выделение спектра КР на фоне автофлуоресценции проводилось методом полиномиальной аппроксимации флуоресценции, и её вычитания из регистрируемых спектров в программе Wolfram Mathematica. На выбранном интервале 400–2200 см⁻¹ при помощи итерационного алгоритма определяли аппроксимирующую линию (полином пятой степени) автофлуоресцентной составляющей и затем вычитали эту составляющую, получая выделенный спектр КР [5]. Исследуемые спектры при обработке очищали от шумов сглаживающим медианным фильтром по 7 точкам.

Проведена сравнительная спектральная оценка компонентного состава поверхностей образцов имплантатов твердого нёба, изготовленных по технологии «Лиопласт», с обработкой лиофилизации и без нее. Установлено, что основные различия проявляются на волновых числах 1002 и 1030 см⁻¹ (фенилаланин), 1062 см⁻¹ (GAGs), 1204 см⁻¹ (тирозин), 1421 и 814 см⁻¹ (ДНК / РНК), 1555 и 1660 см⁻¹ (амид II и амид I). Введены коэффициенты и проведён двумерный анализ, который показал, что после обработки лиофилизацией сохраняются основные компоненты биоматрикса, что повышает качество материала, обеспечивающего возможность хорошего клинического эффекта при регенеративных процессах. Показано, что после обработки биоимплантатов лиофилизацией удаляются компоненты, негативно влияющие на их качество, при этом сохраняется необходимый уровень экстраклеточного матрикса: гликозамингликанов, коллагенов, пролинов, гидроксипролинов и фенилаланинов, играющих важную роль в процессе приживляемости имплантата, и получение качественного экстраклеточного матрикса [7].

Список литературы:

1. Муслимов, С. А. Морфологические аспекты регенеративной хирургии / С. А. Муслимов. – Уфа : Башкортостан. – 2000. – 168 с.
2. Chen, H. In vivo spinal nerve sensing in MISS using Raman spectroscopy / H. Chen, P. W. Xu, N. Broderick // Proceedings of SPIE Las Vegas : Society of Photo-optical Instrumentation Engineers (SPIE), 2016. – Vol. 9802. – P. 98021L.
3. Privalov, V. E. Optimization of a differential absorption and scattering lidar for sensing molecular hydrogen in the atmosphere / V. E. Privalov, V. G. Shemanin // Technical Physics. Russian Journal of Applied Physics. – 1999. – Vol. 44, № 8. – P. 928–931.
4. Privalov, V. E. On the determination of the minimum pulse energy in laser probing using harmonics of an ND : YAG laser / V. E. Privalov, V. G. Shemanin // Optics and Spectroscopy. – 1997. – Vol. 82, № 5. – P. 809–811.

5. Raman spectroscopic investigation of spinal cord injury in a rat model / T. Saxena, B. Deng, D. Stelzner, J. Hasenwinkel, J. Chaiken // J. Biomedical Optics. – 2011. – № 16 (2). – Art. no. 027003.
6. Application of Raman spectroscopy to assess the condition of bone and cartilaginous biopsy specimens / P. E. Timchenko, E. V. Timchenko, D. A. Dolgushkin, L. T. Volova, M. D. Markova // J. Optical Technology. – 2017. – 84 (6). – P. 423–425.
7. Zhao, J. Society for applied spectroscopy / J. Zhao, H. Lui, D. I. Mclean, H. Zeng. – 2007. – № 61 (11), – P. 1225–1232.

Коэффициент усиления He-Ne лазера с сечением трубки в виде гиперболического многоугольника

В. А. Кожевников, В. Е. Привалов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, vaevpriv@yandex.ru

Рассмотрен коэффициент усиления He-Ne лазера, имеющего сечение трубки в виде гиперболического многоугольника. Расчеты основаны на предложенном методе нахождения приближенного решения однородного уравнения Гельмгольца. Результаты расчетов показывают, что сечения в виде гиперболических многоугольников оказываются предпочтительнее сечений в виде правильных многоугольников.

Ключевые слова: коэффициент усиления He-Ne лазера, активный элемент, гиперболический многоугольник.

The gain of a He-Ne laser having a tube section in the form of a hyperbolic polygon is considered. The calculations are based on the previously proposed method for finding an approximate solution of the homogeneous Helmholtz equation. The calculation results show that sections in the form of hyperbolic ones are preferable to sections in the form of regular polygons.

Keywords: He-Ne laser gain, active element, hyperbolic polygon.

В работе [1] авторами предложен метод нахождения среднего по сечению коэффициента усиления He-Ne лазера с произвольной поперечной геометрией активной трубки, использующий метод нахождения приближенного решения однородного уравнения Гельмгольца. Был произведен анализ различных возможных поперечных сечений трубки в поисках оптимальной по усилению [1–4]. В данной работе были исследованы сечения в виде гиперболического многоугольника. Гиперболический n -угольник – это фигура, образованная n повернутыми относительно друг друга на угол $2\pi/n$ гиперболами, так что фокусы всех гипербол совпадают и находятся в центре фигуры. Фактически гиперболический n -угольник – это бесконечное семейство таких фигур, отличающихся эксцентриситетом $\varepsilon > 1$ составляющих его гипербол (т.е., например, существует бесконечно много гиперболических треугольников, отличающихся значениями ε).

Нами были проведены численные расчеты для гиперболических двугульника, треугольника и квадрата с различными значениями эксцентриситета. Результаты расчетов показали следующую закономерность – при $\varepsilon \rightarrow 1$ коэффициент усиления гиперболического n -угольника

стремится к значению коэффициента усиления соответствующего параболического n -угольника [3] (что выглядит естественным, т.к. при $\varepsilon \rightarrow 1$ гипербола переходит в параболу). С ростом ε коэффициент усиления гиперболического n -угольника падает, причем чем больше n , тем относительное падение меньше (например, для двуугольника падение при $\varepsilon = 5$ составляет почти треть от значения для $\varepsilon = 1$, а при $\varepsilon = 10$ падение составляет половину от значения для $\varepsilon = 1$ – в то время как для треугольника и квадрата эти цифры значительно меньше – соответственно около 7 и 9 % для треугольника и около 3 и 3.5 % для квадрата). Но при этом коэффициент усиления гиперболического n -угольника все равно оказывается выше коэффициента усиления соответствующего правильного n -угольника [2], что делает гиперболические сечения более перспективными с точки зрения усиления. Мы надеемся, что данная работа окажется полезной авторам [5–6].

Список литературы:

1. Кожевников, В. А. Влияние геометрии сечения активного элемента лазера на усиление его излучения / В. А. Кожевников, В. Е. Привалов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 84–95.
2. Кожевников, В. А. Усиление излучения в лазерах с сечениями в виде правильных многоугольников / В. А. Кожевников, В. Е. Привалов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. – Т. 61, № 5 (725). – С. 94–97.
3. Кожевников, В. А. Исследования нетрадиционных поперечных сечений газоразрядных лазеров / В. А. Кожевников, В. Е. Привалов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. – Т. 61, № 10 (730). – С. 102–106.
4. Kozhevnikov, V. A. Upgrade the Evaluation of the Contribution of the Active Element Cross Section Geometry to the He-Ne Laser Energy Characteristics / V. A. Kozhevnikov, V. E. Privalov, V. G. Shemanin // Optical Memory and Neural Networks. – 2019. – Vol. 28, № 3. – P. 215–221. – DOI 10.3103/S1060992X19030056.
5. Savchenko, E. A. Combined method for laser selection, positioning and analysis of micron and submicron cells and particles / E. A. Savchenko, E. N. Velichko, E. T. Aksenov, E. K. Nepomnyashchaya // Proceedings-International Conference Laser Optics (ICLO), IEEE, 2018. – P. 539. – DOI 10.1109/LO.2018.8435384.
6. Investigation of ferrofluid nanostructure by laser light scattering: medical applications / E. K. Nepomnyashchaya, E. N. Velichko, I. V. Pleshakov, E. T. Aksenov, E. A. Savchenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 841. – P. 012020. – DOI 10.1088/1742-6596/841/1/012020.

Флуоресцентный анализ смесей диэлектрических жидкостей

Д. В. Кизеветтер, А. С. Резник, Н. М. Журавлева, Д. В. Литвинов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, kizevetter_dv@spbstu.ru

Представлены результаты исследования флуоресценции смесей диэлектрических жидкостей, используемых в качестве компонента бумажно-пропитанной изоляции си-

ловых трансформаторов: нефтяных масел с натуральными и синтетическими эфирами, а также с силиконовой жидкостью. Определены источники погрешности измерений при возбуждении флуоресценции лазерным пучком в измерительной кювете. Измерены параметры излучения флуоресценции смесей как в исходном состоянии, так и после искусственного старения. Сопоставлено изменение оптических и электрических параметров в процессе старения.

Ключевые слова: флуоресценция, диэлектрическая жидкость, искусственное старение.

The paper presents the results of the study of the fluorescence of mixtures of dielectric liquids used as the component of paper-impregnated insulation of power transformers: petroleum oils with natural and synthetic esters, as well as with silicone liquid. The sources of measurement error when fluorescence is excited by a laser beam in a measuring cuvette are determined. The parameters of fluorescence of mixtures were measured both in the initial state and after artificial aging. Changes in optical and electrical parameters during aging are compared.

Keywords: fluorescence, dielectric liquid, artificial aging.

Флуоресцентный анализ диэлектрических жидкостей (ДЖ) используется в технике для определения степени старения ДЖ [1] и состава смесей ДЖ, идентификации места происхождения сырой нефти [2] и других целей. В данной работе измерения спектров флуоресценции жидкостей производились с помощью спектрометра, используя боковое освещение жидкости, двумя различными способами: классическим – в измерительной кювете и в стеклянной трубке [3]. Показано, что в первом случае основной причиной ошибок при количественных измерениях является поглощение излучения накачки и самопоглощение излучения флуоресценции исследуемой жидкостью в кювете. Предложена методика корректировки измеряемых спектров с учетом поглощения излучения в жидкости.

Наибольшее внимание в работе было уделено исследованию оптических и электрических параметров смесей нефтяного масла ГК и натурального эфира MIDELeN. Результаты предварительных исследований таких смесей ранее были представлены в работах [3–4]. Измерены спектры флуоресценции и электрическое сопротивление смеси при различной концентрации составляющих как в исходном состоянии, так и после искусственного термического старения. Показано, что спектр флуоресценции указанной смеси приблизительно соответствует сумме спектров флуоресценции каждой из составляющих, однако некоторое отклонение от указанной зависимости имеет место, что соответствует теоретическим представлениям [5]. Интенсивность флуоресценции нефтяного масла ГКТЦ приблизительно в 7 раз выше, чем указанного натурального эфира. В исходном состоянии максимум спектральной плотности излучения флуоресценции наблюдается: для ГКТЦ – приблизительно на длине волны 440 нм, для MIDELeN – на 494 нм. Изменение соотношения спектральных плотностей на указанных длинах волн коррелирует с изменением удельного электрического сопротивления смеси, однако описать полученную зависимость с использованием простейших физических моделей не удается. Смеси указанных жидкостей были подверг-

нуты термическому старению при температуре 140 °С в течение 24 часов (с катализатором [3–4] и без него) и после повторно были измерены их оптические и электрические параметры. Интенсивность флуоресценции уменьшилась на 20 %...40 % на $\lambda = 440$ нм и на 5 %.. 50 % на $\lambda = 494$ нм, удельное электрическое сопротивление смесей уменьшилось на 1–2 порядка. Из полученных данных следует, что физические процессы при термическом старении смесей существенно отличаются от процессов при старении каждого из компонентов такой смеси по отдельности.

Список литературы:

1. Журавлева, Н. М. Электротехнические материалы. Оптическая диагностика компонентов бумажно-пропитанной изоляции / Н. М. Журавлева, Д. В. Кизеветтер, А. С. Резник. – Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 68 с.
2. Wang, Chunyan. Species identification and concentration quantification of crude oil samples in petroleum exploration using the concentration-synchronous-matrix-fluorescence spectroscopy / Chunyan Wang // Talanta. – 2010. – Vol. 81. – P. 684–691.
3. Zhuravleva, N. M. Study of thermal aging of mixture of transformer insulating liquids / N. M. Zhuravleva, A. S. Reznik, D. V. Kiesewetter // Proc. ELEKTRO-2016, Slovak Rep. High Tatras, 2016. – P. 645–648.
4. Application of Side-Illumination Fluorescence Measurement Technique for Monitoring of Quality of Dielectric Fluids / D. V. Kiesewetter, A. S. Reznik, N. M. Zhuravleva, D. V. Litvinov, A. S. Rutovich // Proc. IEEE Conference EIConRus. – Saint Petersburg, Russia, 2018, – P. 423–425.
5. Иоффе, Б. Б. Рефрактометрические методы химии / Б. Б. Иоффе. – Ленинград : Химия, 1983. – 352 с.

Ионный лазер на парах меди с одновременным многоволновым излучением в ультрафиолетовом и инфракрасном частях спектра

И. Г. Иванов

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, ig.ivanov@mail.ru

Предложено с целью увеличения набора длин волн излучения лазера на ионных переходах меди осуществлять накачку атомов меди в плазме электрического разряда с полым катодом в тройной смеси гелий – неон – пары меди, что обеспечивает одновременную генерацию на переходах Cu^+ в УФ и ИК частях спектра. Изучена кинетика лазерных переходов.

Ключевые слова: ионный лазер на парах металла, накачка в плазме газового разряда.

It is proposed to pump copper atoms in plasma of electric hollow cathode discharge in triple mixture of helium-neon-copper vapor in order to increase set of copper ion laser wavelengths, which provides simultaneous lasing at Cu^+ laser transitions in UV and IR parts of spectrum. The kinetics of laser transitions was studied.

Keywords: metal vapor ion laser, pumping in gas discharge plasma.

Ионные лазеры на парах металлов выгодно отличаются от газовых лазеров других типов способностью одновременной генерации на нескольких лазерных линиях, и к настоящему времени генерация наблю-

далась в ионных спектрах 34-х элементов (в том числе, металлов) на более, чем пятистах квантовых переходах [1]. Активная (усиливающая) среда таких лазеров представляет собой слабоионизованную неравновесную газоразрядную плазму низкого или среднего давления, образующуюся при электрическом разряде в специально подобранной смеси легкого буферного инертного газа (чаще He, Ne, Ar) и рабочих атомов металла в газовой фазе. Эксперименты с ионными лазерами на парах металла, традиционно накачиваемыми в положительном столбе продольного газового разряда показывают, что в них имеется доплеровский сдвиг частоты контура усиления и высокий уровень шумов. В то же время использование для накачки отрицательного свечения разряда с полым катодом (ОС РПК) позволяет избежать указанных сдвигов и резко (по сравнению с положительным столбом) снизить уровень шумов [1, 2], а также повысить скорость накачки рабочего перехода, величину ненасыщенного коэффициента усиления активной среды, и, как следствие, – повысить мощность излучения лазера.

В плазме ОС РПК наиболее эффективно возбуждаются ионные квантовые переходы металлов посредством столкновений второго рода атомов металла с ионами буферного газа (т.наз. *перезарядки* при тепловых скоростях частиц в условиях случайного резонанса), либо атомов металла с возбужденными (метастабильными) атомами буферного газа (т. наз. *пеннинговской ионизации атомов металла*) [2]. Найдено, что высокая скорость накачки лазерных переходов в ОС РПК такими столкновениями определяется отличием формы распределения электронов по энергиям (РЭЭ) в ОС от максвелловского РЭЭ в плазме положительного столба, заключающегося в избытке как быстрых, так и медленных тепловых электронов [2].

Как показано в наших работах, дополнительно увеличить набор длин волн излучения, генерируемого одним лазером на парах металла, можно путем использования с одним буферным газом паров двух металлов, лазерные переходы которых накачиваются ударами 2-го рода. Примерами таких лазеров могут служить лазеры на смеси паров кадмия и ртути с гелием (генерация на длинах волн $\lambda_{441,6}$ нм, $533,7$ нм и $537,8$ нм CdII и 615 нм HgII), на смеси паров селена и теллура с гелием на шести длинах волн 497.6 нм, 499.3 нм, 506.8 нм, 517.6 нм, 522.7 нм и 530.5 нм SeII и двух 557.6 нм и 570.8 нм TeII и др. [3].

В [4] нами был предложен и еще один метод увеличения набора длин волн излучения, генерируемого одним лазером на парах металла. Было замечено, что известны несколько металлов, такие как таллий, медь, теллур и др., в ионных спектрах каждого из которых имеются две группы квантовых лазерных переходов: одна группа переходов эффективно заселяется перезарядкой на ионах буферного газа гелия, и вторая группа других переходов, заселяется перезарядкой на ионах буферного газа неона. Был исследован лазер на парах таллия, возбуждаемый в ОС РПК в смеси с двумя буферными газами: гелием и неоном. Генерация

лазерного излучения с накачкой перезарядкой от ионов буферного газа гелия происходила на $5^{1,3}F-6^{1,3}D$ ионных переходах Tl^+ с $\lambda 473,8$ нм, $\lambda 498,9$ нм, $\lambda 508$ нм и $\lambda 515,2$ нм в сине-зеленой части спектра, а также на ИК $5^{1,3}G-5^{1,3}F$ переходах Tl^+ с $\lambda 913$ нм, $\lambda 921,7$ нм, $\lambda 922,7$ нм и $\lambda 925$ нм. Другая группа с накачкой перезарядкой от ионов неона происходила на $7^{1,3}P-7^{1,3}S$ переходах Tl^+ в оранжевой и красной частях спектра с $\lambda 595$ нм, $\lambda 695$ нм и $\lambda 707$ нм. В результате излучение одного лазера на дискретных частотах перекрывало видимый и ИК спектр.

Целью данной работы явилась исследование другой эффективной и важной для практики лазерной активной среды – паров меди, накачиваемых в ОС РПК в смеси с гелием и неоном при одновременной генерации в ИК части спектра на переходе с $\lambda 780,0$ нм (накачка перезарядкой He^+-Cu), и в УФ части спектра на переходах с $\lambda 248,6$, $\lambda 259,9$ нм и $\lambda 260$ нм (перезарядкой Ne^+-Cu).

При накачке в трёхкомпонентной смеси гелий-неон-пары меди для переходов в ионном спектре меди составлялись кинетические балансные уравнения для 12-ти квантовых лазерных уровней, а также для уровней, связанных с ними радиационными и столкновительными переходами: $6s^3D_{2,3}$, $5p^3P_1$, $5p^3F_4$, $5s^3D_{1,2,3}$, $4p^1F_3$, $5s^1D_2$, $4p^3P_2$, $4p^3F_2$ и $4s^1S_0$ Cu^+ . В расчетах использовались описанные в [2–4] методики расчетов и учитывались все особенности накачки перезарядкой в ОС РПК. Парциальные эффективные сечения перезарядки с He^+ и Ne^+ на указанные ионные уровни Cu^+ находились по теории Ландау-Зинера; рассчитывались входящие в балансные уравнения константы возбуждающих и де-возбуждающих столкновений ионов Cu^+ с «тепловыми» электронами плазмы ОС РПК.

В результате были определены оптимальные параметры разряда (парциальные давления гелия, неона, паров меди и ток разряда), а также сделаны прогнозные оценки выходных энергетических характеристик $He-Ne-Cu$ лазера.

Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы. Так как энергия иона He^+ на 3эВ превышает энергию Ne^+ , то перезарядка Ne^+-Cu не оказывает влияния на заселение вышерасположенных уровней и лазерного перехода с $\lambda 780,0$ нм, накачиваемых перезарядкой He^+-Cu . В то же время перезарядка He^+-Cu влияет на величину инверсии на переходах $5s^{1,3}D_{1,2}-4p^3P_2$, $5s^{1,3}D_{1,2}-4p^{1,3}F_2$ Cu^+ , заселяемых в столкновениях Ne^+-Cu , а именно, увеличивает инверсию на этих переходах. Так, добавление в смесь $Ne-Cu$ гелия (второй компоненты бинарного буферного газа) незначительно видоизменяет РЭЭ в ОС, и приводит к небольшому дополнительному каскадному заселению $5s^{1,3}D_{1,2,3}$ уровней Cu^+ радиационными переходами с $\lambda 783$ нм, $\lambda 790$ нм и $\lambda 794$ нм, и, далее – вызывает рост скорости накачки УФ лазерных переходов $5s^3D_{1,2}-4p^3F_2$ и $5s^1D_2-4p^1F_3$ Cu^+ с $\lambda 248,6$ нм, $\lambda 259,9$ нм и $\lambda 260$ нм за счет столкновений с тепловыми электронами плазмы ОС РПК.

Найдено, что варьируя соотношение давления гелия и неона, можно изменять соотношение скоростей накачки лазерных переходов в ультра-фиолетовой и инфракрасной частях спектра.

Список литературы:

1. Зинченко, С. П. Импульсные ионные лазеры с полым катодом: параметры накачки и генерации / С. П. Зинченко, И. Г. Иванов // Квантовая электроника. – 2012. – Т. 42, № 6. – С. 518–523.
2. Ryazanov, A. V. About Creation of Population Inversion in Mixture of Inert Noble Gas and Metal Vapor / A. V. Ryazanov, I. G. Ivanov, V. E. Privalov // Optical Memory and Neural Networks. – 2014. – Vol. 23, № 3. – P. 177–184.
3. Иванов, И. Г. Многоволновый режим генерации ионного катафорезного лазера непрерывного действия на смеси паров селена и теллура / И. Г. Иванов // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте – 2018 : тр. XXVI Междунар. конф. – Новороссийск : ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2018. – С. 66–67.
4. Иванов, И. Г. Многоволновый режим генерации ионного лазера с РПК на тройной смеси паров таллия с гелием и неоном / И. Г. Иванов // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте – 2019 : тр. XXVII Междунар. конф. – Краснодар : ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2019. – С. 17–19.

О накачке лазерных переходов перезарядкой в ионных лазерах на парах металлов

И. Г. Иванов

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, *ig.ivanov@mail.ru*

Для активной среды ионных лазеров на парах металлов с накачкой в разряде с полым катодом проанализировано влияние ионного состава плазмы отрицательного свечения на величину катодного падения потенциала и энергию быстрых электронов. Происходящий с ростом концентрации паров металла рост указанных параметров определяет преимущества накачки перезарядкой в разряде с полым катодом по сравнению с положительным столбом продольного разряда.

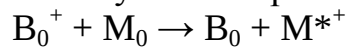
Ключевые слова: ионный лазер на парах металла, накачка, разряд с полым катодом.

For active media of ion metal vapor lasers pumped in a hollow cathode discharge, the influence of the ionic composition of plasma in the negative glow on the values of the cathode potential drop and the energy of fast electrons is analyzed. The increase of these parameters with increasing of metal vapor density determines the advantages of pumping by charge transfer in the hollow cathode discharge compared to a positive column of longitudinal discharge.

Keywords: metal vapor ion laser, pumping, hollow cathode discharge.

В работе сообщается об исследованиях плазмы отрицательного свечения (ОС) разряда с полым катодом (РПК), используемой в качестве активной среды ионных лазеров на парах металла [1]. Лазеры работают на смеси паров металла (таких металлов, как Zn, Cd, Hg, Tl, Cu, Ag и

др.) с легким буферным инертным газом (чаще гелием и/или неоном). Накачка верхнего уровня лазерного перехода в ионном спектре металла M^{*+} происходит в результате столкновений иона буферного газа B_0^+ с атомом металлов M_0 , путем, так называемой, перезарядки при тепловых скоростях частиц «в условиях случайного резонанса»:



Использовалась следующая упрощенная модель цилиндрической катодной области тлеющего разряда с «холодным» полым катодом [1], которая, однако, адекватно описывает накачку ионных лазерных переходов металлов. Полагалось, что все катодное падение разряда U_K сосредоточено в области катодного темного пространства (КТП), лежащего между поверхностью катода и плазменной областью отрицательного свечения (ОС); поле в плазме ОС отсутствует. В РПК зона ускорения электронов (КТП) и зона возбуждения активной среды лазера (ОС) пространственно разнесены, т.е. КТП выступает по отношению к ОС в качестве внешнего ионизатора. «Первичные» электроны, эмитированные катодом, проходя КТП без столкновений, в поле КТП набирают энергию ($eU_{КТП} = eU_K$) и на границе КТП-ОС имеют распределение по энергиям, описываемое δ -функцией. Далее, попадая в ОС, эти электроны, продолжая двигаться в радиальном направлении, осуществляют главным образом ионизацию буферного инертного газа, поскольку в области энергий ε ($2\varepsilon_i < \varepsilon < eU_{КТП}$, ε_i – энергия ионизации газа) вероятность их столкновений с атомами металла мала. Вследствие потерь энергии на ионизацию, эти электроны «релаксируют вниз по шкале энергий», формируя группу быстрых электронов. Расчеты интегральной функции распределения таких электронов по энергиям (ФРЭЭ) в ОС путем решения кинетического уравнения Больцмана показали, что скорость ионизации газа $F(B_0^+)$ и, соответственно, скорость накачки перезарядкой лазерных уровней металла $F(M^{*+}) \approx F(B_0^+)$, благодаря этому сохраняется высокой вплоть до концентрации паров металла $N(M)^{РПК} \approx 8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Эта концентрация на 1–2 порядка превышает оптимальную концентрацию паров в положительном столбе продольного разряда $N(M)^{ПС} \sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$, что и определяет преимущество накачки перезарядкой в ОС РПК перед продольным разрядом.

Поскольку величина $U_{КТП}$ определяет $eU_{КТП}$, $F(B_0^+)$ и $F(M^{*+})$, и исходя из условия самостоятельности катодной области РПК, найдем, как состав плазмы, а именно, величина $N(M)$, влияет на потенциал КТП – $U_{КТП}$.

Пренебрегая влиянием возбужденных атомов и квантов излучения из КТП на эмиссию „холодного“ катода, условие самостоятельности для аномального тлеющего РПК в смеси газов можно записать в виде:

$$\sum_j \gamma_{ij} \delta_{ij} N_{ij} + \sum_j \gamma_{ej} \delta_{ej} N_{ej} + \sum_j \gamma_{fj} \delta_{fj} N_{fj} = 1, \quad (1)$$

где γ_{ij} , γ_{ej} , $\gamma_{\phi j}$ – коэффициенты ионно-электронной, атомно-электронной и фото-электронной видов эмиссии электронов из катода под действием ионов, метастабильных атомов и фотонов соответственно, N_{ij} , N_{ej} , $N_{\phi j}$ – число ионов, возбужденных атомов, а также фотонов, образующихся в ОС и приходящихся на один электрон, эмитированных катодом; δ_{ij} , δ_{ej} , $\delta_{\phi j}$ – факторы, определяющие долю ионов, возбужденных атомов, квантов, попадающих из ОС на катод: $0 \leq \delta \leq 1$, (так, $\delta \cdot N_i$ – число ионов, диффундирующих из ОС в КТП, приходящееся на один созданный электрон). В (1) суммирование производится по всем компонентам газовой смеси (j). Величины γ , δ и N зависят от параметров разряда, в том числе, – и от $U_{КТП} = f(P_{\text{газа}}, P_{\text{металла}})$.

Для большинства лазерных смесей вклад 2-го и 3-го членов в сумму (1) не превышает 10 %, т.е., не менее 90 % электронного тока из катода приходится на долю ионов (преобладает ионно-электронная эмиссия) и, тогда уравнение (1) для смеси газ-металл в ОСРПК можно переписать в виде:

$$\gamma_i^{\text{газ}} \delta_i^{\text{газ}} N_i^{\text{газ}} + \gamma_i^{\text{металл}} \delta_i^{\text{металл}} N_i^{\text{металл}} \approx 1. \quad (2)$$

В стационарном РПК при $100 \text{ В} < U_{КТП} < 600 \text{ В}$ $\gamma_i^{\text{газ}}$ и $\gamma_i^{\text{металл}}$ не зависят от $U_{КТП}$, и равны $\gamma_i^{\text{газ}} (\text{He, Ne}) \approx 0,26 \dots 0,3$; а для металлов $\gamma_i^{\text{металл}} (\text{Cd, Hg и др.}) \leq 0,05$ [2, 3]. Доля ионов δ равна отношению частоты ухода ионов на стенки катода к суммарной частоте исчезновения ионов в РПК и, зависит как от параметров разряда, так и от геометрии РПК. Для РПК с цилиндрическим катодом длиной L и радиусом R , когда $L \gg R$, пренебрегая уходом ионов из ОС через торцы полости, и считая главными процессами ухода ионов газа – перезарядку на атомах металла с частотой $(\nu_i^{\text{ПЗ}})^{\text{газ}}$, и диффузию, для $\delta_i^{\text{газ}}$ получим:

$$\delta_i^{\text{газ}} = \frac{(\nu_i^{\text{д}})^{\text{газ}}}{(\nu_i^{\text{д}})^{\text{газ}} + (\nu_i^{\text{ПЗ}})^{\text{газ}}} = \left(1 + \frac{\overline{Q^{\text{ПЗ}}} V \cdot N_A e R^2}{5,76 \mu_i^{\text{газ}} k T_e} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где $(\nu_i^{\text{д}})^{\text{газ}} = D_a^{\text{газ}} / \Lambda^2$, $D_a^{\text{газ}} \approx \mu_i^{\text{газ}} k T_e / e$, $(\nu_i^{\text{ПЗ}})^{\text{газ}} = \overline{Q^{\text{ПЗ}}} V \cdot N_A$ – частоты разрушения ионов газа диффузией и перезарядкой. Очевидно, что практически все ионы металла M^+ , образовавшиеся в ОС РПК, попадут на катод, т.е. $\delta_i^{\text{металл}} \approx 1$. Тогда, с учетом перезарядки, полное число ионов металла M^+ , попадающих на катод из ОС в расчете на один эмитированный первичный электрон, будет:

$$N_i^{\text{металл}} = \langle N_i^{\text{металл}} \rangle + (1 - \delta_i^{\text{газ}}) N_i^{\text{газ}}, \quad (4)$$

где: $\langle N_i^{\text{металл}} \rangle$ и $N_i^{\text{газ}}$ – число ионов, образованных при столкновении атомов металла и газа с электронами, эмитированными с поверхности катода.

Таким образом, условие самостоятельности разряда с полым «холодным» катодом будет иметь окончательный вид:

$$\gamma_i^{газ} a_1 \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_i^{газ}} - 1 - \ln \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_i^{газ}} \right) \cdot \left(1 + \frac{\overline{Q^{ПЗ}} V \cdot N_{металл} e R^2}{5,76 \mu_i^{газ} k T_e} \right)^{-1} + \gamma_i^{металл} \times$$

$$\times \left[a_2 \cdot \frac{P_2}{P_1} \cdot \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_i^{металл}} - 1 - \ln \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_i^{металл}} \right) + a_1 \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_i^{газ}} - 1 - \ln \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_i^{газ}} \right) \cdot \left(1 + \frac{\overline{Q^{ПЗ}} V \cdot N_{металл} e R^2}{5,76 \mu_i^{газ} k T_e} \right)^{-1} \right] \approx 1. \quad (5)$$

Решение (5) дает возрастающую зависимость $U_{КТП} = f(P_{газ}, P_{металл})$, которая хорошо совпадает с экспериментальной.

Таким образом, с ростом концентрации паров металла $N(M)$ в РПК происходит повышение катодного падения U_K и потенциала $U_{КТП}$. Это объясняется тем, что при увеличении $N(M)$ происходит замена легких ионов буферного инертного газа на тяжелые ионы металла, коэффициент ионно-электронной эмиссии γ для которых ниже. При этом в смеси, по сравнению с буферным инертным газом без примеси металла, для поддержания необходимой при данном токе и данном составе газовой смеси эмиссии катода, поток ионов, ускоряемых в КТП и бомбардирующих «холодный» катод, КТП должен возрастать. То есть, для поддержания самостоятельного разряда при фиксированном токе, энергия ионов также должна возрасти, что и достигается повышением скорости ионов за счет повышения $U_{КТП}$. Это повышение в свою очередь вызывает как рост энергии первичных и быстрых электронов, попадающих из КТП в ОС и производящих ионизацию легкого буферного инертного газа, так и увеличение скорости накачки перезарядкой.

В то же время в положительном столбе продольного разряда распределение электронов по энергиям формируется со стороны «нулевой энергии», т.е. «снизу-вверх», при их ускорении в электрическом поле $E_z^{ПС}$, величина которого снижается с ростом концентрации паров металла, и в условиях потерь ими энергии в процессе столкновений электронов главным образом с атомами металла. Это и объясняет найденное нами соотношение $N(M)^{РПК} \gg N(M)^{ПС}$.

Отметим также слабый рост и последующее насыщение $U_{КТП}$ и U_K при увеличении тока во всем диапазоне давлений паров металла, что подтверждает аномальный характер РПК и что определяет его положительное динамическое сопротивление.

Аналогичные явления имеют место и в приэлектродном слое емкостного высокочастотного разряда «поперечного» типа, в его, т. наз., γ -режиме, где возникают сильные приэлектродные стационарные поля [4].

Список литературы:

1. Ryazanov, A. V. About Creation of Population Inversion in Mixture of Inert Noble Gas and Metal Vapor / A. V. Ryazanov, I. G. Ivanov, V. E. Privalov // Optical Memory and Neural Networks. – 2014. – Vol. 23, № 3. – P. 177–184.

2. Райзер, Ю. П. Физика газового разряда / Ю. П. Райзер. – Москва : Долгопрудный : ИНТЕЛЛЕКТ, 2009. – 736 с.

3. Протасов, Ю. С. Эмиссия электронов при взаимодействии частиц с поверхностью / Ю. С. Протасов, С. Н. Чувашев // Энциклопедия низкотемпературной плазмы / под ред. Фортова В. Е. – Москва : Наука, 2000. – Вводный том III, разд. VI.1.6. – С. 84–92.

4. Строкань, Г. П. Особенности формирования приэлектродного разряда в лазерах с поперечным ВЧ разрядом / Г. П. Строкань // Журнал технической физики. – 2008. – Т. 78, № 2. – С. 91–94.

Индикатор кровотока на основе лазерной указки

А. Н. Власов

Рязанский государственный радиотехнический университет
имен В. Ф. Уткина, Рязань, vlasov.a.n@rsreu.ru

Показано, что компактный индикатор кровотока на основе лазерной указки обладает высокой чувствительностью и относительно простой конструкцией, он содержит полупроводниковый лазер и фотоприёмник, объединённые в виде одного модуля. Получены экспериментальные результаты по индикации кровотока в пальце человека. Показано, что запись сигнала на самописце похожа на запись кардиограммы.

Ключевые слова: полупроводниковый лазер, фотоприёмник, кардиограмма.

The compact blood flow indicator based on a laser pointer has high sensitivity and a relatively simple design, it contains a semiconductor laser and a photodetector combined as a single module. Experimental results on the indication of blood flow in human fingers were obtained. It was shown that the recording of the signal on the recorder is similar to the recording of a cardiogram.

Keywords: semiconductor laser, photodetector, cardiogram.

В данной работе использован метод спекл-визуализации кровотока, основанный на анализе рассеянного лазерного излучения от исследуемых тканей живого организма. Общая схема подобного метода приведена в [1].

Индикатор кровотока на основе лазерной указки, рассматриваемый в данной работе, содержит полупроводниковый лазер от красной лазерной указки и фотоприёмник ФД-256К, объединённые в виде единого модуля, который при экспериментах устанавливается в непосредственной близости от исследуемых живых тканей. Сигнал с фотоприёмника после усиления подавался на дифференцирующую цепочку с частотой среза порядка 1 секунды и далее – на операционный усилитель постоянного тока. Сигнал с выхода этого усилителя пригоден для последующей обработки компьютерной программой. В рассматриваемом случае этот сигнал подавался на самописец и одновременно воздействовал на одно из плеч транзисторного мультивибратора, работающего при отсутствии возмущений на частоте порядка 10 кГц. Сигнал с мультивибратора после усиления подавался на акустическую систему.

В проведенных экспериментах лазерно-фотоприёмный модуль устанавливался на фаланге человеческого пальца, и на выходе операционного усилителя формировался сигнал с периодом биения сердца. По-

лученная запись была похожа на кардиограмму. При этом акустическая система издавала ритмический звук в такт биения сердца после окончания переходного процесса, продолжающегося несколько секунд после начала измерений.

Очевидно, что обработку получаемого сигнала целесообразно проводить после окончания переходного процесса, кроме того, в процессе измерений нужно было избегать механических воздействий на исследуемую живую ткань.

Полученные результаты могут оказаться полезными при обследовании пациентов для выявления патологий и индикации различных состояний.

Список литературы:

1. Динамика показателей лазерной спекл-визуализации кровотока в тканях при временной частичной локальной ишемии поджелудочной железы у голодных, сытых и алкоголизованных крыс / Д. А. Александров, П. А. Тимошина, В. В. Тучин, Г. Н. Маслякова, Т. В. Палатова, Т. С. Седов, Р. Р. Измайлов // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2016. – Т. 12, № 2. – С. 106–109.

Лабораторный стенд предпосевной лазерной активации семян пшеницы

*В. А. Алексеев¹, М. Р. Зарипов², С. И. Юран³, М. Н. Вершинин³,
А. А. Меркулова¹*

¹Ижевский государственный технический университет имени
М. Т. Калашникова, Ижевск

²Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск,
zaripov.istu@gmail.com,

³Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск

Рассмотрен лабораторный стенд предпосевной лазерной активации пшеницы, позволяющий проводить исследования на длинах волн 405, 450, 532, 635 и 980 нм, с мощностью лазерного излучения 5, 50, 100, 350 и 700 мВт и с длительностью воздействия 5 с, 30 с, 1 мин, 5 мин и 10 мин. Описаны состав и принцип действия предлагаемого стенда. Получены результаты экспериментов для длин волн 405 и 532 нм. Положительное влияние лазерной активации наблюдалось на длине волны 532 нм.

Ключевые слова: лазерная активация растений, пшеница, лабораторный стенд.

A laboratory stand for pre-sowing laser activation of wheat, that let to perform researches at wavelengths of 405, 450, 532, 635 and 980 nm, at laser radiation power of 5, 50, 100, 350 and 700 mW and at duration of exposure of 5 s, 30 s, 1 min, 5 min and 10 min, is considered. The composition and principle of operation of the proposed stand are described. Experimental results were obtained for wavelengths of 405 and 532 nm. The positive effect of laser activation was observed at a wavelength of 532 nm.

Keywords: laser activation of plants, wheat, laboratory stand.

За последние несколько десятков лет применение химических и минеральных удобрений в мире увеличилось более чем в 5 раз при ста-

бильных ежегодных темпах прироста. Тем не менее, после чрезмерного применения синтетических регуляторов роста продукты, полученные таким способом, не всегда полезны и безопасны для здоровья человека. Поэтому возникает актуальная задача поиска и применения безопасных и эффективных физических методов воздействия для усиления положительных свойств сельскохозяйственных культур. К таким методам относится и лазерное излучение. Лазерная активация способствует снижению заболеваемости растений, повышению урожайности, увеличению всхожести и энергии прорастания семян [1].

В основной доле известных к настоящему моменту исследований по воздействию лазерного излучения на сельскохозяйственные культуры преобладают лазерные источники, излучение которых соответствует красному и ближнему инфракрасному (ИК) спектральному диапазону на длинах волн λ : 630 [2], 632,8 [3, 4], 640 [5], 650 [6], 850 [6], 905 [5], 1300–3600 [7] нм. При этом, по их результатам было показано, что низкоинтенсивное лазерное излучение красного диапазона ($\lambda \sim 630 - 650$ нм) приводит к более быстрому росту и увеличению урожайности сельскохозяйственных культур.

В настоящей работе рассматривается разработанный авторами лабораторный стенд, позволяющий дополнительно к лазерному излучению красного и ближнего ИК диапазона проводить исследования лазерной активации семян различных культур излучением коротковолновой области видимого излучения.

Предложенный впервые авторами стенд [8] состоит из следующих основных узлов: лазер, формирующий излучение требуемой длины волны; блок регулировки длительности воздействия, обеспечивающий установку заданного времени воздействия излучения на семена; блок управления, который обеспечивает стабилизацию мощности лазера; первичную оптическую систему формирования пучка, создающую лазерное пятно требуемого диаметра; систему регулировки лазерной мощности, позволяющую плавно изменять мощность излучения, которая поступает на обрабатываемые семена, и конечную оптическую систему формирования пучка, состоящую из наклонного зеркала, которое направляет лазерное излучение на объект воздействия – зерна пшеницы.

В качестве источника лазерного излучения в составе стенда используются лазерные модули, построенные на основе полупроводниковых лазеров, излучающих на следующих длинах волн λ : 405, 450, 520, 635 и 980 нм. Для проведения экспериментов на заданной длине волны на платформу стенда устанавливается один из лазерных модулей с указанными длинами волн. При этом лазерный модуль, формирующий излучение, закрепляется на платформе, состоящей из пластины с отверстиями, координаты которых обеспечивают присоединение к ней разных лазерных источников при их замене, и подставки, необходимой для выравнивания по высоте оптической оси лазера с оптической осью

экспериментальной установки. В роли первичной оптической системы выступает объектив, входящий в состав лазерного модуля, перемещение которого вдоль оси пучка обеспечивает изменение поперечного размера пучка. Излучение из лазерного модуля попадает на систему регулировки лазерной мощности, которая представляет собой два оптически линейных поляризатора, один из которых закрепляется неподвижно, а второй размещен в специальном узле, обеспечивающем поворот второго поляризатора относительно первого. За счет вращения поляризаторов друг относительно друга происходит изменение мощности P в пределах от 5 мВт до 700 мВт. После системы регулировки лазерной мощности излучение отражается от наклонного зеркала вторичной оптической системы и поступает на отсек диаметром 30 мм, в котором размещаются семена. При помощи таймера, применяемого в качестве блока регулировки длительности воздействия, формируется излучение заданной длительности t от 5 с до 10 мин за счет отключения лазерного модуля через указанный промежуток времени.

Задачей эксперимента являлось исследование влияния лазерного излучения разных длин волн на скорость роста и длину ростков пшеницы. В качестве образца для эксперимента был выбран сорт пшеницы озимой «Омская-5». При этом поступающее на семена пшеницы лазерное излучение имело мощность со значениями $P = 5$ мВт, 50 мВт, 100 мВт, 350 мВт и 700 мВт и длительность воздействия со значениями $t = 5$ с, 30 с, 1 мин, 5 мин и 10 мин. К настоящему моменту авторами выполнены эксперименты по лазерной активации на длинах волн 405 и 520 нм. У лазера с излучением на длине волны 405 нм наблюдалось снижение скорости роста по сравнению с контрольной группой, отсюда можно сделать вывод, что данный лазер не оказывает стимулирующее воздействие на семена, а, вероятно, наоборот, замедляет процесс роста в результате лазерного воздействия.

При использовании лазера с излучением на длине волны 520 нм наблюдалось увеличение длины ростков, относительно контроля. В частности, лучшие результаты по сравнению с контролем были достигнуты при следующих режимах облучения: $P = 700$ мВт и $t = 5$ мин – увеличение средней длины ростков в 1,62 раза; $P = 100$ мВт и $t = 5$ с – увеличение средней длины ростков в 1,5 раза; $P = 50$ мВт и $t = 10$ мин – увеличение средней длины ростков в 1,5 раза.

Список литературы:

1. Кабашникова, Л. Ф. Исследование эффекта лазерного облучения семян на развитие и продуктивность некоторых сельскохозяйственных культур / Л. Ф. Кабашникова // Лазерные технологии в сельском хозяйстве : темат. сб. / Лазер. ассоц. ; ред.-сост. А. В. Будаговский, И. Б. Ковш. – Москва : Техносфера, 2008. – С. 62–77.
2. Букатый, В. И. Лазеры на службе урожая в Алтайском крае / В. И. Букатый, В. П. Карманчиков // Вестник алтайской науки. – 2000. – № 1. – С. 81–89.
3. Шульгина, О. А. Влияние лазерного облучения на биологические основы объектов растительного и животного происхождения / О. А. Шульгина, Г. И. Колес-

ников, В. И. Заостровных, Г. И. Зайцев // Вестник Кемеровского государственного университета. Сер.: Биологические, технические науки и науки о Земле. – 2017. – № 1. – С. 23–30.

4. Дударева, Л. В. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на процессы роста и развития в растительной ткани : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Дударева Л. В. – Иркутск, 2004. – 23 с.

5. Гаджимусиева, Н. Т. Эффект воздействия инфракрасного и лазерного излучения на всхожесть семян пшеницы / Н. Т. Гаджимусиева, Т. А. Асварова, А. С. Абдулаева // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11. – С. 1939–1943.

6. Стимулирующий эффект лазерного излучения на начальные этапы онтогенеза пшеницы озимой / А. Н. Батян, В. А. Кравченко, А. П. Ключев, В. В. Литвяк, И. М. Почицкая // Экологический вестник. – 2017. – № 2 (40). – С. 123–129.

7. Алтухов, И. В. Взаимодействие ИК-излучения различных длин волн на семена пшеницы / И. В. Алтухов, В. А. Федотов // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/1. – С. 156–159.

8. Меркулова, А. А. Лабораторный стенд для предпосевной обработки семян пшеницы / А. А. Меркулова, М. Н. Вершинин, М. Р. Зарипов, С. И. Юран // Новые направления развития приборостроения : материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых и студентов (Минск, 15–17 апреля 2020 г.) / пред. редкол. О. К. Гусев. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 225.

Опико-электронный стенд регистрации изменений оптической плотности жидких сред

В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран, Д. Н. Шульмин

Ижевский государственный технический университет имени
М. Т. Калашникова, Ижевск, *aleksevv@istu.ru*

Рассмотрен опико-электронный исследовательский комплекс, предназначенный для получения экспериментальных данных о различии оптической плотности сточной воды предприятия и оптической плотности возможного аварийного сброса загрязнений в сточные воды на выбранной длине волны зондирующего лазерного излучения. Приведен алгоритм работы стенда с расчетными выражениями оценки результатов исследований. В качестве загрязнений рассмотрены различные виды углеводородов. Эксперименты проводились для сточных вод машиностроительных производств.

Ключевые слова: опико-электронный комплекс, лазерное излучение, сточные воды, алгоритм регистрации.

The optoelectronic research complex is designed to obtain experimental data on the difference between the optical density of the wastewater of the enterprise and the optical density of an emergency possible discharge of contaminants into the wastewater at the selected wavelength of the probing laser radiation. The algorithm of the stand operation with the calculated expressions for evaluating the research results is presented. Various types of hydrocarbons were considered as contaminants. The experiments were carried out for wastewater from engineering industries.

Keywords: optical-electronic complex, laser radiation, wastewater, registration algorithm.

Сегодня актуальной задачей является создание автоматических комплексов определения аварийных загрязнений сточных вод промышленных предприятий. Основными требованиями к этим комплексам является:

- регистрация аварийных загрязнений в реальном масштабе времени;
- настройка комплекса на регистрацию предполагаемых априорно аварийных сбросов на предприятии (нефть, масло, антибиотики и т.п.);
- надежность работы оптико-электронного комплекса.

Одним из подходов создания таких автоматических комплексов является предварительная настройка на специализированных стендах для различных длин волн лазерного излучения для выбранных загрязнений.

Оптическая плотность сточных вод на предприятии для выбранных длин волн зондируемого излучения в течение рабочего дня будет плавно изменяться в связи с изменениями в техпроцессе производства, поэтому для фиксации аварийного залпового сброса загрязнений необходимо слежение за характером оптической плотности сточных вод предприятия.

Основным критерием аварийного сброса залпового характера является резкое изменение оптической плотности сточных вод. Это изменение возможно определить, если создать классическую схему измерений, содержащую два канала – измерительный и опорный.

В измерительном канале изменения происходят в реальном масштабе времени, а в опорном через определённый выбранный промежуток времени с усреднённым значением оптической плотности сточных вод.

Алгоритм определения изменения оптической плотности водной среды включает следующие операции.

1. Измерение значений сигналов фона на фотоприемниках измерительного и опорного каналов I_{f_izm} и I_{f_op} .

2. Измерение значений сигналов на каждом фотоприемнике при работе лазера I_{l_izm} и I_{l_op} .

3. Нахождение среднего значения и среднеквадратического отклонения измеренных сигналов в фоновом и измерительном режимах.

4. Нахождение уровней сигналов измерительного и опорного каналов за вычетом фоновых сигналов, то есть уровней сигналов при отсутствии излучения на фотоприемнике $|I_{l\_izm} - I_{f\_izm}|$ и $|I_{l\_op} - I_{f\_op}|$.

5. Определение коэффициента различия чувствительности фотоприемников

$$k = (I_{l\_op} - I_{f\_op}) / (I_{l\_izm} - I_{f\_izm}).$$

6. Измерение значений сигналов при исследуемой прозрачной среде I_{i_op} и при внесении в нее примесей I_{i_izm} .

7. Нахождение среднего значения и среднеквадратического отклонения этих измеренных значений.

8. Определение отношения коэффициентов пропускания опорного и измерительного каналов

$$\tau = (I_{i\_izm} - I_{f\_izm}) / (I_{i\_op} - I_{f\_op}) \cdot k.$$

Коэффициент τ – это отношение коэффициентов пропускания сред, помещенных в измерительный и опорный канал. В частности, данная

величина представляет собой коэффициент пропускания среды, помещенной в измерительный канал, в случае если в опорный канал ничего не помещено. При этом k – это коэффициент приведения, учитывающий неэквивалентность каналов: коэффициент деления светового потока делительным кубиком, возможное различие геометрии каналов при калибровке (и измерении), возможное различие чувствительности фотоприемников и каскадов усиления сигналов от фотоприемников и т.д.

9. Определение различия оптических плотностей сред, помещенных в опорный и измерительный каналы

$$\Omega = -\lg(\tau).$$

Значение Ω – это разность оптических плотностей сред, помещенных в измерительный и опорный канал. Если в опорный канал поместить кювету с дистиллированной водой, а в измерительный кювету – с водой, имеющей примеси (например, воду из-под крана), то величина Ω даст разность оптических плотностей чистой воды и воды с примесью. Меняя концентрацию примеси в кювете измерительного канала, можно фиксировать изменение оптической плотности и отслеживать зависимость оптической плотности воды от концентрации примеси.

Таким образом, на предварительном этапе проводится оценка значений в фоновом режиме без воздействия и с воздействием лазерного излучения на фотоприемники. При этом проводится вычисление среднего и среднеквадратичного отклонений, определяется коэффициент различной чувствительности фотоприемников в опорном и измерительном каналах. При пропускании сточных вод в определенное время проводится оценка коэффициентов пропускания опорного и измерительного каналов. В конечном итоге определяется различие оптических плотностей сред, помещенных в опорный и измерительный каналы.

Важным моментом подготовки стенда к работе является выбор длины волны лазерного излучения. Для этого предварительно анализируется спектр поглощения (пропускания) выбранного загрязнения. В процессе анализа выбирают несколько длин волн, при которых наблюдается максимальное поглощение (пропускание) лазерного излучения. Окончательный выбор длин волн происходит при сравнении выбранных длин волн с длинами волн поглощения сточных вод предприятия в безаварийном режиме работы.

При любом сгустке требуется проведение экспериментов на рассматриваемом стенде, где окончательно будут установлены длины волн лазерного излучения.

На разработанном стенде по указанному алгоритму были проведены исследования для ряда загрязняющих веществ – нефть, подсолнечное масло, раствор антибиотиков. В качестве прототипа рассматривались сточные воды машиностроительных производств в г. Ижевске.

Некоторые аспекты использования лазерного излучения для воздействия на биологические объекты растительного происхождения

М. Н. Вершинин¹, М. Р. Зарипов², С. И. Юран¹

¹Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск,
gogi000777@bk.ru,

²Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск,

Рассмотрен способ воздействия низкоинтенсивным когерентным излучением на различные биологические объекты растительного происхождения. Описаны основные преимущества использования лазерного излучения, свойства, которые приобретает биологический объект после проведения лазерного облучения. Рассмотрены основной и перспективный источники лазерного излучения, эффективность их применения на биологических объектах, а также некоторые факторы, которые имеют немаловажное значение при проведении процесса лазерной стимуляции.

Ключевые слова: лазерная стимуляция, газовый лазер, полупроводниковый лазер, биологический объект.

A method of exposure by low-intensity coherent radiation on various biological objects of plant origin is considered. The main advantages of using laser radiation, the properties that a biological object acquires after laser irradiation are described. The main and promising sources of laser radiation, the efficiency of their application for biological objects are considered. Some factors that are important during the laser stimulation process are also considered.

Keywords: laser stimulation, gas laser, semiconductor laser, biological object.

В настоящее время электромагнитное излучение, создаваемое лазерами, нашло широкое применение в различных областях человеческой деятельности: в медицине, физике, при обработке различных материалов, в различных биологических исследованиях. Использование низкоинтенсивного когерентного излучения видимого диапазона длин волн может существенно повлиять на функциональную активность биологических объектов растительного и животного происхождения. В данной работе рассматриваются различные применения лазера в сельском хозяйстве для воздействия на растительные биологические объекты.

Лазерная стимуляция биологических объектов сочетает в себе достаточное количество преимуществ, по сравнению с другими физическими и химическими способами повышения урожайности [1–4]. Так, исходя из выше сказанного, выделяется:

- 1) стабильное повышение урожайности;
- 2) повышение качества продукции;
- 3) повышение устойчивости к различным вредителям и болезням;
- 4) безвредность обработки для окружающей среды и человека.

В большинстве работ, посвященных лазерной стимуляции, в качестве источника лазерного излучения выступает гелий-неоновый лазер, как более распространенный вид газовых лазеров [2–4]. Так, при кратковременном воздействии лазерного излучения видимой области спек-

тра наблюдали повышение функциональной активности различных сельскохозяйственных культур. В результате такой обработки происходит стимуляция роста и развития растений, повышение устойчивости к вредителям и болезням, повышение продуктивности и качества растений.

В настоящее время, конкуренцию газовым лазерам составляют полупроводниковые лазеры. Данные лазеры имеют меньшие размеры и более приспособлены для использования в автоматизированных процессах, чем газовые лазеры. Использование полупроводниковых лазеров выглядит перспективным направлением в области лазерной стимуляции растительных клеток, но при этом имеется ряд особенностей, которые в ряде случаев ставят под сомнение использование полупроводникового лазера [5, 6]. Так, в одной из работ описывается использование полупроводникового лазера для увеличения срока хранения плодов яблони. Согласно проведенному исследованию выход кондиционных плодов к концу срока хранения удалось увеличить на 10–20 % [6]. Также существует ряд работ, где использование лазерного излучения дало существенно меньший результат, или результат практически не отличался от контрольного образца [5]. В то время, как при использовании гелий-неонового лазера для тех же технологических процессов удавалось достигать такого показателя эффективности, который был значительно больше, по сравнению с контрольным образцом [2, 3]. Данный эффект объясняется тем, что газовый лазер имеет более высокую степень когерентности, тем самым эффект стимуляции проявляется сильнее, чем у полупроводникового [2].

Помимо вида источника облучения, для воздействия на биологические объекты, в целях получения хорошего эффекта от лазерной стимуляции, надо учитывать такие исходные факторы, как: состояние объекта, плотность мощности и время облучения. Несмотря на этот факт, лазерная стимуляция широко применяется для стимуляции биологических объектов.

Исходя из выше сказанного, лазерное облучение биологических объектов оказывается достаточно перспективным направлением для исследования и использования. Чтобы добиться положительного эффекта от лазерной стимуляции, необходимо учитывать исходное состояние обрабатываемого объекта, плотность мощности и время облучения объекта. Соблюдая определенные условия, можно добиться положительного эффекта от лазерной стимуляции.

Список литературы:

1. Инюшин, В. М. Луч лазера и урожай / В. М. Инюшин, Г. У. Ильсов, Н. Н. Федорова. – Алма-Аты : Кайнар, 1981. – 186 с.
2. Будаговский, А. В. Совершенствование электротехнологических методов лазерной обработки растений и плодов : атореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Будаговский А. В. – Москва, 2006. – 28 с.

3. Букатый, В. И. Лазер и урожай / В. И. Букатый, В. П. Карманчиков. – Барнаул : Изд-во Алт. Гос. ун-та, 1999. – 176 с.
4. Журба, П. С. Лазерная технология промышленного возделывания сельскохозяйственных культур / П. С. Журба, Е. П. Журба // Фотоника. – 2010. – № 3. – С. 34–38.
5. Долговых, О. Г. Влияние лазерной обработки на семена яровой пшеницы Ирень / О. Г. Долговых, В. В. Красильников, Р. Р. Газтдинов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 5. – С. 15–18.
6. Аксеновский, А. В. Применение лазерной обработки плодов яблони в процессе уборки / А. В. Аксеновский // Современные проблемы технологии производства, хранения, переработки и экспертизы качества сельскохозяйственной продукции : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (26–28 февраля 2007 г.). Т. 2. – Мичуринск : Мичуринский гос. аграр. ун-т, 2007. – С. 207–210.

Применение отражающего интерферометра для анализа поглощающих газов

Н. Д. Голдина

Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, *ngold@laser.nsc.ru*

На основании численного анализа спектральной зависимости коэффициента отражения многолучевых интерферометров сделан вывод о преимуществе металл-диэлектрического отражающего интерферометра, имеющего узкий максимум отражения для избранной длины волны. Показано, что поглощающая среда, размещенная между зеркалами интерферометра, оказывает сильное влияние на спектр отражения.

Ключевые слова: отраженный свет, многолучевой интерферометр, поглощающий газ.

Based on the numerical analysis of the spectral dependence of the reflection coefficient of multibeam interferometers, it was included that the metal-dielectric reflective interferometer has a narrow maximum reflection for the selected wavelength. The absorbing medium placed between the interferometer mirrors has a strong influence on the reflection spectrum.

Keywords: reflected light, multibeam interferometer, absorbing gas.

Для изучения поглощения света в газах используются интерференционные спектральные приборы высокого разрешения. Появление эффективных многолучевых металл-диэлектрических интерферометров в отраженном свете связано с открытием метода селекции мод в резонаторе He-Ne лазера [1]. Двухзеркальный многолучевой отражающий интерферометр по сравнению с интерферометром Фабри-Перо (ИФП) в проходящем свете обладает новыми возможностями. Комбинация тонкой металлической пленки с диэлектрическими слоями позволяет синтезировать симметричную интерференционную картину с узкими полосами отражения на темном фоне подобную картине в интерферометре ИФП с узкими полосами пропускания. Управление асимметрией интерференционных полос дает возможность получения высокого контраста для близлежащих спектральных линий.

Отражающий интерферометр (ОИ) состоит из двух зеркал: асимметричного переднего зеркала, в состав которого входит тонкая металлическая пленка, и высокоотражающего заднего зеркала. Между ними находится воздушная прослойка, в которую может быть введен исследуемый газ для определения коэффициента поглощения и показателя преломления от длины волны света. Интерференционные методы полезны для исследования дисперсии вблизи полос поглощения. Экспериментальные исследования по применению таких отражающих интерферометров представляют большой интерес.

В линейной оптике интенсивность света в поглощающей среде убывает согласно закону Бугера: $I = I_0 e^{-ad}$, где k – коэффициент поглощения, зависящий от длины волны. Поглощательная способность газов зависит от величины мнимой части комплексного показателя преломления $n-ik$. Проведен численный расчет спектральной зависимости коэффициента отражения для интерферометров ОИ и ИФП. Показано, что асимметричная интерференционная картина коэффициента отражения ОИ обладает большей чувствительностью к изменениям спектрального поглощения анализируемого газа по сравнению с ИФП [2].

Список литературы:

1. Троицкий, Ю. В. О выделении одного типа колебаний в He-Ne лазере с селективным отражателем / Ю. В. Троицкий, Н. Д. Голдина // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1968. – Т. 7. – С. 49–52.
2. Голдина, Н. Д. Тонкослойные покрытия для лазерной оптики / Н. Д. Голдина. – Новосибирск : Академиздат, 2018. – 132 с.

Влияние турбулентности на распространение оптических сигналов с длиной волны 1550 нм

Б. И. Огнев¹, С. А. Складчиков², Е. Г. Чуляева¹

¹Рязанский радиотехнический государственный университет
имени В. Ф. Уткина, Рязань

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва
elenachuljaeva@yandex.ru

Исследовано влияние турбулентности атмосферы на траекторию распространения лазерного пучка путем моделирования в программе ANSYS. Показано, что в случае мелкомасштабной турбулентности пучок лазерного излучения разбивается на нити и на приемную площадку поступает несколько источников излучения. В целях борьбы с турбулентными явлениями в атмосфере разработчики приемо-передающих модулей применяют несколько источников излучения на различных длинах волн. Кроме того, для работы приемо-передающего лазерного модуля используются две длины волны и соответственно реализовано деление на служебный канал (СЛК), который выступает в качестве сервисного и отвечает за точное наведение и передачу служебных данных о состоянии удалённого терминала, и измерительный информационный канал (ИЗК), который используется для прохождения высокочастотных сигналов. Моделирование проведено только для основного канала.

Ключевые слова: турбулентность, лазерное излучение, приемо-передающий модуль, моделирование.

In the present research author examined the effects of atmospheric turbulence on the propagation path of laser beam by simulation study in ANSIS program. It is shown that in case of a small scale turbulence laser beam splits into hairlines and several sources of radiation reaches receiver. To cope with the turbulent effects in atmosphere, transceiver modules developers use multiple sources of radiation at different wavelengths. In addition, two wavelengths are used for transceiver performance and the division into a service channel and data-measurement channel are implemented accordingly. Service channel is responsible for the precise alignment and for the transmission of service data on the remote terminal state. Data-measurement channel is used for high frequency signal transmission. The simulation was performed only for the main channel.

Keywords: turbulence, laser radiation, transceiver, simulation.

Вопросам распространения оптического излучения в среде уделяется большое внимание. Влияние атмосферы рассматривается в связи с появлением турбулентности вблизи стенок либо приемных площадок, например, в работах [1–3]. Турбулентное перемешивание приводит к флуктуациям коэффициента преломления. Это в свою очередь приводит к изменениям направления распространения луча и смещению геометрического центра относительно центра наблюдения. Кроме того, происходит расщепление оптического пучка на отдельные «нити». Происходит перераспределение оптической мощности в сечении, при этом общая мощность остается неизменной.

Как показано в работе [4] потери на рассеяние в атмосфере из-за турбулентности незначительны, однако траектория луча претерпевает изменения, при этом повышается расходимость пучка и возникает неоднородность по сечению

Таким образом, крупномасштабная турбулентность вызывает отклонения пучка в целом, мелкомасштабная турбулентность приводит к флуктуациям интенсивности внутри пучка излучения.

Целью настоящей работы является моделирование процесса турбулентности вблизи приемной линзы приемо-передающего лазерного модуля (ППМ), входящего в систему атмосферной линии связи, и выявление изменения коэффициента преломления вблизи приемной площадки.

Приемо-передающий лазерный модуль имеет приемо-передающую оптическую систему, встроенную систему автоматической корректировки оси диаграммы направленности (ОДН), оптический усилитель (ОУ). Характеристики ППМ-модуля:

- расходимость передатчика информационного канала – 0,15 мрад;
- моноапертурная оптическая система;
- оптическая система фокусирующего типа;
- базовая длина волны информационного канала – 1550 нм;
- длина волны служебного канала – 785 нм;
- числовая апертура объектива – 0,22;
- угол зрения приемника информационного канала – 0,3 мрад;
- диаметр приемо-передающей апертуры – 90 мм;
- качество объектива близко к дифракционному.

Для работы приемо-передающего лазерного модуля используется две длины волны и соответственно реализовано деление на служебный канал (СЛК), который выступает в качестве сервисного и отвечает за точное наведение и передачу служебных данных о состоянии удалённого терминала и измерительный информационный канал (ИЗК), который используется для прохождения высокочастотных сигналов.

Служебный канал (СЛК) работает на длине волны 785 нм. Предназначен для организации работы системы автоматической подстройки осей диаграмм направленности и точного позиционирования терминалов установки друг относительно друга на различных дистанциях. Низкоскоростной канал используется для передачи только служебной информации, которая необходима для работы алгоритмов автоматической подстройки мощности передатчиков на удаленном терминале.

В зависимости от дистанции, на которой используется установка, алгоритмы обеспечивают управление сигналом от удаленного маяка, для подстройки ОДН и пространственного совмещения оптических осей СЛК и ИЗК, передачи информации о состоянии работы ключевых функциональных элементов терминала, параметров, мощности на приеме/передаче, положение штоков приводов системы автоматической настройки ОДН и т.д.

Служебный канал (СЛК) имеет более широкие диаграммы направленности для того чтобы упростить процесс наведения. Актуальность использования для служебного канала длины волны 785 нм обусловлено наличием доступных и относительно не дорогих ключевых компонентов: приёмников, передатчиков, высокоскоростных матриц.

Измерительный (информационный) канал (ИЗК) работает на длине волны 1550 нм. Применение такой длины волны продиктовано наиболее низкими потерями в атмосфере.

Моделирование проводится в пакете ANSYS [5]. В работе представлены распределения поля скоростей и плотностей газа (воздуха) при температуре 300 град К.

Граничные условия: на выходе линзы-следующие- давление равно 0, на входе – скорость равна 0.1 м/с. При расчете используем 5 значений из 50 итераций, т.е. с 1 по 5 итерацию при скорости потока воздуха равном 0.1 м/с, с 6 по 50 скорость потока примем равной нулю. Далее с 51 по 55 скорость потока примем равной 0.1 м/с, с 56 по 100 скорость потока равна 0 и т.д. На стенке условие означает наличие сдвига (перетаскивания) масс воздуха и отсутствие нормального компонента скорости на границе, как при отсутствии сквозного потока.

Список литературы:

1. Волков, К. Н. Аэрооптические эффекты в турбулентном потоке и их моделирование / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов // Журнал технической физики. – 2008. – Т. 78, № 2. – С. 77.
2. Фрик, П. Г. Турбулентность: модели и подходы : курс лекций / П. Г. Фрик. – Пермь : Перм. гос. техн. ун-т, 1999.

3. Привалов, В. Е. Влияние шумов и вибраций оборудования на работу лазерного измерителя концентрации частиц и оптимизации его параметров / В. Е. Привалов, А. В. Рыбалко, П. В. Чартий, В. Г. Шеманин // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77, № 3. – С. 62–65.

4. Зуев, В. Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере / В. Е. Зуев. – Москва : Сов. радио, 1970. – 496 с.

5. URL: <https://www.ansys.com/products/platform/ansys-cloud/free-trial>

Оценка состояния системы коагуляции методом корреляции цифровых спекл-изображений

Ю. Д. Люшневская, Ф. А. Губарев, Е. Л. Жуков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, juliasytnik55@yandex.ru

Рассмотрен экспресс прибор для определения времени свертываемости крови, позволяющий анализировать как плазму крови, так и нативную кровь бесконтактным оптическим методом.

Ключевые слова: спекл-изображение, когерентное излучение, свертываемость крови, протромбиновое время, нативная кровь.

The device for the blood clotting time express determination allows to analyze blood plasma and native blood by a non-contact optical method.

Keywords: speckle pattern, coherent radiation, blood clotting, prothrombin time, native blood.

Контроль времени свертываемости крови в течение оперативных вмешательств в организм человека и в послеоперационном периоде позволит избежать тяжелых последствий, таких как тромбообразование или сильное кровотечение. В работе предлагается применение метода корреляции цифровых спекл-изображений для экспресс-анализа свертываемости крови. Предлагаемый метод обладает рядом преимуществ перед существующими коагулометрами: позволяет анализировать плазму и цельную кровь минимального объема бесконтактным оптическим методом. В работе показана применимость метода для проведения анализа, проведена апробация разработанного лабораторного образца. Точность получаемых результатов составляет 97 %.

Блок регистрации излучения комплекса на основе мультицветной анемометрии по изображениям частиц

Ш. Ш. Усманова, Н. М. Скорнякова

Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва, ShirinUsmanova25@mail.ru, nmskorn@mail.ru

Представлено продолжение разработки оптико-электронного комплекса, позволяющего проводить измерения методом мультицветной анемометрии по изобра-

жению частиц. В качестве приемника излучения комплекса было рассмотрено несколько вариантов видеокамер. Смоделирована система нормировки интенсивности излучения лазерных плоскостей.

Ключевые слова: мультицветная анемометрия по изображению частиц, оптико-электронный комплекс.

This work is devoted to the further development of the optical electronic complex for MPIV measurements. Several variants of video cameras are considered as the radiation receiver. The system for normalization the radiation intensity of laser planes is modeled.

Keywords: multi colored particle image velocimetry technique, optical electronic complex.

Принцип работы метода мультицветной анемометрии по изображению частиц (МАИЧ) основан на регистрации положения частиц-трассеров в рассеянном свете, которые искусственно вводятся, через небольшие интервалы времени. Засеивающие частицы должны двигаться со скоростью потока и не вносить в него возмущения. Для выполнения этих условий необходимо, чтобы частицы были малы, а их плотность близка к плотности потока. В методе МАИЧ в качестве зондирующего излучения используются красная, зеленая и синяя параллельные лазерные плоскости, расположенные на небольшом расстоянии друг от друга. Лазерные модули подбираются таким образом, чтобы при разделении экспериментального изображения, по трём цветам, сигнал от каждой плоскости присутствовал только в одном из трех цветовых каналов. Регистрация положения частиц в потоке осуществляется с помощью цветной цифровой фотокамеры.

Полученные изображения будут иметь три цветовые RGB компоненты. Применяя кросскорреляционную обработку к каждой паре изображений по каждому цветовому каналу в программе Pivview, возможно восстановить векторное поле скоростей исследуемого потока в трех различных плоскостях. На основе полученных результатов обработки, можно определить распределение вертикальной и горизонтальной составляющих векторов скорости частиц по заданным сечениям потока. Затем, выполнив построение в пространстве распределений вертикальной и горизонтальной компонент скорости для множества сечений потока в каналах красного, зеленого и синего цветов и проведя аппроксимацию полученных плоскостей, появляется возможность визуализировать трёхмерное поле скоростей исследуемого потока [1].

Основными элементами комплекса, позволяющего проводить МАИЧ измерения, являются блок формирования зондирующего излучения, система регистрации частиц-трассеров в рассеянном свете и компьютер со специализированным программным обеспечением. Предполагается, что блок формирования зондирующего излучения будет состоять из трёх полупроводниковых лазеров различных длин волн и оптической системы формирования лазерных плоскостей, объединенных в один корпус. Система регистрации излучения состоит из объектива и фотокамеры с цветной КМОП матрицей [2].

В свою очередь, оптическая система формирования зондирующего излучения должна обеспечить высокую плотность мощности, однородность энергетических характеристик и малую толщину лазерной плоскости в области измерений. Необходимым требованием к компонентной базе оптико-электронного комплекса является разделение регистрируемого рассеянного излучения красного, зеленого и синего цвета по соответствующим цветовым приемным каналам КМОП матрицы.

В качестве приемника излучения оптико-электронного комплекса было рассмотрено несколько видеокамер.

В качестве первого варианта была рассмотрена цветная высокоскоростная видеокамера Optronis CamRecord CR3000x2/C. Данная модель имеет промышленный корпус и встроенную память объемом 16 ГБ. Также камера оснащена высокочувствительной CMOS матрицей, обеспечивающей разрешение VGA на скоростях до 4200 кадров в секунду [3].

В качестве второго варианта была рассмотрена видеокамера Kaya JetCam19-KIT. Kaya JetCam – недорогая высокоскоростная камера с глобальным затвором и интерфейсами Fiber или CoaXPress, которая поддерживает видео в формате Full HD (1920 × 1080) со скоростью до 2360 кадров в секунду. Камера оснащена CMOS сенсором (LUX19HS) с размером пикселя 10 мкм, а также прямым управлением объективом без необходимости использования внешних устройств [3].

В качестве третьего варианта была рассмотрена научная камера с охлаждаемым сенсором VP-71MC-M/C 4. Высокопроизводительная цифровая камера Vieworks с термоэлектрическим охлаждением матрицы (Пельтье) поддерживает температуру матрицы на 20 °C ниже окружающей. За счет этого обеспечивается стабилизация работы и возможность экспонирования изображения в течение длительного периода времени для увеличения чувствительности камеры при низком уровне шумов. Конструкция корпуса специально продумана для предотвращения замерзания, вызванного разницей температур между внешней и внутренними частями [3].

В качестве четвертого варианта была рассмотрена научная камера VNP-200MX-C30 с термоэлектрическим охлаждением и технологией Pixel Shift. Термоэлектрическое охлаждение поддерживает температуру матрицы на 20 °C ниже окружающей, что приводит к значительному снижению шумов. Технология Pixel Shift основана на использовании прецизионного пьезоэлектрического координатного модуля перемещения, который позволяет регистрировать изображения с разрешением до 260 Мп [3].

В качестве пятого варианта была рассмотрена камера Nikon 1 J5, с помощью которой уже ранее была проведена апробация метода МАИЧ для исследования структуры закрученного потока, образованного химической мешалкой [4].

Для корректного разделения регистрируемого рассеянного излучения по цветовым каналам приёмника важно учесть спектральную чувствительность матрицы. Поскольку у большинства из существующих на рынке цифровых камер, в частности у рассмотренных выше, она неравномерна.

Для этого целесообразно разработать систему нормирования интенсивностей лазерных модулей, чтобы с её помощью можно было адаптировать блок формирования лазерных плоскостей под выбранный приёмник. Один из вариантов реализации подобной системы включает в себя четыре линейных поляризатора, причём предполагается, что подвижны будут только три поляризатора. Четвертый поляризатор необходим для того, чтобы состояние поляризации излучения в каждой лазерной плоскости было одинаковым.

В процессе выполнения работы проведено моделирование блока регистрации излучения комплекса для проведения МАИЧ измерений. Для этого в качестве приемника было рассмотрено несколько вариантов видеокамер. Отклик в трёх цветовых каналах оказался различным для всех рассмотренных видеокамер, а для корректной работы метода необходимо, чтобы отклик на рассеянное излучение в каждом цветовом канале был одинаков. Поэтому было принято решение разработать систему нормирования интенсивности излучения в лазерных плоскостях.

Список литературы:

1. Баюн, С. В. Исследование тепловых потоков методом мультицветной анемометрии по изображению частиц / С. В. Баюн, Н. М. Скорнякова // Радиоэлектроника, электроника и энергетика: Двадцать вторая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов : тез. докл. – Москва : Издат. дом МЭИ, 2016. – С. 123.
2. Усманова, Ш. Ш. Разработка лазерного блока для мультицветной анемометрии по изображению частиц / Ш. Ш. Усманова., Н. М. Скорнякова // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : тез. докл. XXV Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (г. Москва, 14–15 марта 2019 г.). – Москва : Центр полиграфических услуг «Радуга», 2019. – С. 124.
3. Camera IQ : интернет-магазин. – URL: <https://www.cameraiq.ru> (дата обращения: 10.05.2020).
4. Usmanova, S. S. The study of vortexes based on the multi colored particle image velocimetry technique / S. S. Usmanova, N. M. Skornyakova, A. V. Anikeev, O. A. Ev-tikhieva // J. Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1421, conference 1. – P. 012004.

Моделирование пространственных характеристик активных сред импульсно-периодических лазеров на парах металлов

Г. Д. Чеботарев

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону,
gdchebotarev@sfedu.ru

Проведено численное моделирование физических процессов в плазме рекомбинационного лазера на парах стронция. Найдены закономерности формирования пространственных характеристик активной среды.

Ключевые слова: рекомбинационный лазер на парах стронция, численное моделирование.

Numerical modeling of physical processes in the plasma of the strontium vapor recombination laser was carried out. The patterns of the formation of the spatial characteristics of the active medium were found.

Keywords: strontium vapor recombination laser, numerical modeling.

Активной средой лазеров на парах металлов (ЛПМ) является плазма энергонапряженного импульсно-периодического разряда. В таких разрядах формируется пространственно-неоднородная плазма, что приводит к ограничению роста выходных характеристик ЛПМ [1]. В данной работе при использовании самосогласованной математической модели ионного рекомбинационного лазера на парах стронция ($\lambda = 430,5$ нм SrII) [2] был численно исследован процесс формирования пространственных характеристик плазмы с целью поиска закономерностей в поведении характеристик активных сред импульсно-периодических ЛПМ при различных условиях их возбуждения.

Результаты моделирования показали, что пространственные характеристики активной среды, а также выходные параметры лазера на парах стронция, формируются за несколько десятков импульсов возбуждения. Происходящее в последовательности импульсов накопление тепла приводит к перегреву газоразрядной плазмы в приосевой области, что из-за термодиффузии обуславливает неоднородный радиальный профиль концентрации паров металла с минимумом на оси. Снижение предимпульсной концентрации паров на оси разряда обуславливает уменьшение концентрации двукратных ионов стронция, образуемых при ионизации за время импульса тока, что приводит к падению скорости рекомбинационной накачки в послесвечении и снижению интенсивности лазерной генерации. В итоге сформированный радиальный профиль интенсивности лазерного излучения имеет провал на оси. Согласно полученным результатам моделирования степень пространственной неоднородности плазмы увеличивается с ростом внутреннего диаметра активного элемента, давления активной среды и частоты повторения импульсов.

Список литературы:

1. Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция / А. Н. Солдатов, Е. Л. Латуш, Г. Д. Чеботарев, Н. А. Юдин, А. В. Васильева, Ю. П. Полунин, О. О. Пруцаков ; под ред. А. Н. Солдатова, Е. Л. Латуша. – Томск : ТМЛ-Пресс, 2012. – 526 с.
2. Chebotarev, G. D. Mathematical modeling of ion recombination strontium vapour laser / G. D. Chebotarev, O. O. Prutsakov, E. L. Latush // Proc. SPIE. – 2004. – Vol. 5483. – P. 83–103.

Оптико-электронный контроль содержания химических элементов в сточных водах

В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран, Д. Н. Шульмин, Д. Н. Буранов

Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова, Ижевск, aleksevv@istu.ru

Отмечено, что оптико-электронный контроль содержания химических элементов в сточных водах позволяет проводить мониторинг в режиме реального времени, что значительно уменьшает время реакции в случае аварийных сбросов. Предложен

комплекс оптико-электронного мониторинга, который отмечается не только работой в режиме реального времени, но и целевой ориентацией на конкретное вещество. Представлены ключевые элементы комплекса оптико-электронного мониторинга и результаты экспериментальных испытаний, проведенных на трех длинах волн видимого диапазона излучения.

Ключевые слова: аварийный сброс, оптическая плотность, сточные воды.

Optoelectronic monitoring of chemical elements in wastewater allows real-time monitoring, which significantly reduces the reaction time in case of emergency discharges. The proposed optoelectronic monitoring system, in addition to working in real time, also differs in its target orientation to a specific substance. The paper presents the key elements of the optical-electronic monitoring system and the results of experimental tests conducted at three wavelengths of the visible radiation range.

Keywords: emergency discharge, optical density, wastewater.

Загрязняющие вещества, попадая в природные водоемы, приводят к качественным изменениям воды. Существующие методы анализа сточных вод, как правило, требуют применения сложной аппаратуры, квалифицированного персонала, что не всегда возможно в производственных условиях. В большинстве случаев применение точных методик требуется значительного времени для проведения анализа, что не позволяет в режиме реального времени устранять попадание аварийного сброса в систему фильтрации. Особое значение имеют залповые сбросы вредных веществ в сточные воды промышленных предприятий в случае аварии [1]. Поэтому возникает научная задача достоверного оперативного анализа загрязнений в аварийных сбросах сточных вод с целью дальнейшего принятия решений о проведении тех или иных защитных мероприятий.

В связи с развитием современных средств оптоэлектроники и лазерных технологий, наличием корреляционных связей между параметрами, характеризующими вид и содержание загрязнений, актуальным является применение оптических методов контроля свойств жидких сред для автоматизации обнаружения и устранения аварийных сбросов в реальном масштабе времени с дистанционной передачей результатов [2].

Предлагаемый метод контроля содержания химических элементов в сточных водах отличается целевой ориентацией на конкретное вещество. При данном методе используется комплекс, настроенный на конкретное вещество через определение длины волны лазерного зондирующего излучения.

В отличие от всех известных зарубежных и российских разработок, комплекс позволяет проводить измерения в режиме реального времени, что важно для быстрой реакции на обнаружение отклонения состава жидкости от нормального [3].

Исходными элементами для реализации оптико-электронного контроля являются устройство управления, устройство преобразования и борьбы с помехами, микроконтроллер, компьютер, источник и приемник излучения, исполнительное устройство и резервуар с исследуемой жидкостью.

Когда комплекс мониторинга включен, микроконтроллер в соответствии с заданной программой настраивает управляющее устройство. Далее с управляющего устройства подается сигнал, поступающий на устройство преобразования борьбы с помехами, устанавливается выходной ток излучения [4]. Туда же поступает тактовый сигнал, который модулирует выходной ток излучения. В результате импульсы на излучателе формируются с определенной частотой и стабильной амплитудой тока.

Модулирующее излучение, пройдя через жидкую среду резервуара с исследуемой жидкостью, поступает на приемник излучения. Сигнал с фотоприемника поступает на устройство преобразования и борьбы с помехами, коэффициент преобразования которого изменяется устройством управления. С выхода устройства преобразования и борьбы с помехами преобразованный сигнал поступает в микроконтроллер. Оцифрованный сигнал служит для управления коэффициентом преобразования через устройство управления. Процесс регулировки продолжается до тех пор, пока сигнал не установится в номинальное значение. Оцифрованный сигнал передается в персональный компьютер, после обработки которого осуществляется мониторинг и автоматическое управление исполнительным устройством [5].

Для проведения эксперимента была подготовлена дистиллированная вода с разными концентрациями загрязняющих веществ. Анализ спектров поглощения воды показал, что в качестве источника излучения оптимальными являются излучатели в видимом диапазоне длин волн 0,38–0,78 мкм, у которых поглощение излучения в водной среде минимально.

В эксперименте входным сигналом является степень загрязнения водной среды антибиотиком, выходным сигналом является оптическая плотность водной среды. В статическом режиме и нормальных условиях эксплуатации исходным (начальным) является отсутствие загрязнения водной среды (содержание антибиотика 0 %) и соответствующее значение оптической плотности. Входной сигнал изменяется путем введения загрязнения на заданную относительную величину от оригинала (в процентах), и определяется относительное изменение в процентах выходного сигнала от оригинала, полученного в отсутствие загрязнения [6].

В ходе выполнения эксперимента по определению зависимости относительного изменения выходного сигнала источника излучения от изменения входного сигнала фоточувствительного элемента была подготовлена вода с концентрацией загрязняющего вещества 0, 5, 10, 15 %. Исходя из анализа спектра поглощения воды установлено, что достаточно универсальными и подходящими для оптико-электронного мониторинга являются лазерные источники излучения в видимом диапазоне, поэтому нами выбраны излучатели с длинами волн 445 нм, 532 нм и 639 нм.

Для перехода к количественной оценке оптической плотности, полученной в эксперименте, для каждой концентрации приведено отношение оптической плотности пустого оптического тракта к оптической плотности жидкости, содержащей различные концентрации антибиотика.

Проведя анализ через количественную оценку, была выявлена четко прослеживаемая тенденция к снижению оптической плотности с увеличением концентрации антибиотика. Так, для длины волны 639 нм значение оптической плотности постепенно снизилось с 4,86 до 2,87. На длине волны 532 нм с 7,22 до 1,94. На длине волны 445 нм с 7,1 до 2,56. Увеличение концентрации загрязнения антибиотика более 15 % в эксперименте не целесообразно, так как однозначные результаты можно получить уже на концентрациях до 10 %.

Созданная алгоритмическая база оптико-электронного мониторинга позволяет решать следующие задачи, обеспечивая обнаружение аварийного сброса, выведение загрязнения из резервуара, в котором оно обнаружено, и принятия решения о дальнейшем мониторинге жидкости:

- распознавание типа загрязнения для принятия решения о дальнейшем мониторинге жидкости;
- отслеживание движения сгустка загрязнения по каналам;
- прогнозирование появления новых сгустков загрязнения в этой «чрезвычайной ситуации».

Созданные методика тестирования жидких оптических сред и методика формирования базы данных кривых изменения оптической плотности жидких сред универсальны, открыты для пополнения, могут использоваться в учебном процессе, научных исследованиях, в практике анализа и устранения загрязнений сточных вод.

Обработка результатов планируемых экспериментов позволяет оценить эффективность разработанной технологии в соответствии с действующей нормативно-технической документацией и повысить достоверность контроля содержания отдельных видов загрязнений в сточных водах, конкретизировать требования к нормативам предельно допустимых сбросов, предложить научно обоснованную периодичность анализа сточных вод предприятий, разработать техническую и методическую документацию практического применения оптических методов анализа жидких сред.

Список литературы:

1. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды / В. И. Козинцев, В. М. Орлов, М. Л. Белов, В. А. Городничев, Б. В. Стрелков ; под ред. В. Н. Рождествина. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 527 с.

2. Алексеев, В. А. Оптоэлектронная система предупреждения аварийных загрязнений сточных вод / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран, Д. Н. Шульмин // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте : тр. XXV Междунар. конф. (г. Новороссийск, 4–9 сентября 2017 г.). – Новороссийск : Гос. морской ун-т им. адмирала Ф. Ф. Ушакова, 2017. – С. 128–129.

3. Алексеев, В. А. Разработка теоретических и методических основ управления аварийными сбросами в технологическом процессе очистки сточных вод в контексте социо-эколого-экономической системы крупного предприятия / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Приблостроение-2014 : материалы 7 Междунар.

науч.-техн. конф. (г. Минск, Республика Беларусь 19–21 ноября 2014 г.). – Минск : Бел. нац. техн. ун-т, 2014. – С. 20–22.

4. Алексеев, В. А. Контроль загрязнений сточных вод и промышленных стоков с использованием двухчастотного лазерного зондирования / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Безопасность в техносфере. – 2017. – № 1. – С. 3–9.

5. Пат. 153362 Российская Федерация, МПК G01N15/06. Устройство устранения аварийного выброса / Алексеев В. А., Девятов Н. А., Юран С. И., Усольцев В. П. – № 2014141487 ; заявл. от 14.10.2014 ; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 20.

6. Алексеев В. А. Использование интерполяционного контроля сбросов техногенного и антропогенного происхождения в пределах урбанизированных территорий / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран, Н. А. Девятов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 4. – С. 80–91. – DOI 10.15593/2409-5125/2017.04.06.

Метод лазерной корреляционной спектроскопии для определения размеров агрегатов альбумин-золотые наночастицы

О. Ю. Велюхова, Э. К. Непомнящая, Е. Н. Величко

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, helga-vel@yandex.ru

Описано применение метода лазерной корреляционной спектроскопии к исследованиям связующих свойств белка альбумина в растворе. Предложены теория и описание экспериментальной установки лазерного корреляционного спектрометра. Показано, что проводимые экспериментальные исследования позволяют выявить наличие агрегации белка альбумина с золотыми наночастицами и определить концентрации, при которых образуются агрегаты максимального размера.

Ключевые слова: динамическое рассеяние света, автокорреляционная функция, альбумин, агрегация.

The paper describes the application of the method of laser correlation spectroscopy to the study of the binding properties of albumin protein in solutions. A theory and description of the experimental setup for a laser correlation spectrometer are proposed. Experimental studies make it possible to reveal the presence of aggregation of the albumin protein with gold nanoparticles and to determine the concentrations at which aggregates of the maximum size are formed.

Keywords: dynamic light scattering, autocorrelation function, albumin, aggregation.

В данной работе проводится исследование процессов взаимодействия золотых наночастиц белками крови, в частности с белком альбумином, с помощью метода лазерной корреляционной спектроскопии [1]. Выбор альбумина в качестве исследуемого белка обусловлен его высокой связывающей способностью. Этот белок наиболее распространён в виде сывороточного альбумина и содержится в сыворотке крови человека и других животных [2]. Альбумин имеет четыре важных свойства: во-первых, он обеспечивает осмотическое давление крови, во-вторых, обладает буферными свойствами, то есть регулируют pH крови, в-третьих, оказывает влияние на вязкость крови, в-четвёртых, служит переносчиком гормонов, веществ и лекарственных препаратов. Для альбумина свойственны гидрофильные и липофильные связи. Таким образом, ис-

следование связующих свойств альбумина представляется важной и актуальной задачей.

Оценку параметров связывания белков с наночастицами предлагается производить при помощи анализа размеров агрегатов, образующихся в растворе альбумина при добавлении туда золотых наночастиц. Для оценки размеров наноагрегатов в жидкости в работе используется метод лазерной корреляционной спектроскопии [3].

В методе лазерной корреляционной спектроскопии производится оценка мощности рассеянного наночастицами в растворе излучения. Подчиненные броуновскому движению наночастицы вызывают флуктуации мощности рассеянного излучения [4]. Данный сигнал регистрируется фотоприёмником и передается на компьютер, где происходит его обработка. В методе лазерной корреляционной спектроскопии предлагается вычислять автокорреляционную функцию зарегистрированного сигнала. Согласно теории, автокорреляционная функция рассчитывается следующим образом:

$$\langle A(0)A(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T A(t)A(t+\tau) dt$$

В данной формуле τ есть корреляционное время флуктуирующего сигнала, флуктуирующий сигнал.

Форма автокорреляционной функции для рассеяния на частицах, совершающих Броуновское движение, описывается уравнением [5]:

$$G^{(1)}(\tau) = N|A|^2 e^{-Dq^2\tau},$$

где D – коэффициент диффузии, отвечающий за перемещение частицы в пространстве, имеющий размерность мм²/с, $\mathbf{q}$ – волновой вектор рассеяния:

$$|\mathbf{q}| = \frac{4\pi n_0}{\lambda_0} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right).$$

Если считать частицы сферическими, то можно использовать формулу Стокса-Эйнштейна:

$$D = \frac{k_B \cdot T}{6\pi\eta R},$$

где k_B – константа Больцмана; T – абсолютная температура, η – сдвиговая вязкость среды, в которой взвешены частицы радиуса R .

Для измерения сигнала рассеяния и последующего вычисления его автокорреляционной функции предлагается использование лазерного корреляционного спектрометра, основными элементами которого являются лазер, кювета с образцом, система регистрации сигнала, состоящая из фотоэлектронного умножителя, аналого-цифровой платы (АЦП) и компьютера [6]. Лазерное излучение с мощностью 5–20 мВт [7] просвечивает кювету с образцом, сигнал рассеяния регистрируется фотоэлектронным умножителем, после чего подаётся через АЦП на компьютер для построения автокорреляционной функции. Стабилизация мощности лазера организуется с использованием стабилизированного источника

питания [8]. Эксперимент проводится в затемненном помещении с организованной виброзащитой [9].

В проводимых исследованиях обнаружено снижение среднего коэффициента трансляционной диффузии в растворе альбумина после добавления туда золотых наночастиц, что свидетельствует об образовании агрегатов частиц. При этом наблюдаются как агрегаты, так и единичные белки [10]. При исследовании агрегации альбумина с золотыми наночастицами ожидается получение зависимости коэффициента трансляционной диффузии рассеивающих частиц от концентрации золотых наночастиц, что позволит выявить связующие свойства альбумина.

Список литературы:

1. Исследование образования белковых агрегатов в присутствии ионов калия и европия методами фотонной корреляционной спектроскопии и атомно-силовой микроскопии / Т. Н. Тихонова, Г. П. Петрова, В. В. Кашин, С. В. Крупенин, Е. М. Еганова // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2013. – № 12. – С. 24–30.
2. Папок, И. М. Исследование модельных растворов сыворотки крови методом динамического рассеяния света / И. М. Папок, Г. П. Петрова, К. А. Аненкова, Е. А. Папиш // Вестник Московского университета. Сер. 3: Физика. Астрономия. – 2012 – № 5. – С. 39–43.
3. Kvasnov, B. A. Study of the aggregation of bovine serum albumin monomers in aqueous dispersions with different acid-base value pH / B. A. Kvasnov, P. V. Shalaev, S. A. Dolgushin // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering. – 2018. – P. 1907–1909.
4. Привалов, В. Е. Мониторинг смеси сероводорода и метана методами лазерного зондирования / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте : тр. XXVII Междунар. конф. – Новороссийск : Типография КубГТУ, 2019. – С. 114.
5. Савченко, Е. А. Комбинированная методика рассеяния света для исследования параметров коллоидов / Е. А. Савченко, Э. К. Непомнящая, Е. Н. Величко // Сборник трудов ИТНТ-2019. – Самара : Новая техника, 2019. – С. 428–432.
6. Об основных требованиях к элементам измерительной схемы лазерной корреляционной спектроскопии / Е. Н. Величко, О. И. Котов, Э. К. Непомнящая, А. Н. Петров, А. В. Соколов // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2020. – Т. 23, № 1. – С. 83–95.
7. Привалов, В. Е. Об определении минимальной энергии импульса при лазерном зондировании на гармониках Nd-YAG лазера / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Оптика и спектроскопия. – 1997. – Т. 82, № 5. – С. 873–875.
8. Лиокумович, Л. Б. Метод измерения частотных шумов лазеров / Л. Б. Лиокумович, А. О. Костромитин, Н. А. Ушаков, А. В. Кудряшов // Журнал прикладной спектроскопии. – 2019. – Т. 86, № 6. – С. 1000–1006.
9. Привалов, В. Е. Влияние шумов и вибраций оборудования на работу лазерного измерителя концентрации частиц и оптимизация его параметров / В. Е. Привалов, А. В. Рыбалко, П. В. Чартий, В. Г. Шеманин // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77, № 3. – С. 62–65.
10. Непомнящая, Э. К. Модификация метода лазерной корреляционной спектроскопии для анализа полидисперсных суспензий наночастиц / Э. К. Непомнящая, Е. Н. Величко // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 73–87.

Исследование фазовых шумов волоконного эрбиевого лазера с синхронизацией мод, разработанного для фемтосекундного синтезатора частот

А. А. Филонов, Н. А. Коляда, В. С. Пивцов

Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, *aa.filonov@mail.ru*

Исследованы фазовые шумы волоконного эрбиевого лазера с синхронизацией мод, который является задающим генератором фемтосекундного синтезатора частот. Определена точка вывода извлечения из резонатора волоконного лазера и условия генерации с наименьшим уровнем фазовых шумов. Также проведены работы по уменьшению уровня фазовых шумов лазера за счет использования пассивной стабилизации.

Ключевые слова: волоконный лазер с синхронизацией мод, фемтосекундный синтезатор частот, фазовый шум.

In this work, we have investigated a phase noise of a mode-locked erbium fiber laser. This laser is a master oscillator of a femtosecond frequency comb. The fiber laser output point and lasing conditions with the lowest phase noise level was determined. Moreover, the laser phase noise level has been reduced due to the use of passive stabilization.

Keywords: mode-locked fiber laser, femtosecond frequency comb, phase noise.

На основе волоконных лазеров создаются транспортируемые фемтосекундные синтезаторы частот (СЧ) [1, 2]. Данные системы применяются для переноса стабильности выходных частотооптических стандартов в радиодиапазон и могут использоваться для навигационных космических применений. В таких системах волоконный лазер с синхронизацией мод используется как задающий генератор. На данный момент является актуальной задача по улучшению характеристик (стабильность выходных частот, уровень шума и др.) волоконных СЧ для расширения сферы их применений. Одним из перспективных путей решения поставленной задачи является улучшение параметров задающего волоконного лазера.

В данной работе был исследован и минимизирован уровень фазовых шумов [3] волоконного эрбиевого лазера с синхронизацией мод с линейно-кольцевым резонатором. Кольцевая часть резонатора лазера включает в себя следующие волоконные элементы: гибридный волоконно-оптический элемент (ответвитель 1 %, изолятор, волновой мультиплексор), через который излучение от лазерного диода накачки поступает в резонатор, волокно, легированное эрбием, и волоконный поляризационный делитель. Линейная часть резонатора включает в себя систему коллиматоров, поляризационный делительный кубик, дихроичное зеркало, закрепленное на пьезокерамическом трансляторе, и набор фазовых пластинок. Линейная часть необходима для стабилизации частоты повторения лазерных импульсов за счет изменения длины резонатора с помощью пьезокерамического транслятора и дихроичного зеркала. Синхронизация мод в лазере реализуется за счет эффекта нелинейной эволюции состояния поляризации (НЭСП) в волокне [4].

Исследуемый лазер имеет три волоконных выхода. Выход 1 – с гибридного элемента, выход 2 – с волоконного поляризационного делителя, выход 3 – с поляризационного делительного кубика. Каждый из этих выходов подключался к фотодетектору PDA10CF (-EC) (Thorlabs) для регистрации уровня фазового шума на частоте следования импульсов 82.6 МГц (первая гармоника межмодовой частоты). Измерения проводились в режиме синхронизации мод лазера при токах лазерного диода накачки (3SP Photonics) 0.55 А, 0.75 А и 0.99 А (минимальный, средний и максимальный токи при которых поддерживается синхронизация мод). Фазовые шумы регистрировались при помощи анализатора сигналов Keysight E5052B.

В результате проведенного исследования было определено следующее:

1. Уровень фазовых шумов первой гармоники межмодовой частоты при токах диодного лазера накачки 0,55 А и 0,75 А много меньше, чем при токе 0,99 А с каждого из выходов в диапазоне частот отстройки от ~50 Гц до ~150 000 Гц.

2. Наименьшие уровни шума наблюдались при токах лазерного диода накачки 0,75 А с каждого из выходов лазера (на частотах отстройки от сотен кГц до 1 МГц).

3. Минимальный уровень шумов зарегистрирован с выхода 3 (-72 дБн/Гц при частоте отстройки 1 Гц).

Далее было изучено влияние пассивной стабилизации волоконного лазера на уровень фазовых шумов выходного излучения. Регистрировался уровень фазовых шумов при различных условиях: без пассивной стабилизации лазера; с пассивной стабилизацией в виде кожуха из оргстекла толщиной 8 мм; с пассивной стабилизацией в виде кожуха из оргстекла, обклеенного изнутри фольгированным звуко-теплоизоляционным материалом толщиной 10 мм (Акцент ЛМ КС).

Наименьший уровень фазовых шумов был зарегистрирован при использовании кожуха из оргстекла, обклеенного изнутри термоизоляционным материалом. Достигнуто снижение уровня шума в диапазоне 1–3 Гц, который соответствует тепловым колебаниям. Помимо этого, удалось уменьшить шумы на 15–25 дБн/Гц вблизи частот отстройки 3, 50, 150 Гц.

Таким образом, в результате работы был исследован и минимизирован фазовые шумы волоконного эрбиевого лазера с синхронизацией мод, который является частью фемтосекундного синтезатора частот. Определены наиболее оптимальные условия лазерной генерации. Также продемонстрирована эффективность применения пассивной стабилизации волоконного лазера.

Список литературы:

1. Fiber-based femtosecond optical frequency comb stabilized to iodine frequency standard / S. N. Bagayev, V. I. Denisov, A. S. Dychkov, N. A. Koliada, B. N. Nyushkov,

V. S. Pivtsov, S. A. Farnosov, A. A. Antropov // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 793, № 1. – P. 1–4.

2. Optical frequency comb generation based on erbium fiber lasers / S. Droste, G. Ycas, B. R Washburn, I. Coddington, N. R. Newbury // Nanophotonics. – 2016. – Vol. 5, № 2. – P. 196–213.

3. Rutman, J. Characterization of frequency stability in precision frequency sources / J. Rutman, F. L Walls. // Proceedings of the IEEE. – 1991. – Vol. 79, № 7. – P. 952–960.

4. Agrawal, G. P. Applications of Nonlinear Fiber Optics / G. P. Agrawal. – Academic Press, 2008. – 508 p.

Высокоскоростная визуализация поверхностного разряда

И. И. Коротких, Ю. И. Малахов

Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва, korotkikhii@mail.ru

Представлены результаты визуализации электрического разряда, возникающего на поверхности стекла или пластика. Данный разряд используется при создании, исследовании, контроле параметров озонаторов; как источник ультрафиолетового излучения; при исследовании обтекания поверхностей газовыми или плазменными потоками.

Ключевые слова: поверхностный разряд, высокоскоростная видеорегистрация, теневой фоновый метод.

Paper presents the visualization results of electrical discharge that arise on the surface of glass or plastic. This type of discharge is used for creation, research and control of ozonizers parameters; as a source of ultraviolet radiation; when studying the flow around surfaces with gas or plasma flows.

Keywords: surface discharge, high speed video recording, background oriented schlieren method.

Исследование поверхностного электрического разряда, возникающего на поверхности стекла или пластика, проведено с использованием высокоскоростной цифровой видеокамеры. Разряды данного типа часто используются при создании, исследовании и контроле параметров озонаторов для обеспечения их стабильной работы. Кроме того, данные разряды используются как источник ультрафиолетового излучения, а также при исследовании обтекания поверхностей газовыми или плазменными потоками.

Для реализации исследования сконструирована ячейка, выполненная из стеклянной плоскопараллельной пластины и медных электродов. Пробой возникает в воздушной среде при атмосферном давлении, напряжение пробоя 110 В, разрядный ток 10 А, частота переменного тока 50 Гц. Ионизация и свечение воздуха происходят в приэлектродных областях.

Поверхностный разряд в экспериментальной ячейке образуется в результате пробоя между катодом и анодом в воздушной среде при атмосферном давлении. Напряжение пробоя 110 В, разрядный ток 10 А, частота переменного тока 50 Гц. Разряд возникает на поверхности стек-

лянной или пластиковой ячеек, расположенных вертикально, перпендикулярно главной оптической оси системы. Высокоскоростная видеорегистрация формирования и развития поверхностного разряда осуществляется с помощью цифровой видеокамеры Fastec HiSpec-1 и объектива CMOS с фокусным расстоянием $F = 50$ мм, необходимого для создания изображения поверхностного разряда на плоскости матрицы [1]. Полученные изображения поступают в персональный компьютер. В поверхности катода разрядной ячейки вырезано прямоугольное отверстие, используемое для съёмки и дальнейшего определения температурного поля теневым фоновым методом.

Высокоскоростная визуализация поверхностного разряда производилась с частотой 3000 кадров в секунду.

Изображение представляет собой матрицу, в которой количество строк и столбцов соответствует режиму съёмки. В ячейках матрицы изображения помещаются значения интенсивностей излучения для данной строки и столбца. Минимальная яркость в отсутствии излучения соответствует значению 0 (чёрному цвету) в матрице изображения, а максимальная яркость соответствует значению 255 (белый цвет). Остальные значения соответствуют оттенкам серого.

Оптическая ось высокоскоростной камеры ориентирована по нормали к плоскости разрядной ячейки. Перед съёмкой определяется масштабный коэффициент переноса изображения поверхностного разряда на плоскость матрицы. Далее производится регистрация изображений исследуемого объекта (поверхностного разряда), возможные режимы съёмки – с частотами 1000, 2000 и 3000 кадров в секунду на протяжении 2–3 с. Этого времени достаточно для получения массива экспериментальных данных, необходимых для дальнейшего исследования параметров поверхностного разряда. Съёмка производится по глубине яркости с динамическим диапазоном 8 бит. Разрешение цифровой видеокамеры 1280×1024 пикселя на дюйм. Длительность кадра $1,98 \cdot 10^{-3}$ с. Размер пикселя 14 мкм.

Съёмка производилась с фиолетовым, красным и зелёным интерференционными светофильтрами, позволяющими избежать засветки при регистрации.

Суть теневого фонового метода состоит в следующем [2]. При помощи высокоскоростной цифровой видеокамеры регистрируются изображения экрана без исследуемого объекта и с ним. Изображения представляют собой случайные структуры на тёмно-синем фоне. Одно изображение регистрируется в отсутствии возмущенной среды в канале передачи изображений. На другом снимке среда возмущена стримерами поверхностного разряда, что приводит к изменению оптических свойств среды. При наличии возмущённой среды (стримеров поверхностного разряда) меняется положение точек фонового экрана. При этом меняется структура изображения фонового экрана.

Регистрируются смещения точек объекта. С помощью кросскорреляционной обработки анализируются изменения положения точек на изображении структурированного экрана. Дальнейшая обработка сводится к исследованию изменений координат фонового экрана, что связано с изменением преломления среды, зависящего от температуры. Анализируя полученные изображения, можно проследить динамику развития поверхностного разряда.

Фоновый экран представляет собой набор хаотичных структур на тёмно-синем фоне. Хаотичность необходима, т.к. смещения структур внутри и вне исследуемого объекта различно. Если расположение структур упорядочено, то может возникнуть ситуация, при которой невозможно увидеть смещение структур внутри исследуемого потока.

По полученным картинам визуализации поверхностного разряда исследовалось распределение температуры по поверхности диэлектрика и электродов с использованием теневого фонового метода. Это распределение необходимо знать для того, чтобы оптимизировать режим работы озонатора, в основе которого используются ячейки с поверхностным разрядом; а также спрогнозировать срок его службы.

Помимо этого, при достижении определённой температуры на поверхности подложки, происходит резкое снижение концентрации озона. Необходим постоянный контроль температурного поля для эффективности работы озонатора. Измерить температуру обычными термодатчиками невозможно, т.к. могут возникать пробой на сами термодатчики, разряд может перейти на них. С целью избежания пробоя на термодатчики, а также для обеспечения контроля температуры в разрядной области использовался теневой фоновый метод.

Инфракрасная камера или тепловизор, которые могли бы также использоваться для определения температуры, не обеспечивают необходимого пространственного и временного разрешения, а теневой фоновый метод позволяет решить эту задачу.

Для получения температурного поля необходимо определить нормировочный коэффициент, связывающий значения смещений точек фонового экрана и температуры в опорной точке. Запись значений температуры осуществляется при помощи двух термодатчиков: опорной (определяющей температуру вне исследуемого объекта) и зондирующей, находящейся в непосредственной близости от исследуемого объекта.

Непрерывная запись температуры осуществляется при помощи АЦП. Формируется последовательность значений температуры в исследуемой точке в последовательные моменты времени с шагом 0,1 с. Определяется нормировочный коэффициент, связывающий значение коэффициента корреляции и температуры в исследуемой точке поля. Все элементы матрицы коэффициентов корреляции, полученные при обработке изображений, умножаются на нормировочный коэффициент, и тем самым определяется температурное поле в различных точках исследуемой области поверхностного разряда.

Полученные результаты показывают, что значения температуры исследуемой области поверхностного разряда лежат в диапазоне от 23 до 65 °С. Полученные значения температуры свидетельствуют о том, что в излучении поверхностного разряда присутствуют как возбуждённые атомы, так положительные и отрицательные ионы.

Данное исследование подтверждает возможность применения бесконтактного теневого фонового метода [3] для определения температурного поля в области поверхностного разряда, что необходимо для контроля работы озонаторов и прогнозирования срока их службы.

Список литературы:

1. Коротких, И. И. Высокоскоростная регистрация формирования разряда в индуктивно-связанной плазме / И. И. Коротких, Ю. И. Малахов, Н. М. Скорнякова // Научная визуализация. – 2017. – Т. 9, № 3. – С. 70–76.
2. Скорнякова, Н. М. Теневой фоновый метод и его применение / Н. М. Скорнякова // Современные оптические методы исследования потоков / под ред. Б. С. Ринкевичюса. – Москва : Оверлей, 2011. – С. 93–106.
3. Евтихьева, О. А. Лазерная рефрактография / О. А. Евтихьева, И. Л. Расковская, Б. С. Ринкевичюс. – Москва : Физматлит, 2008. – 176 с.

Магнитометрия на основе оптической накачки

А. О. Макаров

Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, werklore@mail.ru

Рассмотрен магнитометр на оптической накачке, являющийся одним из самых чувствительных магнитометров, он способен работать при комнатной температуре, имеет небольшие размеры, отличается небольшим энергопотреблением и стоимостью, а также проводит измерения абсолютного значения магнитного поля. Описаны подготовительные работы к экспериментам по исследованию магнитооптических резонансов для создания высокочувствительных сенсоров магнитного поля. Получены высокие характеристики магнитных экранов для дальнейших экспериментов, согласующиеся с построенной ранее теоретической моделью. Были проведены предварительные эксперименты по наблюдению линий поглощения в ячейке с атомами рубидия, а также исследования с полупроводниковым лазером в двух конфигурациях – Литтмана – Меткалфа и Литтрова для получения оптимальных параметров системы.

Ключевые слова: оптическая система, магнитометр, магнитометр на оптической накачке, магнитные экраны, линии поглощения.

The optically pumped magnetometer is one of the most sensitive magnetometers, it can operate at room temperature, has a small size, low power consumption and cost, and also measures the absolute value of the magnetic field. The paper describes the preparatory work for experiments on the study of magneto-optical resonances for the creation of highly sensitive magnetic field sensors. High characteristics of magnetic shields for further experiments have been obtained, which are consistent with the previously constructed theoretical model. Preliminary experiments were carried out to observe absorption lines in a

cell with rubidium atoms. Studies were carried out with a semiconductor laser in two configurations – Littmann-Metcalf and Littrow to obtain the optimal parameters of the system.

Keywords: optical system, magnetometer, optically pumped magnetometer, magnetic shields, absorption lines.

В магнитометрах с оптической накачкой с недавних пор наблюдается рост популярности благодаря новым оптическим схемам, новым методам изготовления паровых ячеек, миниатюризации ионных компонентов и недорогих лазеров. Использование магнитометров с оптической накачкой включает в себя геофизические исследования [1] для археологии, обнаружение магнитных аномалий, таких как неразорвавшиеся боеприпасы, медицинские приложения [2], такие как регистрация магнитных полей сердца и мозга, разведка нефти, квантовая связь, зондирование магнитного поля в космосе [3]. Недавно был построен первый атомный магнитометр в масштабе чипа [4], основанный на когерентном пленении населённости. С тех пор микромеханические магнитометры получили дальнейшее развитие, и версии с нулевым полем были также использованы для приложений с высокой чувствительностью в экранированных магнитных средах, а именно для магнитокардиографии, магнитоэнцефалографии и ядерного магнитного резонанса, обнаруженного дистанционно. Массивы магнитометров с оптической накачкой были разработаны для использования в медицинской визуализации.

Были проведены подготовительные работы для дальнейших исследований магнитооптических резонансов для создания высокочувствительных сенсоров магнитного поля. Помимо изучения научного задела в данной области были проведены несколько экспериментальных работ, в том числе создание магнитных экранов, разработка и создание полупроводниковой лазерной системы в двух конфигурациях резонатора, а также эксперимент по наблюдению линий поглощения с ячейкой с атомами рубидия.

В заключении приведены экспериментальные результаты по каждой из вышеизложенных работ. Результаты эксперимента совпадают с теоретическими расчетами и теоретической моделью.

Список литературы:

1. Theodolite-borne vector Overhauser magnetometer / V. Sapunov, J. Rasson, A. Denisov, D. Saveliev, S. Kiselev, O. Denisova, Y. Podmogov, S. Khomutov // *Earth, Planets and Space*. – 2006. – № 58 (6). – P. 711–716.
2. Li, Mo. Offset Suppression in a Micromachined Lorentz Force Magnetic Sensor by Current Chopping / Mo Li, D. A. Horsley // *J. Microelectromechanical Systems*. – 2014. – № 23 (6). – P. 1477–1484.
3. Micromachined polysilicon resonating xylophone bar magnetometer / D. K. Wicken, J. L. Champion, R. Oslander, R. B. Givens, J. L. Lamb, J. A. Miragliotta, T. J. Kistenmacher // *Acta Astronautica*. – 2003. – № 52 (2-6). – P. 421–425.
4. Chip-scale atomic magnetometer / Peter D. D. Schwindt, Svenja Knappe, Vishal Shah, Leo Hollberg, John Kitching, Li-Anne Liew, John Moreland // *Appl. Phys. Lett.* – 2004. – № 85. – P. 6409–6411.

Комплекс оценки физической подготовки боксеров на тренировках

А. В. Усольцев, С. И. Юран

Ижевский государственный технический университет имени
М. Т. Калашникова, Ижевск, *yuran-49@yandex.ru*

Рассмотрен критерий объективной оценки функциональных способностей организма спортсмена при физических тренировках по состоянию сердечно-сосудистой системы. Описаны основные преимущества использования комплекса оценки физической подготовки боксеров на тренировках. Определены основные параметры и характеристики средств измерения и контроля комплекса: лазерного источника излучения оптимального спектрального диапазона (0,8...1,0 мкм), общего коэффициента усиления и полосы пропускания усилительного тракта, мощности и частоты модуляции светового потока источника излучения. Рассмотрены также некоторые факторы, которые имеют важное значение в подготовке боксера, – гибкость, эластичность мышц, физическая подготовка.

Ключевые слова: физическая подготовка, крепатура, фотоэлектрическая плетизмография, лазерный источник излучения.

The criterion of an objective assessment of the functional abilities of an athlete's body during physical training on the state of the cardiovascular system is considered. The main advantages of using the complex for assessing the physical training of boxers in trainings are described. The main parameters and characteristics of the means for measuring and monitoring the complex are determined: a laser source of radiation of the optimal spectral range (0.8...1.0 μm), the total gain and bandwidth of the amplifying path, the power and modulation frequency of the light flux of the radiation source. which are important in the training of a boxer - flexibility, muscle elasticity, physical fitness.

Keywords: physical training, dyspepsia, photoelectric plethysmography, laser radiation source.

В боксе подготовленность спортсменов играет особо важную, а часто и решающую, роль в достижении высокого спортивного мастерства и успехов на ринге. В действиях боксера в бою проявляется одновременно целый комплекс самых разнообразных процессов и качеств [1].

Каждый вид спорта имеет свои исключительные особенности. В тренировку боксера входит две базовые составляющие – это тактическая подготовка (наработка ударов, спарринги, специальные упражнения на выносливость, координацию и т.п.) и физическая подготовка спортсмена [2].

Одно из условий победы на ринге – отсутствие крепатуры в теле, т.е. эластичность мышц, что требует совмещения тренировок по боксу и тренировок в тренажёрном зале. Крепатура приводит к снижению скорости движения и гибкости тела, но с другой стороны, спортсмен должен иметь сильные ноги, чтобы выстоять все раунды и держать удар, сильные плечи, трицепсы и предплечья для максимально эффективного удара. Мышцы боксера рассчитаны на анаэробную и взрывную нагрузку, для достижения силы необходимо работать со свободными весами (все, что не относится к тренажерам). Главные упражнения с железом

для боксеров – становая тяга, приседания со штангой, жим в положении лежа, жим по вертикали с положения стоя, брусья и турник с отягощением. Также лучше выполнять силовые упражнения на разгибание, а не сгибание с целью сохранить динамические способности (проще говоря ударную технику), работе со свободными весами нужно отдавать не более чем 60 минут, этот временной промежуток идеален для выработки тестостерона, далее идет только переработка [3].

Этиология крепатуры связывается с двумя механизмами: реакция на накопление в мышечных тканях продуктов метаболизма, прежде всего лактата (молочной кислоты), при неполном окислении глюкозы, и концентрация микротравм мышечных и связочных элементов при экстремальных нагрузках. Крепатура может возникнуть также под влиянием ряда заболеваний (тиф, грипп), вызывающих нарушение кровотока в мелких сосудах.

Один из механизмов появления мышечных болей – накопление молочной кислоты. При значительных физических нагрузках, даже при максимальном кровоснабжении мышечных тканей, кислорода мышцам все же не хватает. Этот дефицит организм пытается покрыть, включая резервные механизмы, одним из которых является замедление расщепления органических соединений, когда вместо углекислоты и воды образуется молочная кислота. Накопление лактата вызывает болевые ощущения в мышцах. Однако одновременно молочная кислота помогает обеспечить кровоснабжение тканей, расширяя кровеносные сосуды. Кроме того, она заставляет красные кровяные тельца более интенсивно делиться кислородом. Наконец, лактат не держится в организме слишком долго и достаточно просто отправляется в печень, где преобразуется в глюкозу.

Прежде чем пытаться решить вопрос, как избавиться от крепатуры, важно выявить конкретные причины, чтобы исключить их. Очень часто данная патология мешает людям, увлеченным спортивными нагрузками, в т.ч. в тренажерном зале. Американские ученые (там это явление принято называть DOMS) выдвигают следующие приоритетные факторы: натренированность или спортивная форма человека, его возраст и состояние костно-мышечной системы; появление структурных нарушений сухожилий и мышечных тканей; воспалительная реакция организма на занятия с серьезным отягощением. В последнем случае организм так реагирует на удаление воды из поврежденных мышечных волокон, что может привести еще и к отеку тканей. Боль и отек свидетельствуют о нарушении кровообращения в мышцах. Лучше стремиться не допускать появления аномалии, а для этого важно перед силовыми занятиями хорошо размять и прогреть мускулатуру. Интенсивность нагрузки должна соответствовать физической подготовленности человека. В процессе занятий следует опасаться обезвоживания организма, а потому необходимо соблюдать все рекомендации по питьевому режиму [4].

Важную роль в задании физических нагрузок на тренировках играет объективная оценка состояния спортсмена, к чему привлекаются

компетентные эксперты. Однако оценка производится «на глаз», и поэтому является довольно грубой, часто спортсмен может во время тренировки ощущать тошноту, головокружение и недостаток воздуха, после тренировок на следующие дни ощущается ломота в теле и усталость. Одним из важнейших критериев объективной оценки функциональных способностей организма спортсмена является состояние сердечно-сосудистой системы. Аппаратурным методом контроля состояния сердечно-сосудистой системы является метод фотоплетизмографии (измерение характеристик и параметров кровообращения: пульсовой волной, давления крови, степени насыщения артериальной крови кислородом и т.д.). Фотоэлектрической плетизмографией называется регистрация изменений светопроницаемости органа или части тела, связанных с изменениями степени их кровенаполнения. Светопроницаемость различных частей тела определяется светопроницаемостью крови, заполняющей кровеносные сосуды. Пульсовой волной называют распространяющуюся по артериям волну повышенного давления, которая вызвана выбросом крови из левого желудочка в аорту при сокращении сердечной мышцы. Пульсовая волна является механическим проявлением сердечной деятельности и перемещением крови. В результате проведенных исследований определены основные параметры и характеристики средств измерения и контроля: лазерного источника излучения оптимального спектрального диапазона (0,8...1,0 мкм), общего коэффициента усиления и полосы пропускания усилительного тракта, мощности и частоты модуляции светового потока источника излучения [5].

Этот метод позволяет комплексно оценить мышечно-двигательные ощущения и восприятия, сложные специализированные чувства (времени, удара, дистанции и др.), представления, внимание, быстроту двигательной реакции, мышление, память, волевые качества, эмоциональная устойчивость и др. Двигательные способности боксера проявляются через физические качества, такие как сила, выносливость, гибкость, скоростные и координационные способности [6].

Работает комплекс следующим образом: в начале тренировки автоматически снимается сигнал фотоплетизмограммы, на основании анализа фотоплетизмограммы спортсмена по разработанной методике задаются параметры тренировки, которые постоянно контролируются. Принципы работы комплекса опробованы при подготовке спортсменов, призеров соревнований по бодибилдингу на первенство ПФО. Результаты применения свидетельствуют об эффективности предлагаемого метода.

Список литературы:

1. Калмыков, Е. В. Общие основы теории бокса: классификация, систематика и терминология бокса / Е. В. Калмыков, Н. Д. Хромов. – Москва : ПринтЦентр, 2005. – 34 с.
2. Денисова, Л. В. Измерения и методы математической статистики в физическом воспитании и спорте / Л. В. Денисова, Л. А. Харченко, И. В. Хмельницкая. – Киев : Олимпийская литература, 2008. – 127 с.

3. Усольцев, А. В. Разработка аппаратно-программного комплекса повышения спортивной работоспособности / А. В. Усольцев // Приборостроение – 2016 : материалы 9 Междунар. науч.-техн. конф. (г. Минск, Республика Беларусь, 23–25 ноября 2016 г.) / пред. редкол. О. К. Гусев ; ред. Гурина Е. В. [и др.]. – Минск : БНТУ, 2016. – С. 141–143.

4. Friden, J. Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury / J. Friden, R. L. Lieber // Medicine in Science and Sports Exercise. – 1992. – Vol. 24. – P. 21–30.

5. Алексеев, В. А. Проектирование устройств регистрации гемодинамических показателей животных на основе метода фотоплетизмографии : монография / В. А. Алексеев, С. И. Юран. – Ижевск : ИжГТУ ; ИжГСХА, 2006. – 248 с.

6. Усольцев, А. В. Комплекс лазерной стимуляции восстановления организма спортсмена после травмы / А. В. Усольцев, С. И. Юран // Новые направления развития приборостроения : материалы 12 Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых и студентов (г. Минск, Республика Беларусь, 17–19 апреля 2019 г.) / пред. редкол. О. К. Гусев ; ред. Гурина Е. В. [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 392–393.

Регрессионная модель лазерного воздействия на натуральные материалы

В. А. Алексеев, А. В. Усольцева, В. П. Усольцев

Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова, Ижевск, *ajieksa_oo@mail.ru*

Рассмотрена регрессионная модель лазерного воздействия на натуральные материалы. Описано воздействие лазерного излучения установки TrotecSpeedy 300 на биоматериалы: кость, светлую натуральную кожу, темную натуральную кожу. Получены результаты экспериментов при изменении мощности лазерного излучения от 2 до 12 Вт, скорости движения лазерного луча от 10 до 180 см/с. Для определения величины микронеровностей использовано воспроизведение ступенчатого клина с 15 ступенями.

Ключевые слова: лазерное воздействие, величина микронеровностей, регрессионная модель.

A regression model of laser action on natural materials is considered. The effect of laser radiation of the TrotecSpeedy 300 device on biomaterials: bone, light natural leather, dark natural leather is described. The results of experiments were obtained when the power of the laser radiation was changed from 2 to 12 W, the speed of the laser beam was from 10 to 180 cm / sec. To determine the value of microroughness, the reproduction of a stepped wedge with 15 steps was used.

Keywords: laser action, size of microroughness, regression model.

Применение лазеров в медицине и биологии основано на использовании разнообразных проявлений взаимодействия света с биологическими объектами. Проникающие в биологическую ткань лазерные лучи частично поглощаются, частично рассеиваются и частично пропускаются. Длина волны лазерного излучения определяет соотношение между этими процессами.

Состояние поверхности при лазерной обработке определяет основные характеристики лазерного воздействия, от которых зависит эффективность восстановления и внешний вид полостей, разрезов, отверстий и т.д. Существование корреляционных связей между состоянием обработанной поверхности и параметрами, характеризующими технологию лазерной обработки, является предпосылкой получения поверхности биоматериала с заданными характеристиками. Предлагаемый подход достаточно перспективен, так как, в этом случае, состояние поверхности можно функционально связать с параметрами лазерной обработки [1].

Рассматривая поверхность биоматериала как границу между материалом и окружающей средой, состояние поверхности можно представить моделью поверхности, содержащей такие параметры, как шероховатость, волнистость, пористость; рельеф, твердость и т. д., связанных с природой биоматериала и условиями его образования.

Постоянно возрастающие виды лазерных технологий, увеличивающееся количество видов биоматериалов, существенно осложняют решение вопросов минимизации рисков, осложнений, появления рецидивов. Поэтому, первостепенное значение имеет разработка теоретических и методических основ технологического использования лазеров для обработки биоматериалов с получением заданного состояния поверхности при лазерном воздействии.

Строение поверхности биоматериала оценивается по восприятию светотеневых неравномерностей и характеризуется степенью неровностей, различающихся по высоте и характеру рельефа, зависящего от глубины проникновения лазерного излучения в материал. Каждая из составляющих биологического объекта (кожа, мышца, кость) обладает своими коэффициентами поглощения, теплопроводности и температуропроводности. Протекание процессов поглощения лазерного излучения и нагрева зависит от соотношения размеров неоднородности материала, глубины проникновения излучения в материал и толщины прогретого слоя. При воздействии лазерного излучения температура нагрева зависит также от толщины образца и частоты следования импульсов. Поскольку коэффициент поглощения сильно зависит от длины волны излучения и от состава биологической ткани, изменение характеристик лазерного излучения может кардинальным образом влиять на режимы поглощения, нагрева, абляции материала, состояние поверхности. Ситуация осложняется ещё и тем обстоятельством, что коэффициент поглощения может меняться в процессе воздействия вследствие фото- и термомеханических реакций, приводящих к изменению состава ткани.

Учитывая микроструктуру, химический состав и физико-механические характеристики используемых биоматериалов для проведения исследований использована лазерная установка на углекислом газе CO₂ (*TrotecSpeedy 300*). В качестве биоматериала использованы кость, светлая натуральная кожа, темная натуральная кожа. Анализ изменений со-

стояния поверхности проводился при изменении мощности лазерного излучения от 2 до 12 Вт, скорости движения лазерного луча от 10 до 180 см/с, разрешающей способности, количества линий на дюйм, от 100 до 1000 dpi., частоты импульсов излучения от 500 до 1000 Гц, диаметра сфокусированного лазерного луча на материале от 0, 05 до 1, 0 мм угла падения лазерного луча от 0° до 45°, и комбинации этих режимов. Для определения величины микронеровностей использовано воспроизведение ступенчатого клина с 15 ступенями. Величина микронеровностей рассчитывалась по Rz – высоте неровностей профиля, снятой в 10 точках, Ra – среднему арифметическому значению отклонения профиля, в соответствии с ГОСТ 2789–73 «Шероховатость поверхности. Параметры, характеристики и обозначения».

С помощью специализированного программного средства – MathCAD, по экспериментальным данным с использованием выражения получены аппроксимирующие функции для описания зависимости величины микронеровностей при изменении мощности лазерного излучения, скорости движения лазерного луча, разрешающей способности, количества линий на дюйм, частоты импульсов излучения, диаметра сфокусированного лазерного луча на материале угла падения лазерного луча.

Наибольшее влияние на величину микронеровностей из технологических режимов оказывают мощность лазерного излучения, скорость движения лазерного луча. Для учета влияния величины отклонений указанных переменных рассчитаем коэффициенты парной, чистой (частной) и множественной (совокупной) линейной корреляции Пирсона. Согласно методу прямого счета по несгруппированным данным, коэффициент парной корреляции Пирсона имеет вид:

$$r_{xy} = r_{yx} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] \times [n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}. \quad (1)$$

Этот коэффициент также изменяется от -1 до +1. При наличии нескольких переменных рассчитывается коэффициент множественной (совокупной) линейной корреляции Пирсона. Для трех переменных x, y, z он имеет вид

$$R_{y/xz} = \sqrt{\frac{r_{yx}^2 + r_{yz}^2 - 2r_{yx} \times r_{yz} \times r_{xz}}{1 - r_{xz}^2}}. \quad (2)$$

Этот коэффициент изменяется от 0 до 1. Если элиминировать (совсем исключить или зафиксировать на постоянном уровне) влияние z на x и y , то их "общая" связь превратится в "чистую", образуя чистый (частный) коэффициент линейной корреляции Пирсона:

$$r_{xy.z} = r_{yx.z} = \frac{r_{xy} - r_{xz} \times r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2) \times (1 - r_{yz}^2)}}. \quad (3)$$

Этот коэффициент изменяется от -1 до $+1$. Квадраты коэффициентов корреляции (7)–(9) называются коэффициентами (индексами) детерминации – соответственно парной, чистой (частной), множественной (совокупной):

$$d_{xy} = r_{xy}^2 = r_{yx}^2 = d_{yx}. \quad (4)$$

$$d_{xy.z} = r_{xy.z}^2 = r_{yx.z}^2 = d_{yx.z} \quad (5)$$

$$D_{y/xz} = R_{y/xz}^2 \quad (6)$$

Каждый из коэффициентов детерминации изменяется от 0 до 1 и оценивает степень вариационной определенности в линейной взаимосвязи переменных, показывая долю вариации одной переменной (y), обусловленную вариацией (других) – x и z . Для расчета, приняв x – мощность лазерного излучения, y – величина микронеровностей, z – скорость движения лазерного луча, проведем расчеты по выражениям (2)–(7), получим:

$$r_{xy} = 0,0192, r_{xz} = -0,8437, r_{yz} = 0,3999, R_{y/xz} = 0,4541, r_{xy.z} = 0,7246,$$

$$d_{xy} = 0,000369, d_{xy.z} = 0,5250, D_{y/xz} = 0,2062.$$

Взаимосвязь переменных x и y является положительной, но не тесной, составляя по их парному коэффициенту корреляции величину $r_{xy} = 0,0192$ и по чистому – величину $r_{xy.z} = 0,7246$, оценивалась по шкале Чеддока, соответственно, как "слабая" и "высокая". Коэффициенты детерминации $d_{xy} = 0,000369$ и $d_{xy.z} = 0,5250$ свидетельствуют, что вариация y (величина микронеровностей) обусловлена линейной вариацией x (мощность лазерного излучения) только на 0,0369 % в их общей взаимосвязи и в чистой взаимосвязи – на 52,5 %. Такое положение обусловлено значительным влиянием на x и y третьей переменной z – скорость движения лазерного луча. Теснота ее взаимосвязи с ними составляет соответственно $r_{xz} = -0,8437$ и $r_{yz} = 0,3999$.

Коэффициент множественной (совокупной) корреляции трех переменных показывает, что теснота линейной взаимосвязи x и z с y составляет величину $R_{y/xz} = 0,4541$, оценивалась по шкале Чеддока как "умеренная", а коэффициент множественный детерминации – величину $D_{y/xz} = 0,2062$, свидетельствуя, что **20,62 %** всей вариации y (величина микронеровностей) обусловлены совокупным воздействием на нее переменных x и z . Остальные **79,38 %** обусловлены воздействием на y других факторов или же криволинейной связью переменных y, x, z .

В результате математической обработки данных эксперимента получена регрессионная модель, связывающая режимы лазерной обработки и свойства поверхности материала, и выражение (2) преобразуется к частному виду:

$$y = -0,3287 - 0,00051x - 0,000039z, \quad (7)$$

где x – мощность лазерного излучения, y – величина микронеровностей, z – скорость движения лазерного луча.

С использованием полученных выражений (1)–(7), заданы оптимальные режимы совместной обработки кожи и кости: мощность лазерного излучения 5,5 Вт, скорость движения лазерного луча 18 см/сек, разрешающая способности 500 dpi, частота импульсов 1000 Гц, диаметр сфокусированного лазерного луча на материале 0,1 мм, угол падения лазерного луча 0°. Проведенные эксперименты показали эффективность предлагаемого способа.

Список литературы:

1. Алексеев, В. А. Управление лазерным технологическим процессом обработки биоматериалов / В. А. Алексеев, А. В. Усольцева, В. П. Усольцев // Вестник Ижевского государственного технического университета им. М. Т. Калашникова. – 2017. – Т. 20, № 3. – С. 19–23. – DOI 10.22213/2413-1172-2017-3-19-23.

Масштабирование лазера на парах европия

А. Г. Филонов, Д. В. Шиянов

Институт оптики атмосферы имени В. Е. Зуева СО РАН, Томск, *qe@liao.ru*

Проведено сравнение энергетических характеристик лазера на парах европия ($\lambda = 1,76$ мкм) с длиной рабочего канала газоразрядных трубок 50 и 100 см и диаметром 2 см при одинаковой мощности накачки. Показано, что масштабирование объема активной зоны вдвое приводит к увеличению мощности генерации и КПД лазера более чем в два раза при одинаковых условиях возбуждения по накачке.

Ключевые слова: лазер на парах европия, масштабирование, объем активной зоны.

The energy characteristics of a europium vapor laser ($\lambda = 1.76$ μm) are compared with the working channel length of gas-discharge tubes of 50 and 100 cm and a diameter of 2 cm at the same excitation power. It is shown that scaling the volume of the active zone by a factor of two leads to an increase in the output power and laser efficiency by more than two times under the same conditions of pump excitation.

Keywords: europium vapor laser, scaling, active zone volume.

Пары европия являются эффективной лазерной средой [1]. Генерация реализована на нескольких линиях в видимой и ИК областях спектра как на атоме, так и на ионе этого элемента. К настоящему моменту времени почти все работы были посвящены исследованию ионного лазера на линии 1.0019 мкм. Особенность такого перехода заключается в том, что при использовании гелия в качестве буферного газа при давлении близком к атмосферному реализован столкновительный режим генерации [2]. В связи с этим не уделялось должного внимания работе атомного лазера на длине волны $\lambda = 1,76$ мкм.

В работе [3] приведены характеристики лазера на парах европия, рабочий объем которого составлял 157 см³ (диаметр рабочего канала – 2 см, длина – 50 см). Использование выходных окон из оптически чистого кварца позволило осуществить генерацию на линиях 0,6645, 0,10019, 1,361, 1,759 мкм и определить динамику их появления. Средняя

мощность излучения на основной линии 1,76 мкм достигала 1 Вт. Срок службы лазерного элемента составил порядка двухсот часов без изменения характеристик излучения. Т.о. устойчивая работа лазера позволила надеяться на дальнейшее увеличение выходных характеристик лазера на парах атомного европия.

Известно, что один из путей улучшения основных лазерных характеристик (увеличение мощности и КПД) является увеличение объема активной среды. Исходя из этого была изготовлена газоразрядная трубка (ГРТ) с активным объемом 314 см³ (диаметр рабочего канала – 2 см, длина – 100 см). То есть, объем рабочего канала увеличен вдвое.

Были исследованы зависимости мощности генерации от потребляемой мощности ГРТ с малым и удвоенным объемом до 1,5 кВт. Результаты показали, что удвоение рабочего объема привело к существенному росту мощности генерации – более чем в два раза – до 2,2 Вт. Особое внимание на себя обращает рост КПД, величина которого выросла более чем в два раза и достигла величины – 0,22 %. Объяснение этому факту находится, по всей видимости, в том, что основные потери происходят на торцах ГРТ, которые как в первом варианте, так и во втором идентичны. А изменение объема произведено за счет удлинения центральной части ГРТ, где потери минимальны. То есть, увеличение объема произведено без существенного увеличения тепловых потерь.

Заметное влияние увеличения активного объема оказало на оптимальную частоту работы лазера. Если в первом варианте оптимальная частота составила 11 кГц, то во втором – около 8 кГц. Снижение оптимальной частоты связано скорее всего с ростом переходных процессов, неизбежным с увеличением рабочего объема. Изменение величины рабочего объема было произведено за счет увеличения его длины. Такое решение снижает величину напряжения на единицу длины разрядного промежутка, а это является существенным фактором в лазерах на самоограничивающихся переходах. Соответственно, потребовалось компенсировать данный отрицательный фактор увеличением рабочего напряжения. Стоит отметить, что мощность накачки ограничивалась имеющимся источником питания. Поэтому следует ожидать дальнейшего роста мощности генерации и КПД при увеличении потребляемой мощности.

Несмотря на то, что требуется проведение дополнительной работы по изучению характеристик лазера на парах европия, однако уже сейчас можно сказать, что увеличение рабочего объема (масштабирование) является перспективным направлением его развития. Получено существенное увеличение средней мощности генерации, увеличение КПД. Важным является и то, что срок службы активного элемента при этом не снижается.

Список литературы:

1. Бохан, П. А. Исследование лазера на самоограничивающихся переходах атома и иона европия / П. А. Бохан, В. М. Клишкин, В. Е. Прокопьев, В. И. Соломонов // Квантовая электроника. – 1977. – Т. 4, № 1. – С. 152–154.

2. Бохан, П. А. Ионный гелий-европиевый лазер со средней мощностью 2 Вт / П. А. Бохан, В. М. Климкин, В. Е. Прокопьев, С. С. Монастырев // Письма в журнал технической физики. – 1977. – Т. 3, вып. 9. – С. 410–413.

3. Троицкий, В. О. Лазер на парах европия / В. О. Троицкий, В. Г. Соколов, А. Г. Филонов, Д. В. Шиянов // Оптика атмосферы и океана. – 2017. – Т. 30, № 3. – С. 253–258.

Комплекс определения количественных характеристик газожидкостного потока от форсунок различной конфигурации

А. В. Кучменко, Н. М. Скорнякова, В. В. Кучменко

Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва, ann.131@yandex.ru

Рассмотрено определение скорости газожидкостного потока из форсунок с помощью метода анемометрии по изображению частиц с одновременным определением геометрии струи и последующим расчетом углов раскрытия струи. Осуществлен подбор оптимального оптического метода, позволяющего осуществлять одновременную работу с АИЧ методом для диагностики размера капель потока.

Ключевые слова: количественные характеристики потока, форсунки, оптические методы диагностики потоков.

Determination of gas-liquid flow velocity from nozzles by means of PIV method with simultaneous determination of jet geometry and subsequent calculation of jet opening angles. Selection of the optimal optical method that allows simultaneous operation with PIV method for flow droplet size diagnostics.

Keywords: flow quantification, nozzles, optical flow research.

При работе атомных станций необходимо поддержание постоянной температуры блоков. Достаточно безопасным, экономически выгодным является использование форсунок, осуществляющее мелкодисперсное распыление потока жидкости по поверхности объекта [1]. Для определения скоростей капель в струе от форсунок было решено использовать метод анемометрии по изображению частиц (АИЧ). В качестве источника излучения используется лазерный модуль, луч которого, пройдя через оптическую систему формирования излучения, преобразуется в расходящуюся лазерную плоскость и засвечивает газожидкостный поток в определенном сечении. Трассерами в данном исследовании являются сами капли потока из форсунок. Экспериментальные изображения, полученные с помощью метода анемометрии по изображению частиц, позволяют визуализировать геометрию струи потока, что дает возможность определить тип форсунки, а также рассчитать угол раскрытия струи.

Для определения диаметров капель жидкости было решено исследовать два оптических метода: прямой теневой метод и лазерный интерференционный метод. Прямой теневой метод исследования является одним из оптических методов исследования течений. Особенностью данного метода является отсутствие оптического сопряжения плоскости

изучаемого объекта с плоскостью экрана [2]. В плоскости фокусировки фотоаппарата на фоне источника некогерентного излучения регистрируются блики капель воды. Далее, для получения размеров капель используются калибровочные фотографии, позволяющие пиксельные значения диаметров пересчитать в физический размер.

Так же были проведены серии экспериментов с использованием лазерного интерференционного метода. Излучение от полупроводникового лазерного модуля засвечивает поток капель от распылителя. Рассеянное на каплях воды излучение собирается с помощью фотоаппарата и передается на компьютер [3]. Регистрация изображений должна производиться при расфокусированном изображении, которое представляет собой интерференционную картину. Определив период интерференционной картины возможно определить размер капель. Еще одним этапом исследования являлось определение погрешности прямого теневого и лазерного интерференционного метода.

С помощью каждого метода был определен размер пузырька воздуха в стекле, размер которого известен заранее. На основе полученных экспериментальных данных для данного комплекса был выбран лазерный интерференционный метод для определения размера капель. С помощью метода анемометрии по изображения частиц и лазерного интерференционного метода экспериментальные исследования количественных характеристик потока из форсунок возможно выполнять одновременно при наличии двух регистрирующих устройств (камер). Одна из камер регистрирует сфокусированное изображения для определения скорости и геометрии струи, другая камера регистрирует немного расфокусированное изображение, позволяющие получить интерференционную картину капли. Если не имеется возможным использование двух регистрирующих устройств одновременно, то экспериментальные исследования возможно производить с помощью одной камеры последовательно настраивая режимы съемки для каждого метода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 19-07-00921).

Список литературы:

1. Баталов, В. Г. Оптические измерения размеров капель в факеле распыла топливной форсунки / В. Г. Баталов, Р. А. Степанов, А. Н. Сухановский // Вестник Пермского университета. – 2017. – № 3 (37). – С. 40–47.
2. Баталов, В. Г. Применение прямых оптических методов для исследования характеристик двухфазного потока / В. Г. Баталов, Р. А. Степанов, А. Н. Сухановский // Труды МАИ. – 2014. – Вып. 76. – 20 с.
3. Скорнякова, Н. М. Исследование интерференционного лазерного метода одновременного измерения размеров и скоростей пузырьков / Н. М. Скорнякова, А. В. Толкачев // Труды третьей Российской национальной конференции по теплообмену. – Москва : МЭИ, 2002. – Т. 1. – С. 219–222.

Исследование высокочастотного усилителя яркости на парах бромида меди

И. С. Мусоров¹, С. Н. Торгаев², Г. С. Евтушенко^{1,3}, Д. В. Шиянов⁴

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

³Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, Томск

⁴Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы России, Москва, *musorov@yandex.ru*

Рассмотрено использование высокочастотного усилителя яркости в активных оптических системах, позволяющее осуществлять визуализацию быстропротекающих процессов в условиях интенсивной фоновой засветки. Получены результаты по исследованию усилительных характеристик активной среды на парах бромида меди, при работе в режиме пониженного энерговклада.

Ключевые слова: усилитель яркости, лазер, активная среда, частота следования импульсов, активная оптическая система.

The use of a high-frequency brightness amplifier in active optical systems makes it possible to visualize fast processes under conditions of intense background illumination. Results of amplifying characteristics studying of copper bromide active medium in the reduced energy input mode were obtained.

Keywords: brightness amplifier, laser, active medium, pulse repetition rate, active optical system.

Задача исследования усилительных характеристик высокочастотных сред на парах металлов, в частности, на парах бромида меди, является весьма актуальной. С одной стороны, это связано с возможностью применения данных активных сред в качестве усилителей яркости в высокоскоростных активных оптических системах. Подобные системы позволяют проводить диагностику высокоскоростных процессов, протекающих в условиях мощной фоновой засветки. С другой стороны, исследования позволяют получить новые знания о физических принципах работы высокочастотных газоразрядных сред.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что получение высоких частот следования в активных средах на парах металлов возможны только при работе в режиме пониженного энерговклада в разряд [1, 2]. В частности, в работе [1] на основе кинетического моделирования было показано, что для получения частоты следования до 700 кГц в активной среде на парах бромида меди необходимо обеспечить работу при энерговкладе не более 80 мкДж/см³.

Наиболее эффективным методом обеспечения режима пониженного энерговклада в разряд является возбуждение активной среды импульсами напряжения малой длительности (десятки нс). В наших исследованиях применен специально разработанный источник накачки построенный с использованием составного коммутатора на основе высокочастотного транзистора и модуляторной лампы, включенной по схеме с общей сеткой. Использование такого схемотехнического решения позволило получать импульсы накачки с амплитудой до 5 кВ и длительностью до 40 нс по полувысоте [3].

Экспериментальные исследования проводились с использованием газоразрядной трубки (ГРТ) с длиной активной зоны 40 см и диаметром 0,7 см. Использование малого диаметра ГРТ обусловлено необходимостью эффективной релаксации плазмы в межимпульсный период за счет объемных процессов и диффузии частиц к стенке. В ходе проведения исследований давление буферного газа неона в ГРТ было постоянным – 30 торр. Концентрация паров рабочего вещества в различных режимах работы варьировалась по максимальной мощности излучения.

Исследования проводились при работе активной среды в трех режимах: режим генерации (при наличии плоскопараллельного резонатора), однопроходовой режим (при наличии только одного зеркала резонатора) и режим сверхизлучения (без зеркал резонатора). Частота работы источника накачки составляла 150, 170, 182, 195 и 217 кГц. Следует отметить, что при работе активной среды в режиме генератора частота следования импульсов может быть значительно выше, однако, максимальная частота в режиме сверхизлучения не превышала 200 кГц. В таблице 1 представлены экспериментальные значения удельной вводимой энергии и удельных энергий излучения.

Таблица 1 – Экспериментальные значения удельной вводимой энергии и удельных энергий излучения

Частота, кГц	Удельная вводимая мощность, Вт/см ³	Удельная вводимая энергия, мкДж/см ³	Удельная энергия генерации, мкДж/см ³	Удельная энергия однопроходного, мкДж/см ³	Удельная энергия сверхизлучения, мкДж/см ³
150	8,4	56	0,1	0,05	0,011
170	8,4	56	0,05	0,02	0,005
182	8,3	55	0,05	0,02	0,003
195	7,95	53	0,04	0,02	0,003
217	7,79	52	0,02	0,01	0,001

Из таблицы 1 видно, что удельный энерговклад в активную среду был в диапазоне 52–56 мкДж/см³, что соответствует режиму работы с пониженным энерговкладом. При этом эффективное усиление в указанном диапазоне частот увеличивается с ростом частоты от 4.8 до 12.5. Увеличение усиления связано со значительным уменьшением энергии входного сигнала в насыщающую среду. Погонный коэффициент усиления высокочастотной активной среды изменяется в диапазоне от 0,039 до 0,063 см⁻¹, что в 2–4 раза меньше, чем при типичных частотах следования импульсов (10–15 кГц). При этом, экспериментально наблюдаемая энергия сверхизлучения на порядок превышает энергию спонтанного излучения, которое является фоновым (мешающим фактором) при использовании данной активной среды в режиме скоростного усилителя яркости.

Таким образом, использование режима пониженного энерговклада в разряд обеспечивает высокочастотный режим работы активной среды

на парах бромида меди, в том числе, в режиме сверхизлучения (до 200 кГц). И такая высокочастотная активная среда может использоваться в скоростных усилителях яркости и лазерных мониторах.

Список литературы:

1. CuBr-Ne-HBr laser with a high repetition frequency of the lasing pulses at a reduced energy deposition in the discharge / A. M. Boichenko, G. S. Evtushenko, V. O. Nekhoroshev, D. V. Shiyarov, S. N. Torgaev // *Physics of Wave Phenomena*. – 2015. – Vol. 23, iss. 1. – P. 1–13.
2. Лазер на парах стронция с частотой следования импульсов генерации до 1 МГц / А. Н. Солдатов, Н. А. Юдин, А. В. Васильева, Е. А. Колмаков, Ю. П. Полушин, И. Д. Костыря // *Квантовая электроника*. – 2012. – Т. 42, вып. 1. – С. 31–33.
3. Высокочастотный источник накачки активных сред на парах металлов / С. Н. Торгаев, Д. Н. Огородников, И. С. Мусоров, А. Е. Кулагин, Г. С. Евтушенко // *Приборы и техника эксперимента*. – 2020. – Т. 63, № 1. – С. 69–74. Иностранная версия: A high-frequency pumping source for metal vapor active media / S. N. Torgaev, D. N. Ogorodnikov, I. S. Musorov, A. E. Kulagin, G. S. Evtushenko // *Instruments and Experimental Techniques*. – 2020. – Vol. 63, № 1. – P. 62–67.

Исследование особенностей барьерного емкостного разряда для возбуждения активных сред на переходах атомов металлов

П. И. Гембух, Д. В. Шиянов, М. В. Тригуб

Институт оптики атмосферы имени В. Е. Зуева СО РАН, Томск, *trigub@iao.ru*

Разработан активный элемент с емкостным возбуждением, позволяющий произвести оценку характеристик возбуждения. На разработанном элементе помимо основных емкостных электродов из медной фольги сделаны обычные контактные электроды, выведенные из газоразрядного промежутка. Произведено исследование характеристик разряда. Благодаря особой конструкции трубки было измерено напряжение непосредственно на газоразрядном промежутке.

Ключевые слова: лазеры на парах металлов, емкостное возбуждение, газоразрядная трубка, емкостные электроды.

An active element with capacitive excitation has been developed. It makes possible to evaluate the excitation characteristics. On the developed element, in addition to the main capacitive electrodes from copper foil, ordinary contact electrodes in gas-discharge gap are made. The discharge characteristics were studied. Due to the special design of the tube, the voltage was measured directly across the gas-discharge gap.

Keywords: metal vapor lasers, capacitive excitation, gas discharge tube, capacitive electrodes.

Лазеры на парах металлов обладают рядом достоинств, которые выгодно отличают их от других типов лазеров. В частности, к этим достоинствам можно отнести высокий коэффициент усиления, высокую спектральную яркость [1, 2].

Для возбуждения лазера на парах металлов к газоразрядному промежутку необходимо приложить высоковольтный импульс возбуждения (порядка 10 кВ). Традиционно в газоразрядной трубке (ГРТ) делают ста-

каны, заполненные медной стружкой. Из стаканов выведены электроды, к которым непосредственно прикладывается импульс возбуждения. Такой способ обладает некоторыми достоинствами: он позволяет варьировать мощность, вкладываемую в разряд путём изменения накопительной емкости, а также относительно прост в реализации. Однако традиционный способ накачки ограничивает время использования активного элемента из-за разрушения электродов. В настоящее время ведётся активная разработка новых методов возбуждения активных элементов на парах металлов.

Одним из способов возбуждения является индукционная накачка [3]. В этом случае возбуждение атомов металлов происходит за счёт передачи ему энергии от электромагнитного импульса. Для этого вокруг ГРТ наматывается катушка индуктивности, которая создаёт электромагнитное поле и передаёт энергию электронам в ГРТ. Достоинствами такого метода является полное отсутствие контакта ГРТ с источником возбуждения, что увеличивает продолжительность работы газоразрядной трубки. Недостатком метода является относительно сложность увеличения коэффициента связи для достижения результатов типичных для традиционного способа возбуждения [4].

Наибольшую распространённость в качестве альтернативы традиционному методу накачки получило емкостное возбуждение [4]. В этом методе на ГРТ наматываются электроды из медной или алюминиевой фольги. Таким образом, электроды и разрядный канал образуют обкладки конденсатора, а кварцевая трубка является диэлектриком. В межимпульсный период происходит накопление энергии в емкостях электродов, после чего происходит коммутация и разряд емкостей на газоразрядный промежуток. В данном методе отсутствует контакт материала электрода со средой и не происходит их разрушения, что повышает время работы активного элемента. К недостаткам можно отнести сложность изменения емкости электродов, соответственно, изменение энерговклада в разряд при сохранении амплитуды напряжения. Данный метод представляет наибольший интерес для исследования.

Нами был разработан активный элемент для исследования особенностей формирования импульса возбуждения при барьерном емкостном разряде в активном элементе. Для этого была сконструирована ГРТ с емкостными электродами, а также с зондами, расположенными в разрядном промежутке. Для фиксации напряжения использовались два высоковольтных пробника Tektronix P6015A, позволяющие оценить падение напряжения непосредственно на газоразрядном промежутке. Измерение тока производилось с помощью PearsonCurrentMonitor 8450. Кроме того, использовался самодельный токовый датчик, надетый непосредственно на ГРТ, для фиксации тока на газоразрядном промежутке. Отображение и запись сигналов производились с помощью осциллографа LeCroywaveJet 324.

В результате были получены диаграммы основных напряжений и токов на газоразрядной трубке. Полученные результаты позволяют оце-

нить энергозатрат в разряд, а также произвести оценку эффективности возбуждения. Были получены осциллограммы импульсов тока и напряжения на газоразрядной трубке при давлении буферного газа 30 торр паров металла. При заряде емкости электрода до 3 кВ, напряжение на разрядном промежутке 20 см составляло 750 В. Амплитуда тока через ГРТ при этом составила 45 А. Фронты импульса напряжения и тока возбуждения составляли 30 нс. С помощью разработанного активного элемента будут выявлены основные механизмы формирования импульса накачки при различных условиях работы активного элемента: давление буферного газа, концентрация галогенида металла, концентрация водородосодержащей добавки и т.д. [5, 6].

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-79-10096.

Список литературы:

1. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов / В. М. Батенин, В. В. Бучанов, М. А. Казарян, И. И. Климовский, Э. И. Молодых. – Москва : Научная книга, 1998. – 544 с.
2. Петраш, Г. Г. Импульсные газоразрядные лазеры / Г. Г. Петраш // Успехи физических наук. – 1971. – № 105. – С. 645–676
3. Батенин, В. М. Особенности индукционной накачки лазеров на самоограниченных переходах / В. М. Батенин, В. Т. Карпухин, М. М. Маликов, И. Н. Феофанов. – Москва : Российская академия наук, 2017. – 22 с.
4. Маликов, М. М. О возможности эффективной накачки лазеров на парах меди импульсно-периодическим индукционным разрядом / М. М. Маликов, М. А. Казарян, В. Т. Карпухин // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2015. – № 5. – С. 28–37.
5. Лазер на парах бромида меди, возбуждаемый емкостным разрядом / В. Б. Суханов, В. Ф. Федоров, Ф. А. Губарев, В. О. Троицкий, Г. С. Евтушенко // Квантовая электроника. – 2007. – Т. 37, № 7. – С. 603–604.
6. Губарев, Ф. А. Энергетические характеристики CuBr-лазера с емкостной накачкой при использовании схемы на основе лампового коммутатора / Ф. А. Губарев, В. Ф. Федоров, Г. С. Евтушенко, В. Б. Суханов // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – № 4.

Источник накачки лазеров на парах металлов с частотой следования импульсов возбуждения до 100 кГц

Н. А. Васнев, П. И. Гембух, М. В. Тригуб

Институт оптики атмосферы имени В. Е. Зуева СО РАН, Томск, trigub@iao.ru

Разработан источник накачки лазеров на парах металлов на основе полупроводниковой элементной базы. Источник состоит из десяти типовых модулей (ячеек), каждая из которых содержит накопительный конденсатор (22 нФ, 1000 В) и транзистор с изолированным затвором (IRZ60R037P7). Отмечено, что синхронное переключение транзисторов (с точностью не хуже 2 нс) приводит к разряду накопительных конденсаторов через импульсный повышающий трансформатор, выполненный

на двух тороидальных ферритовых сердечниках Т79Х50Х26.5 (Fuantronics) с коэффициентом трансформации 20. Проведена экспериментальная оценка работы источника на активную среду CuBr-лазера длиной активной зоны 20 см и диаметром 1 см. Амплитуда импульсов напряжения на ГРТ составила 3,2 кВ, частота следования импульсов – 100 кГц, потребляемая мощность от сети – 400 Вт.

Ключевые слова: лазеры на парах металлов, источник накачки, генератор импульсов возбуждения, время фронта, повышающий трансформатор.

The pump source of metal vapor lasers based on a semiconductor element base is developed. The pump source consists of 10 typical modules (cells), each of which contains a storage capacitor (22 nF, 1000 V) and an insulated gate transistor (IRZ60R037P7). Synchronous switching of transistors (with an accuracy of no worse than 2 ns) leads to the discharge of storage capacitors through a pulse step-up transformer on two toroidal ferrite cores T79X50X26.5 (Fuantronics) with a transformation ratio of 20. The amplitude of the excitation pulses of the active element ($l = 20$ cm, $d = 1$ cm) reached 3.2 kV, the pulse repetition rate was 100 kHz and the power consumption was 400 W.

Keywords: metal vapor lasers, pump source, excitation pulse generator, rise time, step-up transformer.

Разработка эффективных источников питания лазерных сред всегда была актуальной задачей, поскольку эффективность передачи энергии в среду определяет энергетические параметры лазерного излучения. Источники питания лазеров на парах металлов традиционно реализуют на базе электровакуумных приборов с различной мощностью коммутации. Наибольшее распространение получили тиратроны, например, ТГИ1-500/16 или ТГИ1-1000/25, а также таситроны, например, ТГУ1-5/12 [1]. Подобные коммутаторы используют в схемах с диодно-резонансными импульсным зарядом рабочей емкости [2].

Одним из эффективных схемотехнических решений для повышения частоты следования импульсов является использование гибридного высоко-вольтного коммутатора. Данный коммутатор выполнен на основе электро-вакуумной лампы (ГМИ-27Б), включенной по схеме с общей сеткой, и полупроводникового ключа [3].

Другим подходом является сборка высоковольтного коммутатора на основе низковольтных полупроводниковых транзисторов совместно с повышающими трансформаторами, например, для возбуждения ArF-лазера ($\lambda = 193$ нм) [4]. Также известна схема возбуждения лазеров на парах металлов на основе типовых ячеек с IGBT-транзисторами, соединенных параллельно [5]. В работе [6] представлены результаты разработки и применения источника питания на основе однотипных модулей, состоящих из мощных MOSFET-транзисторов и пленочных конденсаторов. Во всех указанных случаях применение транзисторов позволяет снизить массогабаритные параметры, а также увеличить срок службы источника питания. Кроме того в отличие от электровакуумных приборов транзисторы не требуют схемотехнических решений, необходимых для цепей накала.

В рамках данной работы был реализован источник накачки на базе полупроводниковых транзисторов с изолированным затвором

(IRZ60R037P7). Структуру разработанного источника накачки можно условно разделить на несколько блоков. Первый блок формирует напряжение питания – на него поступает сетевое напряжение, которое фильтруется, выпрямляется и прикладывается к преобразователю постоянного напряжения. Уровень напряжения регулируется в диапазоне (0÷130) В. Сформированное постоянное напряжение прикладывается ко второму блоку, а именно – к коммутатору, состоящему из однотипных модулей, структура которых требует более подробного рассмотрения.

Каждый модуль содержит накопительный конденсатор с номинальной емкостью 22 нФ и предельно-допустимым напряжением 1000 В. Одним выводом конденсатор подключен к катоду зарядного диода, а другим подходит к земляной шине. Также к катоду зарядного диода через первичную обмотку трансформатора подключен сток транзистора. Для размагничивания высоко-частотного импульсного трансформатора используются высокоскоростные диоды Шоттки (C3D02060F). Транзистор и размагничивающий диод крепятся к первичной обмотке импульсного повышающего трансформатора болтовым соединением через фланцы. Всего коммутатор насчитывает 10 описанных модулей, который соединены между собой параллельно: стоки всех транзисторов подключаются к шине питающего напряжения, а истоки подключены к земляной шине. Система управления формирует для модулей общий импульс запуска, однако на входе каждого модуля присутствует свой независимый драйвер (IXDD609PI). Запускающие импульсы с длительностью фронта 10 нс достигают затворы транзисторов относительно друг друга с точностью не хуже 2 нс, что приводит к практически одновременной коммутации транзисторов всех модулей. Накопительные конденсаторы разряжаются через первичную обмотку импульсного повышающего трансформатора, выполненного на базе двух ферритовых торроидальных сердечниках T79X50X26.5 (Fuantronics). Первичная обмотка имеет один виток и выполнена из листовой меди, плотно покрывающей сердечник по всему периметру с целью обеспечения максимальной равномерности распределения поля магнитной индукции сердечника. Вторичная обмотка, выполненная из медной фольги на каркасе из кварцевых труб, содержит 20 витков. Так как соотношение витков первичной и вторичной обмотки составляет 1:20, сформированный импульс напряжения увеличивается в 20 раз. Следует отметить, что благодаря индуктивности в схеме происходит резонансная зарядка накопительных конденсаторов, в связи с чем максимальное зарядное напряжение составляет не 130 В, а 260 В. При проверке на холостом ходу амплитуда импульса возбуждения во вторичной обмотке трансформатора достигала 5.2 кВ при потребляемой мощности генератора 400 Вт.

Для работы на ГРТ ($l = 20$ см, $d = 1$ см) вторичная обмотка трансформатора подключалась через последовательно соединенные диоды Шоттки (C3D02060E) в количестве 10 штук. Время фронта импульса возбуждения при работе на нагрузке не превышает 75 нс, частота следо-

вания импульсов возбуждения составила 100 кГц. Отвод тепла от зарядных диодов, транзисторов и трансформатора был реализован замкнутым жидкостным охлаждением, которое представляет собой совокупность насоса, радиатора со встроенным расширительным баком, вентилятора и рубашки охлаждения. В качестве рубашки охлаждения используется первичная обмотка трансформатора с двумя медными трубками, припаянными поперечно направлению протекания тока.

При возбуждении лазера на парах бромида меди амплитуда импульсов накачки достигала 3.2 кВ. ЧСИ при этом составила 100 кГц, мощность генерации – 0,7 Вт. Габаритные параметры устройства: 820×155×210.

Список литературы:

1. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов / В. М. Батенин, В. В. Бучанов, М. А. Казарян, И. И. Климовский, Э. И. Молодых. – Москва : Научная книга, 1998. – 544 с.
2. Тригуб, М. В. Исследование источника накачки лазера на парах металлов с импульсным зарядом рабочей емкости / М. В. Тригуб, Д. Н. Огородников, В. А. Димаки // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27, № 12. – С. 1112–1115.
3. Пат. 2672180 С1 Российская Федерация, МПК H01S 3/0975. Генератор импульсов возбуждения для лазеров на самоограниченных переходах атомов металлов от 08.12.2017. ИОА СО РАН / Торгаев С. Н., Евтушенко Г. С., Япославцев Е. В., Нехорошев В. О., Мусоров И. С., Тригуб М. В. – Заявл. 08.12.2017 ; опубл. 12.11.2018.
4. Мошкунов, С. И. Увеличение длительности импульса излучения ArF-лазера с твердотельным генератором накачки / С. И. Мошкунов, В. Ю. Хомич, В. А. Ямщиков // Квантовая электроника. – 2001. – Т. 41, № 4. – С. 366–369.
5. Пат. 14 752 U1, Российская Федерация, МПК H01S 3/09 от 02.03.2000. Татур В.В. ИМКЭС СО РАН.
6. Jiang, W. Solid-State LTD Module Using Power MOSFETs / W. Jiang // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2010. – Vol. 38, № 10. – P. 2730–2733. – DOI 10.1109/TPS.2010.2051042.

Лазер на парах металлов с индукционным дозатором рабочего вещества

К. Ю. Семенов, В. Ф. Федоров, Д. В. Шиянов, М. В. Тригуб

Институт оптики атмосферы имени В. Е. Зуева СО РАН, г. Томск,
semenovkostya98@gmail.com

Рассмотрен новый способ создания паров металла в активном элементе, основная особенность которого заключается в разделении функций создания паров и нагрева канала и накачки между различными источниками. Отмечено, что пары металла получают с помощью индукционного нагрева дозатора, находящегося в неактивной зоне. Показано, что возбуждение активной среды происходит при коммутации высоковольтных импульсов независимым от индукционного нагрева источником накачки с рабочей частотой 15 кГц.

Ключевые слова: лазеры на парах металлов, индукционный нагрев.

A new method of creating metal vapors in the active element is considered in this work. The main feature is the separation of the vapor generation functions with the pump and channel heating function between different sources. Metal vapors are obtained by induction heating of dispenser which is located outside the active zone. Excitation of the active zone occurs when high-voltage pulses are switched by a pump source with an operating frequency of 15 kHz.

Keywords: metal vapor lasers, induction heating.

Разработана новая конструкция газоразрядной трубки лазеров на парах металлов с индукционным дозатором рабочего вещества и исследованы особенности ее работы. Результаты экспериментов показали, что такая конструкция имеет ряд преимуществ по сравнению с самонагревающейся конструкцией с расположением металла в зоне разряда [1]. Во-первых, независимая подача паров рабочего вещества в активную зону лазера позволяет изменять концентрацию паров металла и, следовательно, выходную мощность без изменения параметров источника питания [2]. Во-вторых, ресурсные характеристики лазера будут зависеть от объема дозатора и количества загруженного в него рабочего вещества. Кроме того, такая конструкция позволяет формировать направление катафореза и ударных волн с целью снижения эффекта удаления рабочего вещества в разрядной трубке холодной зоны, что также должно положительно влиять на срок службы лазера.

Отличительной особенностью индукционного нагревателя является наличие индуктора, представляющего собой индуктивную катушку. Во многом благодаря этому для большинства случаев предлагается использовать резонансные инверторы для систем индукционного нагрева [3]. Для обеспечения нагрева активного вещества в дозаторе до температур порядка 1500 °С, инвертору необходимо выдавать мощность на уровне 1–2 кВт длительное время. Учитывая это, более предпочтительной является мостовая схема резонансного инвертора. Для согласования уровней мощности последовательного колебательного LC-контура с выходной мощностью преобразователя используется понижающий согласующий трансформатор [4].

Для возбуждения активной среды использовался прямой разряд накопительного конденсатора на ГРТ через тиратрон. Мощность источника питания составляла 800 Вт, при напряжении питания 4 кВ и частоте 15 кГц. Накопительные конденсаторы были подобраны суммарной емкостью 680 пФ. Активная зона состояла из двух секций, между которыми располагался дозатор. Длина каждой из двух секций равнялась 70 мм, а диаметр – 5 мм. Давление буферного газа (неона) составляло 20 торр.

Пробой активной среды наступал при напряженности поля 535 В/см. Амплитуда импульса тока возбуждения достигает 200 А. Длительность импульса напряжения составила 100 нс, а импульса тока 125 нс. При достижении импульсом тока 110 А, наблюдалась стабильная генерация в импульсно-периодическом режиме с сохранением энергетических характеристик.

В рамках выполненной работы была получена генерация для атома меди. Существенным ограничением мощности генерации являются примеси, выделяющиеся из материалов дозатора при нагреве, что необходимо учитывать при выборе материалов.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ГЗ АААА А17-117021310150-0. Часть работы (исследование возможностей усиление оптических сигналов) поддержана Российским научным фондом, проект № 19-79-10096.

Список литературы:

1. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов – 2 : в 2 т. / под ред. В. М. Батенина. – Москва : Физматлит, 2009. – Т. 1. – 544 с.
2. Соломонов В. И. Некоторые характеристики лазеров на самоограниченных переходах в парах марганца и свинца / В. И. Соломонов // Квантовая электроника. – 1979. – Т. 6. – С. 1252.
3. Белоха, Г. С. Резонансный инвертор для индукционного нагрева с регулированием мощности нагрузки / Г. С. Белоха, Д. И. Морозов // Одесский национальный политехнический университет. – 2017. – № 25. – С. 132–138.
4. Болотовский, Ю. Согласование с нагрузкой в современных системах индукционного нагрева / Ю. Болотовский, Г. Таназлы // Силовая электроника. – 2007. – № 2.

Определение чувствительности активного элемента на парах бромиды меди при различных режимах работы

Н. А. Васнев, М. В. Тригуб, С. Н. Торгаев, Г. С. Евтушенко

Институт оптики атмосферы имени В. Е. Зуева СО РАН, Томск, contact@iao.ru

Проведена теоретическая и экспериментальная оценка собственного шума усилителя яркости с заданными параметрами ($l = 40$ см, $d = 4$ см, $P_{\text{Ne}} = 30$ торр) и чувствительности лазерного монитора на его основе. Показано, что чувствительность активного элемента зависит от его геометрических параметров, частоты следования импульсов возбуждения, а также режима работы усилителя. Установлено, что усиление слабого сигнала лежит в диапазоне $(0,26\text{--}0,20)$ см⁻¹; чувствительность усилителя мощности – в диапазоне от 2,07 мкВт (0,17 нДж) до 23,7 мкВт (1,98 нДж). Формирование усиленного изображения в схеме моностатического лазерного монитора наблюдается при входном сигнале не менее 1,56 мВт.

Ключевые слова: CuBr-лазер, квантовый усилитель, усилитель мощности, усилитель яркости, однопроходное усиление, собственный шум, чувствительность.

The theoretical and experimental evaluation of the intrinsic noise and sensitivity of a brightness amplifier with given parameters ($l = 40$ cm, $d = 4$ cm, $P_{\text{Ne}} = 30$ torr) and the sensitivity of a laser monitor based on it was carried out. It is shown that the sensitivity of the active element depends on its geometric parameters, the pulse repetition rate, as well as the operation mode of the amplifier. The amplification of a weak signal is in the range $(0.22\text{--}0.18)$ cm⁻¹. The sensitivity of the power amplifier ranges from 2.07 μW (0.17 nJ) to 23.7 μW (1.98 nJ). The formation of an amplified image in the form of a monostatic laser monitor with an input signal of at least 1.56 mW.

Keywords: CuBr-laser, quantum amplifier, power amplifier, brightness amplifier, single pass amplification, intrinsic noise, sensitivity.

Лазерные активные элементы на самоограниченных переходах в парах металлов могут быть использованы в качестве генераторов вынужденного излучения или в качестве квантовых усилителей [1]. В первом случае активный элемент снабжается оптическим резонатором (например, Фабри-Перо), что приводит к созданию положительной обратной связи. Для достижения наибольшей мощности лазерного излучения частоту следования импульсов возбуждения (ЧСИ) и температуру активного вещества (T_{CuBr}) увеличивают до предельно-допустимых значений. Использование активного элемента в качестве квантового усилителя не требует максимальной мощности генерации – его режим работы определяется исходя из усилительной характеристики (в задачах усиления мощности излучения), а также исходя из яркости и контраста формируемого изображения (в задачах визуально-оптической диагностики) [2].

Одной из характеристик квантового усилителя является его чувствительность, то есть минимальный уровень входного сигнала, при котором наблюдается его однопроходовое усиление. О наличии усиления судят исходя из соотношения мощностей выходного ($P_{\text{вых}}$) и входного ($P_{\text{вх}}$) излучения. Известно, что снижение входного сигнала приводит к росту коэффициента однопроходового усиления, а уменьшение входного сигнала ограничено собственным шумом квантового усилителя. Такой шум обусловлен спонтанным излучением по рабочему переходу и принято считать, что он является единственным неустраняемым источником помех, возникающих при работе с активными средами на парах металлов. Исходя из собственного шума усилителя оценивают и его чувствительность. Например, есть сведения, что чувствительность лазеров на парах бромида меди на спектральной линии λ_1 (510,6 нм) составляет 1.7 мкВт [3].

В данной работе представлены результаты теоретической и экспериментальной оценки собственного шума и чувствительности усилителя яркости на парах бромида меди с длиной активной зоны $l = 40$ см и диаметром $d = 4$ см. Теоретическая оценка отталкивалась от расчета доплеровского уширения по полувысоте для каждой спектральной линии ($\lambda_1 = 510,6$ нм; $\lambda_2 = 578,2$ нм):

$$\Delta\lambda_{1,2 D} = \frac{\lambda_{1,2} \cdot \Delta\nu_{1,2 D}}{\nu_{1,2}}. \quad (1)$$

Согласно формуле (1), находим: $\Delta\lambda_{1 D} = 2,051$ пм и $\Delta\lambda_{2 D} = 2,322$ пм.

Столкновительное уширение определялось по формуле:

$$\Delta\lambda_{1,2 S} = \frac{\lambda_{1,2} \cdot \Delta\nu_S}{\nu_{1,2}}. \quad (2)$$

Компонента $\Delta\nu_S$ формулы (2) была рассчитана с использованием таких параметров, как средняя температура газа T для активной среды на парах бромида меди (2000 К); давление буферного газа P_{Ne} , в качестве которого использовался неон ($4 \cdot 10^3$ Па); столкновительное сечение атомов меди и неона $\sigma_{\text{Cu Ne}}$ ($1,052 \cdot 10^{-13}$ мм²), а также их приведенная масса $m_{\text{Cu Ne}}$ ($2,544 \cdot 10^{-26}$ кг). В результате столкновительное уширение для каждой спектральной линии составило: $\Delta\lambda_{1 S} = 0.0140$ пм; $\Delta\lambda_{2 S} = 0.0179$ пм.

Такая существенная разница между доплеровским и столкновительным уширением (10^3) может быть обусловлена относительно малым давлением буферного газа.

Рассчитав доплеровское и столкновительное уширение для каждой спектральной линии, воспользуемся функцией расчета профиля Фойгта, которая учитывает их общий вклад:

$$G(\lambda) = \frac{\Delta\nu_{1,2} S}{\Delta\nu_{1,2} D \cdot \pi^{3/2}} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{-z^2}}{\left(\frac{\Delta\nu_{1,2} S}{\Delta\nu_{1,2} D} \cdot \sqrt{\ln(2)}\right)^2 + \left(\frac{c}{\lambda_{1,2}} \cdot \frac{\nu_{1,2}}{D} \cdot 2 \cdot \sqrt{\ln(2)} - z\right)^2} dz. \quad (3)$$

Функция (3) была использована для построения профиля уширения каждой спектральной линии. На основе полученных данных было установлено, что уширение по полувысоте составляет $\Delta\lambda_1 = 2.04$ пм и $\Delta\lambda_2 = 2.32$ пм, что практически соответствует рассчитанным ранее значениям ($\Delta\lambda_{1D} = 2.051$ пм и $\Delta\lambda_{2D} = 2.322$ пм).

Выразим среднюю мощность собственного шума усилителя яркости:

$$P_{\text{ср ш}}(f) = h \cdot \nu_{1,2} \cdot \Delta\nu_{1,2} \cdot \left(\frac{d^2}{\lambda_{1,2} \cdot l}\right)^2 \quad (4)$$

Известно, что варьирование ЧСИ (f) влечет за собой изменение времени инверсии, а также диаметра (d) лазерного пучка. Следовательно, указанные компоненты должны быть прописаны как функции от ЧСИ (f). Для этого будем использовать формулы, полученные на основе экспериментальных данных:

$$\tau_{\text{инв}}(f) = \tau_0 - 29,473 \cdot \left(1 - e^{-\frac{f}{t_1}}\right) - 25,948 \cdot \left(1 - e^{-\frac{f}{t_2}}\right) \quad (5)$$

$$d(f) = a - b \cdot \ln(f + c) \quad (6)$$

Для формулы (5) были подобраны следующие параметры: $\tau_0 = 68.95$, $t_1 = 5245.13$, $t_2 = 62164.12$.

Таким образом, для оценки энергии собственного шума была использована формула (4), в которой учитывалась длина активной зоны (l) усилителя яркости, а также зависимости времени инверсной населенности (τ) и диаметра лазерного пучка (d) от ЧСИ (f). Результат расчета показывает, что энергия шума уменьшается с ростом ЧСИ (f) – в Таблице 1 представлено несколько частных случаев расчета.

Таблица 1 – Результаты расчета

Частота следования импульсов (f), кГц	$\lambda_1 = 510,6$ нм		$\lambda_2 = 578,2$ нм	
	Средняя мощность ($P_{\text{ср ш}}$) собственного шума, Вт	Энергия ($E_{\text{имп ш}}$) собственного шума, Дж	Средняя мощность ($P_{\text{ср ш}}$) собственного шума, Вт	Энергия ($E_{\text{имп ш}}$) собственного шума, Дж
10	$0,18 \cdot 10^{-6}$	$18,98 \cdot 10^{-12}$	$0,12 \cdot 10^{-6}$	$11,54 \cdot 10^{-12}$
15	$0,24 \cdot 10^{-6}$	$15,81 \cdot 10^{-12}$	$0,14 \cdot 10^{-6}$	$9,61 \cdot 10^{-12}$
20	$0,27 \cdot 10^{-6}$	$13,70 \cdot 10^{-12}$	$0,17 \cdot 10^{-6}$	$8,33 \cdot 10^{-12}$
25	$0,30 \cdot 10^{-6}$	$12,07 \cdot 10^{-12}$	$0,18 \cdot 10^{-6}$	$7,34 \cdot 10^{-12}$

Есть сведения [3], что полезный сигнал должен превышать шум не менее, чем в 2 раза. Следовательно, это означает, что при ЧСИ = 10 кГц энергия входного сигнала с длиной волны 510,6 нм должна быть не ниже 37.96 пДж, а при ЧСИ = 15 кГц – не ниже 31.62 пДж и т.д.

На практике входным сигналом реализованного усилителя мощности ($l = 40$ см, $d = 440$ см, $P = 30$ торр) являлось излучение CuBr-лазера, которое ослаблялось нейтральными светофильтрами с различными коэффициентами пропускания. Минимальный уровень входного сигнала в рамках эксперимента составил 2.07 мкВт, на выходе при этом была зарегистрирована мощность излучения 117 мВт. Несмотря на то, что выходной сигнал многократно превышал входной, его мощность оказалась соизмерима с мощностью сверхсветимости P_0 (116 мВт) – следовательно, в данном случае некорректно утверждать, что в среде наблюдается однопроходовое усиление. Результаты, полученные экспериментальным путем, показывают, что предельно-допустимое значение входного сигнала (чувствительность усилителя) лежит в диапазоне от 2.07 мкВт (0.17 нДж) до 23.7 мкВт (1.98 нДж). Следовательно, полезный сигнал должен многократно превышать собственный шум усилителя (не меньше, чем на 3 порядка). Таким образом, усиление среды реализованного активного элемента лежит в диапазоне (0.26–0.20) см⁻¹.

Следует отметить, что данные выводы справедливы для работы активного элемента в режиме усилителя мощности; при использовании элемента в схеме моностатического лазерного монитора (в качестве усилителя яркости) чувствительность была определена иначе. Визуальная оценка сформированных изображений, распределение яркости пикселей и контраст по Веберу говорят о том, что в схеме моностатического лазерного монитора чувствительность усилителя яркости составляет 1.56 мВт. При визуализации особенно заметно влияние так называемых «технических» шумов, которые обусловлены отражением излучения от компонентов оптической системы. Для минимизации этой составляющей шума оптические компоненты следует располагать под некоторым углом относительно усилителя яркости.

Таким образом, показано, что чувствительность активного элемента зависит от его геометрических параметров (формула 4), ЧСИ (таблица 1), а также от режима работы.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 19-38-90042.

Список литературы:

1. Лазерная обработка объектов с одновременным визуальным контролем в системе Генератор – Усилитель на парах меди / К. И. Земсков, М. А. Казарян, В. М. Матвеев, Г. Г. Петраш, М. П. Самоснова, А. С. Скрипниченко // Квантовая электроника. – 1984. – Vol. 11, № 2, – С. 418–420.

2. Васнев, Н. А. Особенности работы усилителя яркости на парах бромида меди в схеме бистатического лазерного монитора / Н. А. Васнев, М. В. Тригуб, Г. С. Евтушенко // Оптика атмосферы и океана. – 2019. – Т. 32, № 03. – С. 247–253.

3. Оптические системы с усилителями яркости / под ред. Г. Г. Петраша // Труды ФИАН. – 1991. – Т. 206. – 152 с.

Цветная лазерная маркировка, как направление «научного искусства»

В. П. Вейко, Г. В. Одинцова, В. К. Лыонг, Д. С. Лугошина, А. А. Морозова

Национальный исследовательский университет ИТМО,
Санкт-Петербург, vadim.veiko@mail.ru

Рассмотрена возможность использования лазера в качестве универсального инструмента для создания живописных работ с помощью технологии цветной лазерной маркировки. Продемонстрирован метод, при котором использование лазера позволяет записать цветное изображение на поверхности металла, изменить цвета рисунка, а также удалить его при необходимости. Рассмотрены перспективы использования этого направления в художественном творчестве на стыке искусства и науки.

Ключевые слова: лазер, маркировка, окрашивание, интерференция, металлы.

The paper discusses the possibility of using a laser as a universal tool for creating artwork using color laser marking technology.

A method is demonstrated in which the use of a laser allows to receive a color image the metal surface, to achieve controlled rewriting of colors, as well as their removal due to repeated laser exposure. The prospects of using the om research results in the further development of the direction at the intersection of art and science are also considered.

Keywords: laser, marking, staining, interference, metals.

Развитие науки в последние века позволило человечеству узнать много нового не только об окружающем мире, но и о самом себе. Способность человека анализировать, систематизировать и применять знания привела к процессам, связанным не только с познанием, но и с творчеством. В свою очередь, изучение последнего способно стать ключом к пониманию человеческой природы, его сознания и подсознания. Именно поэтому важную роль в современных исследованиях занимает связь научной и художественной деятельности.

Искусство последних десятилетий стремительно развивается, активно используя в своих произведениях передовые исследования науки. Лазерное искусство является наглядным доказательством такого взаимодействия [1]. Однако, до сих пор исследования в области лазерного искусства не затрагивали тему возможности использования лазера в качестве универсального инструмента, позволяющего создавать полноцветные живописные художественные произведения так же, как это делает человек с помощью кисти и красок. При этом лазерная обработка материалов в совокупности с художественными приемами человека способны открыть новое направление в «научном искусстве».

В настоящее время для окрашивания поверхности металлов успешно применяется технология цветной лазерной маркировки. Данная технология является одной из самых перспективных для локального окрашивания поверхности металлов с целью применения в области искусства [2]. Лазерное окрашивание металлических поверхностей обеспечивает высокое разрешение получаемых изображений, широкую палитру цветов, а также позволяет контролировать результат с высокой точностью, что дает практически неограниченный потенциал для творческой работы [3].

Однако, несмотря на все свои преимущества, для применения данного метода в художественных целях до настоящего времени отсутствовали инструменты, позволяющие изменять получившееся изображение после нанесения, в связи с этим – сложность внедрения данной технологии в искусство.

Основная идея использования лазера заключается в том, что вместо привычного холста художник использует металл, а в качестве красок – цветные оксидные пленки металлов, которые образуются при локальном лазерном нагревании металлов на воздухе. Однако, создание лазерных картин подразумевает также возможность использования всех художественных приемов, которыми владеет художник, с помощью лазерного инструмента. Поэтому необходимо было дать возможность лазеру стирать получаемые цвета, а также изменять их уже после нанесения так как это делает человек во время рисования. В связи с этим метод цветной лазерной маркировки был усовершенствован в соответствии с новыми требованиями.

В качестве материала для экспериментов были использованы отполированные титановые пластины толщиной 0,5 мм. Выбор материала объясняется тем, что на поверхности титана при нагреве в воздушной среде образуются оксидные пленки различной толщины, способные за счет интерференции окрасить поверхность металла в широком цветовом диапазоне [4]. В качестве оборудования была использована установка на базе импульсного иттербиевого волоконного лазера.

На практике реализовать представленную идею оказалось возможным благодаря нагреванию материала подложки до температур, превышающих температуру кипения (выше 3000K для Ti), что обеспечили режимы лазерного воздействия с постоянными значениями плотности мощности лазера $q = 1.02 \cdot 10^7$ Вт/см², частоте повторения $f = 900$ кГц, длительности импульса $\tau = 100$ нс и изменяемой скоростью сканирования.

Вследствие лазерного нагрева выше температуры кипения часть материала соответственно испаряется, а наблюдаемый после воздействия цвет образуется благодаря тонкой оксидной пленке, возникающей на стадии остывания материала. Таким образом, возможна лазерная перезапись цвета, когда оксидная пленка, полученная в результате первичного воздействия, будет испаряться, после чего будет появляться новая оксидная пленка с необходимыми колориметрическими характеристиками.

Также было выяснено, что данный механизм применим и для случаев, когда нам необходимо удалить визуально наблюдаемый цвет. Для этого материал подложки необходимо обрабатывать при режимах, обеспечивающих высокую скорость сканирования лазерного пучка ($V_{\text{скС}} = 1000 - 1500$ мм/с), при неизменных прочих параметрах лазерного излучения. Скорость сканирования обеспечивает условия, при которых остывание материала подложки будет происходить значительно быстрее, чем в режиме перезаписи ($V_{\text{скП}} = 100 - 500$ мм/с), таким образом, оксидный слой с толщиной, достаточной для наблюдения цвета, не успевает образовываться, что, в свою очередь, позволяет осуществлять режим стирания цвета.

Режимы лазерной перезаписи и стирания за счет использования высокой плотности мощности лазерного излучения позволили увеличить скорость обработки и, как следствие, улучшить производительность технологии со значения $2 \text{ см}^2/\text{мин}$ [5] до значения $12.5 \text{ см}^2/\text{мин}$, свойственных монохромной лазерной маркировке. Данное преимущество открывает новые перспективы для использования лазера в качестве универсального художественного инструмента.

Важно понимать, что главная особенность процесса создания произведения искусства художником заключается в его возможности отойти от первоначального замысла в процессе создания изображения, что недоступно для программы маркировки. Поэтому все вышеперечисленные методы легли в основу создания более совершенного инструмента – лазерной кисти. Предполагается, что управлять лазерным излучением будет сам человек, который сможет непосредственно участвовать в процессе создания предмета искусства без ограничений своего творческого потенциала.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Постановления Правительства от 09.04.2010 г. № 218, Соглашение № 075-11-2019-066 от 22.11.2019.

Список литературы:

1. Laser coloration of metals in visual art and design / Y. M. Andreeva, V. C. Luong, D. S. Lutoshina, O. S. Medvedev, V. Y. Mikhailovskii, M. K. Moskvina, G. V. Odintsova, V. V. Romanov, N. N. Shchedrina, V. P. Veiko // Optical Materials Express. – 2019. – Vol. 9, № 3. – P. 1310–1319.
2. Возможности технологии цветной лазерной маркировки "Colorit" / Г. В. Одицова, В. П. Вейко, С. Г. Горный, В. Лыонг, М. К. Москвин, В. В. Романов, Н. Н. Щедрина, Д. С. Лутошина, Д. А. Антипенкова, М. С. Кутепова // Фотоника. – 2018. – Т. 12, вып. 6 (74). – С. 568–575.
3. Controlled nanostructures formation on stainless steel by short laser pulses for products protection against falsification / E. I. Ageev, V. P. Veiko, E. A. Vlasova, Y. Y. Karlagina, A. S. Krivonosov, M. K. Moskvina, G. V. Odintsova, V. E. Pshenichnov, V. V. Romanov, R. M. Yatsuk // Optics express. – 2018. – Vol. 26, № 2. – P. 2117–2122.

4. Corrigendum to “Laser coloration of titanium films: New development for jewelry and decoration” [Opt. Laser Technol. 93 (2017) 9–13] / V. P. Veiko, G. V. Odintsova, E. A. Vlasova, Y. M. Andreeva, A. Krivonosov, E. I. Ageev, E. V. Gorbunova // Optics and laser technology. – 2018. – Vol. 98. – P. 416.

5. Veiko V. Development of complete color palette based on spectrophotometric measurements of steel oxidation results for enhancement of color laser marking technology / V. P. Veiko, G. Odintsona, E. Gorbunova, E. Aqeew, A. Shimko, Y. Karlaqina, Ya. Andreeva // Materials & Design. – 2016. – Vol. 89. – P. 684–688.

Обработка изображений теневого фонового метода цифровыми методами поля направлений

Н. М. Скорнякова

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, *nmskorn@mail.ru*

В среде Mathcad разработан алгоритм обработки изображений теневого фонового метода с использованием теории цифровых методов поля направления. В частности, проведены предварительная цифровая фильтрация изображения для выделения полезного сигнала из шумов, сканирование изображения областью опроса, изменение размера области опроса и шага сканирования (сканирование встык и с перекрытием), а также обработка изображения методом параметрической аппроксимации плоскостью. Созданная программа позволяет рассчитывать коэффициенты аппроксимирующей функции отдельно в каждой области опроса, строить распределение градиента яркости в пространстве и создавать векторное поле.

Ключевые слова: методы поля направлений, теневой фоновый метод, цифровая обработка изображений.

Using the theory of digital methods of the direction field, an algorithm for processing images of the background-oriented schlieren method was developed in the Mathcad environment. In particular, preliminary digital filtering of the image was carried out to isolate the useful signal from the noise, the image was scanned by the interrogation area, the size of the interrogation area and the scanning step were changed (end-to-end and overlapping scanning), as well as image processing by the method of parametric plane approximation. The created program allows calculating the coefficients of the approximating function separately in each survey area, constructing the distribution of the brightness gradient in space and creating a vector field.

Key words: direction field methods, shadow background method, digital image processing.

Для обработки картин визуализации теневого фонового метода (ТФМ) можно использовать цифровые методы поля направлений. Полем направлений называется геометрическая интерпретация множества линейных элементов, соответствующих обыкновенному дифференциальному уравнению, которое в случае двух переменных имеет следующий вид:

$$\frac{dx_2}{dx_1} = g(x_1, x_2).$$

Линейным элементом называется набор чисел $x_1, x_2, g(x_1, x_2)$, который можно представить как совокупность точки $(x_1, x_2) \in G \subset R^2$ и соответствующего ей направления с направляющими косинусами

$$\left(\frac{1}{\sqrt{1+g^2(x_1, x_2)}}, \frac{g(x_1, x_2)}{\sqrt{1+g^2(x_1, x_2)}} \right),$$

которое отображается отрезком малой длины, проходящим через эту точку параллельно вектору $(1, g(x_1, x_2))$.

В математике понятие поля направлений используется, в основном, для качественной интерпретации поведения интегральных кривых и приближенного графического решения дифференциальных уравнений. В монографии К. Мардиа [1], приводится описание теории статистического анализа угловых наблюдений. Однако эта теория неприменима для анализа квазипериодических структур, так как основана на традиционной векторной арифметике. В подходе Мардиа к определению поля направлений важным является знак направления, то есть углы α и $\alpha + 180^\circ$ считаются различными. При обработке изображений не имеет смысла понятие знака направлений линии и поэтому данная теория требует доработки для операций усреднения, фильтрации, оценки и др. В работах Сойфера [2] понятие поля направлений адаптировано для использования в анализе изображений.

Рассмотрим произвольную функцию яркости изображения $f(x_1, x_2)$, которую будем считать гладкой, то есть имеющей непрерывные частные производные первого порядка. Рассмотрим множество кривых на плоскости (x_1, x_2) , соответствующих линиям уровня функции яркости изображения:

$$f(x_1, x_2) = f_0.$$

Легко видеть, что множество касательных к линиям в соответствии с определением образует поле направлений при

$$g(x_1, x_2) = -\frac{\partial f(x_1, x_2)/\partial x_1}{\partial f(x_1, x_2)/\partial x_2}.$$

Таким образом, классическое определение поля направлений приводит к функции $\psi(x_1, x_2)$, которая имеет физический смысл угла наклона касательной к линии уровня функции яркости изображения и задается следующим уравнением:

$$\operatorname{tg} \psi(x_1, x_2) = -\frac{\partial f(x_1, x_2)/\partial x_1}{\partial f(x_1, x_2)/\partial x_2}, \quad 0 \leq \psi(x_1, x_2) \leq \pi.$$

Очевидной является связь поля направлений с градиентом функции яркости: угол $\psi(x_1, x_2)$ задает направление, перпендикулярное вектору градиента $(\partial f(x_1, x_2)/\partial x_1, \partial f(x_1, x_2)/\partial x_2)$. Характерным отличием поля направлений от поля углов вектора градиента является область значений: $[0, \pi)$ в отличие от $[0, 2\pi)$.

Непосредственное использование численного дифференцирования по определению для цифрового построения поля направлений возможно лишь для «гладких» изображений при условии полного отсутствия шу-

мов наблюдения. На практике необходимо использовать помехоустойчивые методы построения поля направлений, основанные на аппроксимации и усреднении.

Используя различные модели представления поля направлений, выделим пять обширных классов методов его построения: методы параметрической аппроксимации, проекционно- дисперсионные и дифференциальные методы, методы локальных градиентов и спектральные методы. В данной работе будет представлено применение двух методов к картинам теневого фонового метода: метод параметрической аппроксимации и метод локальных градиентов.

Путем обработки результатов экспериментальных исследований будет показана применимость цифровых методов поля направлений к изображениям теневого фонового метода. Результаты обработки изображений и теоретические предсказания наблюдаемых физических процессов совпадают.

Список литературы:

1. Мардиа, К. Статистический анализ угловых наблюдений / К. Мардиа. – Москва : Физматлит, 1978. – 240 с.
2. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В. А. Сойфера. – 2-е изд., испр. – Москва : Физматлит, 2003. – 784 с.

Разработка компактного лазерного сканера для решения задач реверс-инжиниринга

А. С. Киселев, Е. А. Смирнов, В. Г. Смоляк

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет ЛЭТИ,
Санкт-Петербург, smirnovea@etu.ru

Предложен прототип стенда по лазерному 3D-сканированию. Разработан 3D-сканер, позволяющий получать трехмерные модели объектов с последующим их использованием для решения задач реверс-инжиниринга и прототипизации.

Ключевые слова: 3D-сканирование, 3D-сканер, лазерная триангуляция.

The purpose of this work was to create a prototype stand for laser 3D scanning. The developed 3D scanner allows you to obtain three-dimensional models of objects, with their subsequent use to solve the problems of reverse engineering and prototyping.

Keywords: 3D scanning, 3D scanner, laser triangulation.

В настоящее время 3D-сканирование используется повсеместно практически во всех сферах жизни общества, начиная от сложных научных и инженерных задач, и заканчивая использованием в игровой индустрии и кинематографе. На производстве 3D-сканеры регулируют точность сборки устройств, а на киноплощадке переносят актеров в вымышленные миры.

Поэтому так важно, на сегодняшний день, быть подкованным в области трехмерного сканирования, понимать, как этот процесс устроен и

дать возможность студентам проводить исследования на самые современные темы.

В процессе проектирования стенда, в качестве методики сканирования была выбрана и использована методика лазерного бесконтактного активного триангуляционного сканирования, которая основана на расчете расстояния до точки на объекте, путем вычисления сторон треугольника, который формируют камера, лазер и объект. Данный метод был выбран, так как способен обеспечить высокий уровень точности при меньших технических трудностях [1].

При помощи программного обеспечения КОМПАС-3D были спроектированы две модели стенда. Первая модель предполагает сборку по спроектированному образцу, с соблюдением лабораторного уровня точности, вторая является упрощенным вариантом первой модели и была собрана и протестирована.

Первая модель представляет собой куб из тонких листов фанеры. Куб состоит из двух основных ярусов. Верхний ярус является основным, на нем расположен поворотный стол, веб-камера и лазер. Нижний ярус лишен задней стенки для лучшего вентилирования, так как на нем расположены основные управляющие элементы: мотор, микроконтроллер и драйвер двигателя.

Макет стенда, собранный по второй модели, представляет собой каркас из картона с расположенными на нем электронными компонентами. Здесь отсутствует более продвинутая система креплений и охлаждения, однако основные функции макет выполняет на хорошем уровне.

В качестве двигателя был использован наиболее популярный его вид – биполярный шаговый двигатель типоразмера Nema 17. В роли камеры была использована веб-камера фирмы A4Tech, с разрешением матрицы 640×480 пикселей и фоторазрешением 5 Мп. Главным критерием выбора камеры было как можно более ее разрешение, вкупе с фоторазрешением. Лазерный модуль, используемый в работе, имел длину волны 650 нм и был оснащен цилиндрической линзой для получения пучка линейной формы. Плата ArduinoUNO использовалась в качестве микроконтроллера. Для нее была написана программа на языке программирования C++. Для управления двигателем был использован драйвер L298N, основанный на двух H-мостах [2].

В качестве программы, реализующей метод лазерного триангуляционного сканирования, была использована программа FabScan. Данный выбор обусловлен тем, что программа распространяется разработчиками бесплатно и обладает открытым кодом конфигураций, который можно настроить под свое устройство.

Для обеспечения точной работы ПО была произведена его калибровка. Для этого измерялось точное местоположение активных элементов сканирования и эти данные вносились в файл конфигурации ПО, помимо этого туда вносились технические характеристики используемых устройств.

После калибровки объект сканирования устанавливался на поворотный столик и начиналось сканирование. По окончании процесса результат сохранялся в ply формате, который представляет из себя набор координат по трем осям, и в дальнейшем обрабатывался в программе MeshLab. Результат обработки представляет собой готовую 3D-модель в формате stl [3].

В качестве проверки работоспособности построенного стенда были проведены сканирования четырех объектов разной формы, при этом каждое полученное сканирование раскрывало возможности стенда.

Первым объектом была упаковка таблеток. В результате сканирования, трехмерная модель практически идеально повторяет геометрические формы объекта, максимальное различие составляет 0.4 см, что для макета отличный результат.

Вторым объектом сканирования служила миниатюрная силиконовая прокладка, при помощи которой, эмпирически были определены минимальные рабочие размеры объектов, когда детализация еще сохраняется на хорошем уровне. Эти размеры составили 3 см.

Третьим объектом был малярный скотч, который сканировался для демонстрации возможности построения модели при помощи ПО КОМПАС 3D. После получения stl файла, на его основе строилась трехмерная модель средствами проектирования КОМПАС 3D. Данный метод проектирования позволил практически полностью избавиться от неровностей и неточностей первоначальной stl модели и очень точно отражает начальную геометрию объекта.

Последним объектом сканирования была колода карт. Данный объект приведен для демонстрации возможности сканирования прямоугольных объектов. Так как при попадании лазерного излучения на грань, дальнейший поворот тела может вывести излучение из угла обзора камеры, делая невозможным сканирование объекта. В реализованной модели сканера эта проблема решена путем использования метода проектирования при помощи среды КОМПАС 3D. При этом, модель объекта получилось весьма точной.

В итоге основной особенностью разработанного стенда является то, что, будучи собранным в бытовых условиях макет уже демонстрирует хорошие результаты, следовательно, реализованный по первоначальному проекту сканнер показал бы еще более эффективный результат. При этом уже сейчас макет является полностью оборудованным и готовым стендом для получения трехмерных моделей объектов и для изучения процесса 3D-сканирования.

Несомненными плюсами стенда являются:

- компактность;
- использование ПО с открытым кодом и работа на ОС Linux;
- хорошие результаты при небольшом времени сканирования (до 10 минут);

- возможность доступа ко всем электронным компонентам сканера;
- готовая модель для улучшения характеристик устройства.

В итоге можно сделать вывод о том, что спроектированный и разработанный сканер полностью справляется со своими функциями и является полноценным рабочим стендом для трехмерного сканирования.

Список литературы:

1. Appleton, R. W. Additive manufacturing overview for the United States Marine Corps / R. W. Appleton ; RW Appleton and Company Inc. – Sterling Heights, MI : Tech. Rep, 2014. – 26 p.
2. Гужов, В. И. Методы измерения 3D-профиля объектов. Контактные, триангуляционные системы и методы структурированного освещения : учеб. пособие / В. И. Гужов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. – 82 с.
3. Красильников, Н. Н. Цифровая обработка 2D-и 3D-изображений : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Красильников. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. – 608 с.

Расчет вибрации ползуна на токарно-карусельном станке

В. Ф. Безъязычный¹, А. Н. Чукарин², П. В. Чумак³

¹ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева»

²ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»

³ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»

Установлены расчетные зависимости по определению амплитуды вибрации ползунов станков токарной группы, в частности ползунов токарно-карусельных станков серии VM, проходных и расточных резцов. Определены виброскорости колебаний в направлении осей координат, по которым фактически и находят амплитуды деформаций. В результате исследования были установлены зависимости по определению амплитуды деформаций, среднеквадратичных значений скоростей колебаний, влияющих на погрешность обработки деталей на токарно-карусельных станках.

Ключевые слова: станок, вибрация, ползун, погрешность, точность, деформация.

Computation dependences on the definition of vibration amplitude in machine sliding blocks of a lathe group, in particular, sliding blocks of boring lathes of VM series, feed through cutters and boring ones are defined. Vibration speeds of oscillations in the direction of coordinate axes with the aid of which one defines actually amplitudes of deformations are defined. As a result of investigations there are determined dependences to obtain amplitudes of deformations, mean-square values of oscillation speeds affecting errors at parts machining on boring lathes.

Keywords: machine; vibration; sliding block; error; accuracy; deformation.

Операции механической обработки деталей следует осуществлять с управлением амплитудами вынужденных колебаний режущего инструмента на основных режимах. При этом наблюдается изменение амплитуд компонент вибрации, особенно в переходных процессах. Поэтому следует изучать вибрации, влияющие на точность обработки при изготовлении деталей.

Одним из наименее жестких элементов станка при обработке является ползун, поэтому в данной работе рассмотрены вибрации этого элемента станка.

Построение модели возбуждения вибраций ползуна основано на том, что к консольно закреплённой балке прямоугольного сечения и постоянной жесткости (рисунок 1) в момент времени $t = 0$ с прикладываются составляющие сил резания (P_z , P_x и P_y) и сохраняют свое воздействие в течение всего времени процесса обработки детали.

Предполагая, что жесткость ползуна постоянна, записываем приближенное дифференциальное уравнение упругой линии ползуна [1]:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \zeta(P \cdot x - P \cdot l); \quad (1)$$

где ζ – коэффициент, характеризующий механические свойства материала:

$$\zeta = (E \cdot J)^{-1};$$

$E = 2,15 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости материала ползуна 1 рода, марка стали ползуна 30ХГСА; J – момент инерции ползуна (режущего инструмента) в направлении соответствующих осей координат OZ и OY , m^4 ; P – составляющая силы резания в направлении соответствующих осей координат OZ и OY , H ; l – вылет ползуна (инструмента) из закрепленной части суппорта, m ; x – текущая координата приложения силы резания относительно места крепления ползуна (инструмента), m .

В этом случае с учетом того, что ползун изготавливается из соответствующей марки стали, дифференциальное уравнение (1) в направлении соответствующих осей координат OZ и OY , принимает вид [2]:

$$\begin{aligned} \frac{d^4 \xi}{dx^4} + 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F_c} \frac{d^4 \xi}{dx^4} &= \frac{P_z(t) \cdot \delta(x - x_0)}{7,8 \cdot 10^3 b \cdot h \cdot l}, \\ \frac{d^4 \varepsilon}{dx^4} + 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F_c} \frac{d^4 \varepsilon}{dx^4} &= \frac{P_y(t) \cdot \delta(x - x_0)}{7,8 \cdot 10^3 b \cdot h \cdot l}, \end{aligned} \quad (2)$$

где b и h – ширина и высота ползуна, m ; $\delta(x - x_0)$ – дельта функция, смещенная по координате; t – функция времени; F_c – площадь поперечного сечения ползуна, m^2 ; x_0 – координата приложения силы резания относительно места крепления ползуна, m ; ξ и ε – деформация ползуна в направлении осей OZ и OY (рис. 1); P_z и P_y – составляющие сил резания, рассчитываются по методике [3], H .

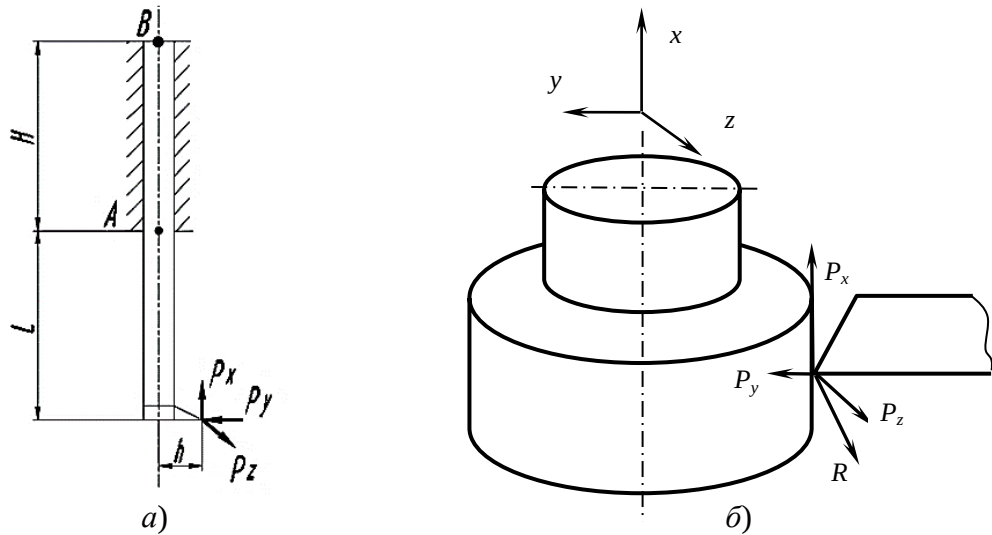


Рис. 1. Ползун и силы резания токарно-карусельного станка.
а – схема закрепления ползуна; б – силы резания при токарной обработке

В соответствии с краевыми условиями для консольно-закрепленного ползуна разложение дельта функции в ряд принимает вид [1]:

$$\delta(x - x_0) = \sum_{\kappa=1}^{\kappa^*} \frac{2}{l} \int_0^l \delta(x - x_0) \cdot \cos^3 \frac{2\kappa-1}{2l} \pi \cdot x \cdot dx = \frac{2}{l} \sum_{\kappa=1}^{\kappa^*} \cos^3 \frac{2\kappa-1}{2l} \pi \cdot x_0 = \frac{2}{l}, \quad (3)$$

где $\kappa = 1, 2, 3, \dots$ коэффициенты мод собственных колебаний ползуна; κ^* – количество частот колебаний режущего инструмента в нормируемом диапазоне акустических характеристик (22–11200 Гц).

Тогда дифференциальное уравнение колебаний ползуна определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \xi}{dt^2} + 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_z}{F_c} \frac{d^4 \xi}{dx^4} &= \frac{P_z(1 + 0,3 \cos \omega \cdot t)}{3,9 \cdot 10^3 F_c \cdot l^2} \sum_{\kappa=1}^{\kappa^*} \cos^3 \frac{2\kappa-1}{2l} \pi \cdot x \\ \frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} + 2,7 \cdot 10^4 \frac{J_y}{F_c} \frac{d^4 \varepsilon}{dx^4} &= \frac{P_y(1 + 0,3 \cos \omega \cdot t)}{3,9 \cdot 10^3 F_c \cdot l^2} \sum_{\kappa=1}^{\kappa^*} \cos^3 \frac{2\kappa-1}{2l} \pi \cdot x, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\omega = 2\pi f$ – частота стружкообразования, рад/с; f – собственная частота колебаний, Гц.

По данным работы [4] собственные частоты колебаний f для ползуна принимает вид:

$$f = 2 \cdot 10^{-3} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^2 \sqrt{\frac{J}{F_c}}, \quad (5)$$

где F_c – площадь поперечного сечения ползуна, м^2 ; l – вылет ползуна из закрепленной части суппорта, м.

Их можно представить в виде полинома в зависимости от скорости резания и подачи [5]. Применяя метод разделения переменных преобразуем уравнение (4), получим следующие зависимости:

$$\frac{d^2\xi_{11}}{dt^2} + 1,3 \cdot 10^7 \frac{J_z}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 \xi_{11} = \sum_{\kappa=1}^{\kappa^*} \frac{6,4 \cdot 10^{-5} P_z (1 + 0,3 \cos \omega \cdot t)}{F_c \cdot l^2} \quad (6)$$

$$\frac{d^2\xi_{12}}{dt^2} + 1,7 \cdot 10^5 \frac{J_z}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 \xi_{12} = \sum_{\kappa=1}^{\kappa^*} \frac{6,4 \cdot 10^{-5} P_z (1 + 0,3 \cos \omega \cdot t)}{F_c \cdot l^2}$$

$$\frac{d^2\varepsilon_{11}}{dt^2} + 1,3 \cdot 10^7 \frac{J_y}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 \varepsilon_{11} = \sum_{\kappa=1}^{\kappa^*} \frac{6,4 \cdot 10^{-5} P_y (1 + 0,3 \cos \omega \cdot t)}{F_c \cdot l^2} \quad (7)$$

$$\frac{d^2\varepsilon_{12}}{dt^2} + 1,7 \cdot 10^5 \frac{J_y}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 \varepsilon_{12} = \sum_{\kappa=1}^{\kappa^*} \frac{6,4 \cdot 10^{-5} P_y (1 + 0,3 \cos \omega \cdot t)}{F_c \cdot l^2}$$

где ξ_{11} , ξ_{12} и ε_{11} , ε_{12} – ряд деформаций ползуна в направлении осей OZ и OY соответственно.

Решение полученных уравнений представлено формулами (8) и (9):

$$\xi_{11} = \sum \left[\frac{1,6 \cdot 10^{-12} P_z \cdot l^3}{J_z} \cos 3,6 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{J_z}{F_c}} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^2 + \frac{2 \cdot 10^{-5} P_z \cos \omega \cdot t}{1,7 \cdot 10^7 \frac{J_z}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 - \omega^2} \right] \times$$

$$\times \cos 4,7 \frac{2\kappa-1}{l} \pi \cdot x \quad (8)$$

$$\xi_{12} = \sum \left[\frac{1,6 \cdot 10^{-12} P_z \cdot l^3}{J_z} \cos 4 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{J_z}{F_c}} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^2 t + \frac{6 \cdot 10^{-5} P_z \cos \omega \cdot t}{1,7 \cdot 10^5 \frac{J_z}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 - \omega^2} \right] \times$$

$$\times \cos \frac{2\kappa-1}{l} \pi \cdot x$$

$$\varepsilon_{11} = \sum \left[\frac{1,6 \cdot 10^{-12} P_y \cdot l^3}{J_y} \cos 3,6 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{J_y}{F_c}} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^2 + \frac{2 \cdot 10^{-5} P_y \cos \omega \cdot t}{1,7 \cdot 10^7 \frac{J_y}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 - \omega^2} \right] \times$$

$$\times \cos 4,7 \frac{2\kappa-1}{l} \pi \cdot x \quad (9)$$

$$\varepsilon_{12} = \sum \left[\frac{1,6 \cdot 10^{-12} P_y \cdot l^3}{J_y} \cos 4 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{J_y}{F_c}} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^2 t + \frac{6 \cdot 10^{-5} P_y \cos \omega \cdot t}{1,7 \cdot 10^5 \frac{J_y}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 - \omega^2} \right] \times$$

$$\times \cos \frac{2\kappa-1}{l} \pi \cdot x$$

Воспользуемся частным решением вынужденных колебаний инструмента [4]. Тогда действительная часть деформаций определяется по следующим зависимостям:

$$R_e \{ \xi_{11} \} = \sum_{\kappa=1}^{\kappa^*} \frac{2 \cdot 10^{-5} P_z \cos \omega \cdot t \left[1.3 \cdot 10^7 \frac{J_z}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 - \omega^2 \right] \cos 4.7 \frac{2\kappa-1}{l} x \cdot t}{\left[1.3 \cdot 10^7 \frac{J_z}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 - \omega^2 \right] + 1.7 \cdot 10^5 \left(\frac{J_z}{F_c} \right)^2 \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^8 \eta^2} \quad (10)$$

$$R_e \{ \xi_{12} \} = \sum_{\kappa=1}^{\kappa^*} \frac{6 \cdot 10^{-5} P_z \cos \omega \cdot t \left[1.7 \cdot 10^5 \frac{J_z}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 - \omega^2 \right] \cos 1.6 \frac{2\kappa-1}{l} x \cdot t}{\left[1.7 \cdot 10^5 \frac{J_z}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 - \omega^2 \right] + 3 \cdot 10^{10} \left(\frac{J_z}{F_c} \right)^2 \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^8 \eta^2}$$

$$R_e \{ \varepsilon_{11} \} = \sum_{\kappa=1}^{\kappa^*} \frac{2 \cdot 10^{-5} P_y \cos \omega \cdot t \left[1.3 \cdot 10^7 \frac{J_y}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 - \omega^2 \right] \cos 4.7 \frac{2\kappa-1}{l} x \cdot t}{\left[1.3 \cdot 10^7 \frac{J_y}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 - \omega^2 \right] + 1.7 \cdot 10^5 \left(\frac{J_y}{F_c} \right)^2 \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^8 \eta^2} \quad (11)$$

$$R_e \{ \varepsilon_{12} \} = \sum_{\kappa=1}^{\kappa^*} \frac{6 \cdot 10^{-5} P_y \cos \omega \cdot t \left[1.7 \cdot 10^5 \frac{J_y}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 - \omega^2 \right] \cos 1.6 \frac{2\kappa-1}{l} x \cdot t}{\left[1.7 \cdot 10^5 \frac{J_y}{F_c} \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^4 - \omega^2 \right] + 3 \cdot 10^{10} \left(\frac{J_y}{F_c} \right)^2 \left(\frac{2\kappa-1}{l} \right)^8 \eta^2}$$

где η – коэффициент потерь колебательной энергии.

Скорости колебаний в направлении осей координат можно определить, продифференцировав зависимости (10) и (11) по времени.

$$V_{\kappa z1} = \frac{\partial R_e \{ \xi_{11} \}}{\partial t} \quad (12)$$

$$V_{\kappa z2} = \frac{\partial R_e \{ \xi_{12} \}}{\partial t}$$

$$V_{\kappa y1} = \frac{\partial R_e \{ \varepsilon_{11} \}}{\partial t} \quad (13)$$

$$V_{\kappa y2} = \frac{\partial R_e \{ \varepsilon_{12} \}}{\partial t}$$

Среднеквадратичные значения скоростей колебаний, по которым фактически и находят октавные уровни скорости, определяют по следующим зависимостям [4]:

$$V_{\kappa} = \sqrt{(V_{\kappa z1} + V_{\kappa z2})^2 + (V_{\kappa y1} + V_{\kappa y2})^2}. \quad (14)$$

Уровни виброскорости составляют [4]:

$$L_{V_{\kappa}} = 20 \lg \frac{V_{\kappa}}{5 \cdot 10^{-8}} = 20 \lg V_{\kappa} + 146. \quad (15)$$

Расчет значения V_k по формулам (12)–(14), с использованием электронно-вычислительных устройств не представляет сложности, но для более быстрой оценки этой погрешности и использования результатов в производстве целесообразно получить более простую зависимость на основе численных значений уровней виброскорости представленных в работе [4]. Из выражения (15) определена скорость колебаний в следующем виде:

$$V_k = 10^{0,05L_{V_k}-7,3}, \quad (16)$$

где L_{V_k} – уровень виброскорости, дБ.

Для определения составляющих силы резания, на примере ползуна токарно-карусельного станка воспользуемся методикой, приведенной в работе [3].

Суммарная погрешность обработки, обусловленная режимом резания и другими технологическими параметрами процесса обработки, имеет следующий вид [3]:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{жс} - \Delta_{L_p} - \Delta_{R_H} - \Delta_{изн}, \quad (17)$$

где $\Delta_{жс}$ – погрешность, обусловленная недостаточной жесткостью технологической системы СПИЗ; Δ_{L_p} – погрешность, возникающая вследствие температурных деформаций режущего инструмента; Δ_{R_H} – погрешность, обусловленная температурной деформацией обрабатываемой заготовки; $\Delta_{изн}$ – погрешность, связанная с износом режущего инструмента.

Все составляющие суммарной погрешности (Δ_{L_p} , Δ_{R_H} и $\Delta_{изн}$) кроме $\Delta_{жс}$ могут быть определены по зависимостям, полученным в ранее выполненных работах [3]. Результаты расчетов при обработке заготовки с длиной участка $L_{AB} = 0,1$ м приведены в табл. 3. Погрешность обработки $\Delta_{жс}$ применительно к токарно-карусельному станку следует определить, учитывая, что она изменяется в процессе обработки деталей.

Определим погрешность, обусловленную недостаточной жесткостью ползуна прямоугольного поперечного сечения (250×280), при двух вылетах ползуна из закрепленной части суппорта по формуле [1]:

$$\Delta_{жс_{прям}} = 0,017 P_z^{0,9} \cdot L^{2,1 P_z^{0,022}} \quad (18)$$

В качестве примера, расчеты выполнены для собственной частоты колебаний $f = 125 \text{ Гц}$, так как по экспериментальным данным работы [2] при этой частоте зафиксирован наибольший уровень виброскорости и его численное значение при двух вылетах ползуна составляет $L_{V_{k1}} = 75 \text{ дБ}$ и $L_{V_{k2}} = 81 \text{ дБ}$. Значение среднеквадратичной скорости колебаний определяют по зависимости (16), для указанной частоты и при двух вылетах ползуна ($l_1 = 0,43$ м и $l_2 = 1,0$ м) составляет соответственно $V_{k1} = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ и $V_{k2} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$.

Тогда амплитуды деформаций при $f = 125 \text{ Гц}$ составляют [1]:

$$\lambda = \frac{V_k}{f} \quad (19)$$

для вылета ползуна $l_1 = 0,43 \text{ м}$:

$$\lambda_1 = \frac{V_{k1}}{f} = \frac{2,8 \cdot 10^{-4}}{125} = 2,25 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

для вылета ползуна $l_2 = 1,0 \text{ м}$:

$$\lambda_2 = \frac{V_{k2}}{f} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{125} = 1,26 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Полученные уравнения по определению численного значения среднеквадратичной виброскорости позволяют определить амплитуду колебаний (деформаций), которая в свою очередь является погрешностью обработки в динамике. Расхождение расчетов погрешности при обработке в статике, полученных по зависимости (18), со значениями погрешности, полученной по зависимости (19) показывают адекватную сходимость и правильности данных расчетов.

Список литературы:

1. Безъязычный, В. Ф. Определение погрешности обработки, обусловленной жесткостью ползуна токарно-карусельных станков / В. Ф. Безъязычный, П. В. Чумаков // Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П. А. Соловьева. – 2018. – № 1. – С. 85–89.
2. Чукарин, А. Н. Теория и методы акустических расчетов и проектирования технологических машин для механической обработки : монография / А. Н. Чукарин. – Ростов-на-Дону : Изд. ц. Центр ДГТУ, 2005. – 149 с.
3. Безъязычный, В. Ф. Метод подобия в технологии машиностроения / В. Ф. Безъязычный. – Москва : Машиностроение, 2012. – 320 с.
4. Рыжкин, А. А. Особенности стружкообразования при обработке сталей твердыми сплавами с износостойкими покрытиями / А. А. Рыжкин М. М. Климов, Р. В. Сергеев // Вестник ДГТУ. – 2001. – Т. 1, № 1. – С. 47–55.
5. Чукарин, А. Н. Разработка конструкции пильной рамы металлорежущего ленточно-пильного станка с повышенной жесткостью и виброустойчивостью / А. Н. Чукарин, А. Е. Литвинов, В. В. Новиков // СТИН. – 2017. – №6. – С. 22–23.

СЕКЦИЯ Б-2 – НАНОТЕХНОЛОГИИ

Квантовохимическое моделирование перераспределения заряда иона капли дождя на фрагмент графена

Г. П. Михайлов, Н. В. Великанов

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа,
gpmihailov@mail.ru

Методом Хартри – Фока в полуэмпирической параметризации AM1 проведено квантово-химическое моделирование оптимальной геометрии и зарядового распределения комплексов на основе фрагмента графена и водного кластера $(\text{H}_2\text{O})_{64}$, содержащего один из катионов Na^+ , K^+ или анионов F^- , Cl^- .

Ключевые слова: заряд по Малликену, фрагмент графена, гидратированный ион.

The Hartree – Fock method in semi-empirical parameterization of AM1 is used for quantum chemical modeling of optimal geometry and charge distribution of complexes based on a graphene fragment and a water cluster $(\text{H}_2\text{O})_{64}$ containing one of the Na^+ , K^+ cations or F^- , Cl^- anions.

Keywords: charge Mulliken, graphene fragment, hydrated ion.

В последние годы многие технические достижения сделали солнечные батареи весьма эффективными для преобразования солнечной энергии в электрическую. Однако все еще большим недостатком остается то, что солнечные батареи не производят электроэнергию когда идет дождь. В настоящее время разработан новый подход к созданию солнечных батарей типа «all-weather» (всепогодные), которые могут работать как от солнечного света, так и от капель дождя [1]. Данный подход предполагает покрытие солнечной панели супертонкой пленкой графена. Графен представляет собой монослой атомов углерода, соединенных в гексагональную (шестигранную) кристаллическую решетку и характеризуется своими необычными электронными свойствами: он проводит электричество, богат делокализованными электронами, которые могут свободно перемещаться по всему слою [2]. В водном растворе, графен может связывать положительно заряженные ионы с его электронами. Это свойство используется в процессах на основе графена для удаления ионов свинца и органических красителей из растворов. Поэтому можно использовать графеновые электроды для получения энергии от воздействия на панели дождевых капель. В дожде содержатся соли, которые диссоциируют на положительные и отрицательные ионы. Ионный состав дождевой воды довольно разнообразен: преобладают анионы SO_4^{2-} , HCO_3^- , F^- , Cl^- и катионы Ca^{2+} , Na^+ , K^+ . Солнечные батареи типа «all-weather» не имеют высокой эффективности. Эффективность преобразования солнечной энергии из дождевой воды данных панелей равна 6,5 %. Современные солнечные батареи вырабатывают 15 %. Эта технология предполагает дальнейшее развитие и может способствовать повышению производи-

тельности солнечных батарей в течение 24 часов суток. Поэтому важны результаты исследования переноса заряда в супрамолекулярных системах, содержащих фрагмент графена и модель капли дождя. Цель работы – квантово-химическое моделирование оптимальной геометрии и анализ зарядового распределения комплексов на основе фрагмента графена и водного кластера с содержанием катионов Na^+ , K^+ и анионов F^- , Cl^- . Расчет оптимальной геометрии молекулярных комплексов методом Хартри-Фока в полуэмпирической параметризации AM1 проводился с использованием программы HyperChem 8.10. [3]. Капля дождя моделировалась водным кластером $(\text{H}_2\text{O})_{64}$ с одним из ионов Na^+ , K^+ , F^- или Cl^- , который находился в периодическом ящике («periodic box») с граничными размерами $12 \times 12 \times 15$ Å. Использовалась «жесткая» трехточечная модель воды TIP3P [4] без учета энергии внутримолекулярных колебаний молекул воды. После предварительной оптимизации геометрии водного кластера с ионом добавлялся фрагмент графена и проводилась дальнейшая полная оптимизация геометрии комплексов с использованием метода сопряженных градиентов в модификации Fletcher-Reeves по достижении предела 0,01 ккал/моль.

Моделирование проводилось для фрагмента графена из 72 атомов углерода, в котором оборванные валентности атомов углерода насыщались атомами водорода. Это необходимо для того, чтобы избежать влияния краевых дефектов на результаты моделирования. Модель фрагмента графена является условной, т.к. атомы водорода в реальном графене отсутствуют. Введение атомов H в модель графена необходимо для соблюдения граничных условий при обрыве цепочки углеродных атомов. Для комплекса $[\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_{64}]^+ \text{C}_{72}\text{H}_{24}$ характерно наличие катион-π взаимодействия, которое представляет собой нековалентное взаимодействие между поверхностью π-системы фрагмента графена и катиона. Для комплексов с участием анионов возможно также анион-π взаимодействие, которое противоположно катион-π взаимодействию, хотя основные принципы идентичны. Представлены результаты сканирования полной энергии в режиме «single point» комплекса $[\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_{64}]^+ \text{C}_{72}\text{H}_{24}$ при движении катиона Na^+ нормально поверхности графена (исключены точки, соответствующие положительным значениям полной энергии). При удалении катиона Na^+ от фрагмента графена геометрию супрамолекулярной системы не оптимизировали, а оставляли без изменений в исходном оптимизированном равновесном положении. Расстояние r катиона Na^+ варьировали в интервале от 0.2–15 Å. При $r = 2.4$ Å наблюдается глобальный минимум полной энергии, свидетельствующий о наиболее энергетически выгодном расположении катиона Na^+ . Кроме этого, при расстоянии примерно 10 Å наблюдается слабый минимум полной энергии, свидетельствующий о энергетически выгодном положении катиона Na^+ за пределами водного кластера $(\text{H}_2\text{O})_{64}$.

Таблица 1 – Зарядовое распределение (в атомных единицах) комплекса $[\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_{64}]^+ \text{C}_{72}\text{H}_{24}$

Комплекс	q ион	q графен	q вода
$[\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_{64}]^+ \text{C}_{72}\text{H}_{24}$	+ 0,502 (+0,728)	+ 0,231(+0,272)	+ 0,267
$[\text{K}(\text{H}_2\text{O})_{64}]^+ \text{C}_{72}\text{H}_{24}$	+ 0,484 (+0,734)	+ 0,23 (+0,268)	+ 0,286
$[\text{Cl}(\text{H}_2\text{O})_{64}]^- \text{C}_{72}\text{H}_{24}$	– 0,148 (–0,127)	– 0,848 (–0,873)	– 0,004
$[\text{F}(\text{H}_2\text{O})_{64}]^- \text{C}_{72}\text{H}_{24}$	– 0,171 (–0,147)	– 0,569 (–0,853)	– 0,26

Примечание: в скобках значения заряда после удаления $(\text{H}_2\text{O})_{64}$ и повторной оптимизации геометрии

В таблице представлены суммарные заряды на ионе ($q_{\text{ион}}$), водном кластере $(\text{H}_2\text{O})_{64}$ ($q_{\text{вода}}$) и фрагменте графена $\text{C}_{72}\text{H}_{24}$ ($q_{\text{графен}}$). При расстоянии между $\text{C}_{72}\text{H}_{24}$ и аквакомплексом $[\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_{64}]^+$ превышающим 6 Å заряд $\text{C}_{72}\text{H}_{24}$ практически равен нулю. Заряд катиона Na в этом случае равен $0,636 \pm 0,003$ а.е. Знак иона значительно влияет на суммарный заряд графена. Влияние капли дождя проявляется не только как транспорт ионов, но и значительно влияет на перераспределение заряда между ионом и поверхностью графена. Следует отметить, что проведенные расчеты позволили получить только полуколичественные оценки изменения зарядового состояния фрагмента графена, т.к. расчет методом Хартри-Фока в полуэмпирической параметризации AM1 не позволяет учесть влияние взаимной корреляции в движении электронов. Кроме этого, использование «жесткой» модели воды TIP3P в отличие от водного кластера с учетом внутримолекулярных колебаний молекул воды, естественно, влияет на зарядовое распределение фрагмента графена. Тем не менее, проведенные расчеты показывают возможность абсорбирования гидратированных ионов капли дождя на поверхность графена, образования устойчивых супрамолекулярных комплексов и значительное перераспределение заряда.

Список литературы:

1. Tang, Q. A Solar Cell That Is Triggered by Sun and Rain / Q. Tang, X. Wang, P. Yang, B. He // *Angew. Chem. Int.* – 2016. – Vol. 55. – P. 5243–5246.
2. Chen, Zh. Graphene nanoribbon electronics / Zh. Chen, Y. M. Lin, M. J. Rooks, Ph. Avouris // *Physica E.* – 2007. – Vol. 40, № 2. – P. 228–232.
3. HyperChem version 8.10. – URL: <http://www.hyper.com/index.html>
4. Zhu, S. B. Field-perturbed water / S. B. Zhu, S. Singh, G. W. Robinson // *Adv. Chem. Phys.* – 1994. – Vol. 85. – P. 627–731.

Динамика распространения тепловой волны лазерной абляции в материале мишени

В. Г. Шеманин, О. В. Мкртычев

Филиал Белгородского государственного технологического университета
имени В. Г. Шухова в Новороссийске, oleg214@yandex.ru

Показано, что исследование зависимости динамики разрушения поверхности мишени и распространения тепловой волны в теле мишени при абляционном раз-

рушении приводит к сложным системам дифференциальных уравнений в частных производных, которые решаются численно. Получено решение одномерного уравнения теплопроводности в системе координат, связанной с фронтом лазерной абляции, методом моментов со специальной пробной функцией. Установлено, что предложенная система уравнений является адекватной моделью для количественного описания динамики распространения тепловой волны в веществе мишени на начальных стадиях лазерного абляционного разрушения.

Ключевые слова: динамика лазерного абляционного разрушения, поверхность мишени, распространение тепловой волны, уравнения теплопроводности, метод моментов.

The dependence of the dynamics of destruction of the target surface and the propagation of a thermal wave in the target body during ablation destruction study leads to complex systems of partial differential equations that can be solved numerically. The solution of the one-dimensional equation of thermal conductivity in the coordinate system associated with the front of laser ablation is obtained in this work by the moment method with a special trial function. It has been shown that the proposed system of equations is an adequate model for quantitative description of the thermal wave propagation dynamics in target substance at initial stages of laser ablation destruction.

Keywords: laser ablation destruction dynamics, target surface, thermal wave propagation, thermal conductivity equations, moment method.

Если посмотреть на количество работ по теме лазерной абляции за последние 10–15 лет, то можно увидеть, что этой проблемой занимается большое число коллективов и отдельных исследователей. Это показывает большое фундаментальное значение, которое имеет данная тематика в вопросах изучения проблем взаимодействия электромагнитного излучения с веществом, начиная от проблем ядерной энергетики и кончая в моделировании процессов ядрах звёзд и галактик. Поскольку лазерная абляция получила большое распространение также и во многих практических применениях, от медицины до связи, изучение этих проблем имеет большое значение и для производственных технологий.

Исследование зависимости динамики разрушения поверхности мишени, а также распространения тепловой волны в теле мишени в рамках различных физико-математических моделей абляционного разрушения приводят к сложным системам дифференциальных уравнений в частных производных, для решения которых наиболее приемлемым является численное решение [1, 2]. При решении таких уравнений применялись различные численные методы от конечно-разностных до методов моделирования Монте-Карло. В данной статье, как и в [3–10], проводится компьютерный эксперимент по исследованию закономерностей распространения тепловой волны в материале при процессах, возникающих в ходе лазерной абляции в «допороговом» приближении. При решении уравнения теплопроводности применялся метод моментов. Полученное при этом решение путём дополнительных допущений о малости значений некоторых параметров упрощалось. Адекватность полученных при этом допущении результатов оценивалась по сравнению с работами других авторов и из общих соображений.

Для расчёта динамики распространения температурной волны в мишени при лазерной абляции решалось одномерное уравнение теплопроводности в системе координат, в системе координат, связанной с фронтом лазерной абляции:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = v \frac{\partial H}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \frac{\partial I}{\partial z} \quad (1)$$

методом моментов с пробной функцией вида [17, 18]

$$H_p(z, t) = \frac{1}{1-\alpha l} \left[\left(H_s - \frac{I_s l}{\chi_s} \right) e^{-\alpha z} - \left(\alpha l H_s - \frac{I_s l}{\chi_s} \right) e^{-\frac{z}{l}} \right]. \quad (2)$$

В предположении, что параметры задачи постоянны, метод моментов привёл нас к линейной системе из двух линейных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{cases} \dot{T}_s = f_1(T_s, l) = \frac{m_{22}n_1 - m_{12}n_2}{m_{11}m_{22} - m_{12}m_{21}} \\ \dot{l} = f_2(T_s, l) = \frac{-m_{21}n_1 + m_{11}n_2}{m_{11}m_{22} - m_{12}m_{21}}, \end{cases} \quad (3)$$

где числитель первого уравнения равен:

$$\begin{aligned} & m_{22}n_1 - m_{12}n_2 = \\ & \left(2l + \frac{1}{\alpha} \right) (T_s - T_0) \frac{v_0 L}{c\rho} e^{-\frac{T_a}{T_s}} - \left(2l + \frac{1}{\alpha} \right) (T_s - T_0)^2 v_0 e^{-\frac{T_a}{T_s}} \\ & + \left(2l + \frac{1}{\alpha} \right) (T_s - T_0) \frac{I_s}{c\rho} - \frac{2v_0^2 l L^2}{\alpha \kappa c\rho} e^{-2\frac{T_a}{T_s}} \\ & + \frac{2v_0^2 l L^2}{\alpha \kappa c\rho} (T_s - T_0) e^{-2\frac{T_a}{T_s}} - 2v_0 \\ & \ll \frac{I_s}{\alpha \kappa c\rho} e^{-\frac{T_a}{T_s}} - \frac{v_0 L^2}{\alpha^2 \kappa c\rho} e^{-2\frac{T_a}{T_s}} + \frac{v_0^2 L^2}{\alpha^2 \kappa c\rho} (T_s - T_0) e^{-2\frac{T_a}{T_s}} \\ & - \frac{v_0 L I_s}{\alpha^2 \kappa c\rho} e^{-\frac{T_a}{T_s}} - \frac{\kappa}{c\rho} (T_s - T_0)^2 - \frac{I_s}{\alpha c\rho} (T_s - T_0) + \\ & + \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) (T_s - T_0)^2 v_0 e^{-\frac{T_a}{T_s}} - (T_s - T_0) v_0^2 \\ & \ll \frac{1}{\alpha \kappa} e^{-2\frac{T_a}{T_s}} + (T_s - T_0) \frac{v_0 L}{\alpha c\rho} e^{-\frac{T_a}{T_s}} + \frac{v_0 L I_s}{\alpha^2 \kappa c\rho} e^{-\frac{T_a}{T_s}} \\ & - \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) (T_s - T_0) \frac{v_0^2 L}{\alpha \kappa} e^{-\frac{T_a}{T_s}} + \frac{v_0^3 l L^2}{\alpha^2 \kappa^2} e^{-3\frac{T_a}{T_s}} \end{aligned}$$

Знаменатель обоих уравнений равен:

$$\begin{aligned} & m_{11}m_{22} - m_{12}m_{21} = \\ & = \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) \left(2l + \frac{1}{\alpha} \right) (T_s - T_0) - \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) 2v_0 \\ & \ll \frac{1}{\alpha \kappa} e^{-\frac{T_a}{T_s}} - \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) \frac{v_0 L}{\alpha^2 \kappa} e^{-\frac{T_a}{T_s}} \\ & - \left(2l + \frac{1}{\alpha} \right) (T_s - T_0) \frac{v_0 l L T_a}{\alpha \kappa T_s^2} e^{-\frac{T_a}{T_s}} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 2 \frac{v_0^2 l L^2 T_a}{\alpha^2 \kappa^2 T_s^2} e^{-2 \frac{T_a}{T_s}} + \frac{v_0^2 l L^2 T_a}{\alpha^3 \kappa^2 T_s^2} e^{-2 \frac{T_a}{T_s}} - \left(l^2 + \frac{l}{\alpha} + \frac{1}{\alpha^2} \right) (T_s - T_0) \\
& - \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) (T_s - T_0) \frac{v_0 l L T_a}{\alpha \kappa T_s^2} e^{-\frac{T_a}{T_s}} + \\
& + \left(l^2 + \frac{l}{\alpha} + \frac{1}{\alpha^2} \right) \frac{v_0 L}{\alpha \kappa} e^{-\frac{T_a}{T_s}} + \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) \frac{v_0^2 l L^2 T_a}{\alpha^2 \kappa^2 T_s^2} e^{-2 \frac{T_a}{T_s}}
\end{aligned}$$

Числитель второго уравнения равен:

$$\begin{aligned}
& -m_{21}n_1 + m_{11}n_2 = \\
& - \left(l^2 + \frac{l}{\alpha} + \frac{1}{\alpha^2} \right) \frac{v_0 L}{c \rho} e^{-\frac{T_a}{T_s}} + \left(l^2 + \frac{l}{\alpha} + \frac{1}{\alpha^2} \right) (T_s - T_0) v_0 e^{-\frac{T_a}{T_s}} \\
& - \left(l^2 + \frac{l}{\alpha} + \frac{1}{\alpha^2} \right) \frac{I_s}{c \rho} - \\
& - \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) \frac{v_0^2 l L^2 T_a}{\alpha \kappa c \rho T_s^2} e^{-2 \frac{T_a}{T_s}} + \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) (T_s - T_0) \frac{v_0^2 l L T_a}{\alpha \kappa T_s^2} e^{-2 \frac{T_a}{T_s}} - \\
& - \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) \frac{v_0 l L I_s T_a}{\alpha \kappa c \rho T_s^2} e^{-\frac{T_a}{T_s}} + \\
& + \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) (T_s - T_0) \frac{\kappa}{c \rho} + \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) \frac{I_s}{\alpha c \rho} - \left(l + \frac{1}{\alpha} \right)^2 (T_s - T_0) v_0 e^{-\frac{T_a}{T_s}} + \\
& + \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) v_0^2 \ll \frac{1}{\alpha \kappa} e^{-2 \frac{T_a}{T_s}} - (T_s - T_0) \frac{v_0 l L T_a}{\alpha c \rho T_s^2} e^{-\frac{T_a}{T_s}} - \frac{v_0 l L I_s T_a}{\alpha^2 \kappa c \rho T_s^2} e^{-\frac{T_a}{T_s}} + \\
& \left(l + \frac{1}{\alpha} \right) (T_s - T_0) \frac{v_0^2 l L T_a}{\alpha \kappa T_s^2} e^{-2 \frac{T_a}{T_s}} - \frac{v_0^2 l^2 L^2 T_a}{\alpha^2 \kappa^2 T_s^2} e^{-3 \frac{T_a}{T_s}}.
\end{aligned}$$

Рассмотрим возможности системы уравнений (3) для описания допороговых тепловых процессов, когда температура поверхности мишени гораздо меньше пороговой температуры. То есть, допустим $l \ll 1$ и $T_a \gg T_s$. В этом допущении система (3) примет вид

$$\begin{cases} \dot{T}(t, T, l) = k \frac{I_s l - \kappa T}{\kappa l}, \\ \dot{l}(t, l) = k \frac{\alpha l + 1}{\alpha l}. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь введены обозначения $k = \frac{1}{2} \frac{\alpha \kappa}{c \rho}$ и $T = T_s - T_0$.

Все вычисления проводились с помощью пакета MATLAB версии 7.5.0.342 (R2007b). Для расчётов была создана программа Heat_mom_1_approximation (alfa, khi, c, ro, Fi, t1). Приведём здесь результаты расчётов для значений параметров: $\alpha = 4,25 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$, $\chi = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ Вт см}^{-1} \text{ К}^{-1}$, $c = 0,96 \text{ Дж} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, $\rho = 1,42 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$, $\Phi = 100 \text{ мДж}$ и характерное время $t_1 = 6,13 \text{ нс}$. Вычисления проводились для диапазона времени от 1 нс до 1 секунды при начальных условиях вида $T(0) = 0 \text{ К}$, $l(0) = 10 \cdot 10^{-10} \text{ см}$. Графики величины $T(t)$ показан на рисунке 1. Обратим внимание, в качестве температуры T выступает не температура поверхности, а превышение ΔT значения над температурой $T_0 = 273 \text{ К}$. То есть, как указывалось выше в систему уравнений (4) входит величина $T = T_s - T_0$. Именно так и надо понимать значения $T = 0 \text{ К}$ на представленном графике. Результаты компьютерного моделирования представлены в таблице.

Таблица 1 – Результаты компьютерного моделирования

t, c	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1
T, K	0,077	0,45	3,3	30	290	2900	$2,9 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^6$	$2,9 \cdot 10^7$
l, cm	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	0,033	0,33	3,3	33	330

По результатам моделирования, представленным в таблице, и сравнению с результатами работ других авторов [11] можно сказать, что для диапазона времени (примерно) 10 нс...10 мкс решение системы (3), описываемое «допороговым» приближением (4), хорошо описывает динамику распространения тепловой волны в мишени. При этом в диапазоне времени 10 нс...1 мкс также хорошо выполняются принятые выше допущения о малых значениях температуры поверхности.

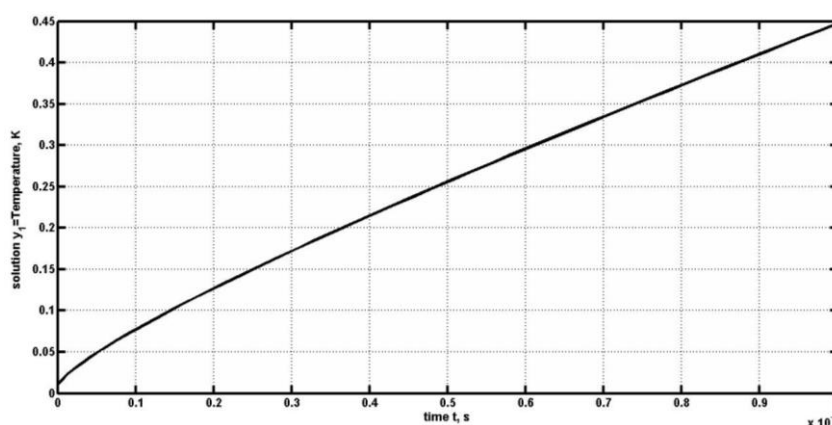


Рисунок 1 – Развитие температуры на поверхности мишени в течение первых 10 нс

Следовательно, система уравнений (4) является адекватной моделью количественного описания динамики распространения тепловой волны в веществе мишени на начальных стадиях лазерного абляционного разрушения вещества мишени, когда температура поверхности мишени много меньше критических значений.

Список литературы:

1. Анисимов, С. И. Избранные задачи теории лазерной абляции / С. И. Анисимов, Б. С. Лукьянчук // Успехи физических наук. – 2002. – Т. 172, № 3. – С. 301–333.
2. Царькова, О. Г. Оптические и теплофизические свойства металлов, керамик и алмазных плёнок при высокотемпературном лазерном нагреве / О. Г. Царькова // Труды ИОФ РАН. – 2004. – Т. 60. – С. 30–82.
3. Мкртычев, О. В. Лазерная абляция нанокompозитов / О. В. Мкртычев, В. Е. Привалов, А. Э. Фотиади, В. Г. Шеманин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2015. – № 1 (213). – С. 128–135.
4. Привалов, В. Е. Метод оценки оптической прочности облучаемой поверхности при лазерной абляции / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин, О. В. Мкртычев // Измерительная техника. – 2018. – № 7. – С. 34–37.
5. Shemanin, V. G. The optical strength of the glass nanocomposites at laser ablation / V. G. Shemanin, O. V. Mkrtychev // Journal of Physics: Conference Series. – 2015. – Vol. 653. – P. 012012.

6. Мкртычев, О. В. Лазерное абляционное разрушение наноплёнок на поверхности стеклянных образцов / О. В. Мкртычев, В. Г. Шеманин // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2015. – № 2. – С. 5–10.

7. Мкртычев, О. В. Изменение показателя преломления наноразмерных плёнок при модифицировании стеклянных подложек / О. В. Мкртычев, А. Б. Аткарская, В. Г. Шеманин // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – № 8/2. – С. 238–239.

8. Mkrtychev, O. V. Temperature Field of the Irradiated Material in the Laser-Induced Damage / O. V. Mkrtychev // Material Physics and Mechanics. – 2018. – Vol. 37, № 1. – P. 100–103.

9. Оптическая прочность полимерных материалов при их лазерной абляционной деструкции / Э. И. Воронина, В. П. Ефремов, В. Е. Привалов, П. В. Чартий, В. Г. Шеманин // Журнал технической физики. – 2009. – Т. 79, № 5. – С. 143–145.

10. Шеманин, В. Г. Температурное поле при лазерном абляционном разрушении мишени при малых температурах / В. Г. Шеманин, О. В. Мкртычев // Журнал технической физики. – 2018. – Т. 88, № 5. – С. 643–648.

11. Жвавый, С. П. Моделирование процессов плавления и кристаллизации монокристаллического кремния при воздействии наносекундного лазерного излучения / С. П. Жвавый // Журнал технической физики. – 2000. – Т. 70, № 8. – С. 58–62.

Дегидратированные пленки белков как перспективный материал для разработки элементов биомолекулярной электроники

М. А. Баранов, Е. Н. Величко

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, baranovma1993@gmail.com

Рассмотрены дегидратированные пленки белка альбумина как перспективный материал для создания элементов биомолекулярной электроники. Показано, что в подобных пленках в зависимости от концентрации солей и белка, а также от значения водородного показателя образуются самоорганизованные диссипативные структуры. Рассмотрено предположение, что на формирование подобных структур влияют некоторые электродинамические факторы. Приведены примеры структур и обсуждены перспективы их применения в развитии биомолекулярной электроники.

Ключевые слова: самоорганизация, дегидратация, пленки, электроника.

In this paper the dehydrated protein films are described as a perspective material for creation of the biomolecular electronics elements. This is showed, the self-organized dissipative structures formed in these films depending on NaCl and protein concentration, pH value. There is an assumption, that some electrodynamic factors influence on formation of the structures. In this paper some examples of the dissipative structures are shown, the perspective for their application in improvement of biomolecular electronics.

Keywords: self-organization, dehydration, films, electronics.

В данной работе мы рассматриваем дегидратированные пленки растворов белков, в частности водно-солевой раствор белка альбумина, в качестве перспективного материала для разработки устройств и элементов биомолекулярной электроники [1–3]. В работе [4] показано, что подобные пленки имеют уникальные диэлектрические свойства.

Одним из признаков самоорганизации является образование диссипативных периодических структур, сформированных в пленках. Оптические методы, в частности оптическая микроскопия, позволяют идентифицировать эти структуры и установить их параметры, такие как тип структуры, форму и размер [5]. В зависимости от типа растворителя и параметров фазового превращения биомолекулярные пленки могут содержать два типа периодических доменных структур, ячейки которых имеют вид спиралей, и дендритов. Процессы самоорганизации можно изучать как на макроуровне, рассматривая биологические пленки, образующиеся при дегидратации водных растворов биологических жидкостей, так и на микроуровне, изучая изменения энергии при сворачивании белка. Процессы самоорганизации характеризуются уменьшением свободной энергии биологических молекул:

В процессе самоорганизации белковые молекулы собираются в ансамбли. При рассмотрении кластеров молекул принцип минимизации энергии сохраняется. Известно, что в белках процесс самоорганизации инициируется складыванием α -спирали. Этот процесс характеризуется изменением свободной энергии молекулы.

$$\Delta F_{\alpha} = F_{\alpha} - F_{ball} = (n - 2)\Delta f_n - nTS_{\alpha} = -2f_n + n(f_n - TS_{\alpha}), \quad (1)$$

где f_n – свободная энергия водородной связи и связанных с ней взаимодействий в α -спирали (f_n – не только энергия, как это было бы в вакууме: она включает в себя как энергию, так и энтропию перегруппировок водородных связей в водной среде); S_{α} – потеря энтропии при фиксации одного остатка по спирали [6].

Исследования с помощью метода оптической микроскопии показывают, что развитие стабильных биомолекулярных пленок возможно при добавлении воды в качестве пластификатора в исходный раствор белка. Формирование самоорганизующихся структур необходимо для поддержания концентрации белка в исходном растворе не менее 5 % объемной доли, исходного объема раствора не менее 3 мл и значения pH раствора отклонением не более ± 20 % от изоэлектрической точки. На основании анализа полученных данных логично предположить, что в сетке спирально-эллиптических и дендритных структур, возникающих при дегидратации водных растворов белка, основы его образования имеют электрический характер. Все используемые вариации условий эксперимента должны сначала изменить локальное значение и распределение электрических зарядов, потенциалов и токов.

Компьютерное моделирование молекулярного кластера показывает, что подобная структура пленки стабильна, и ее свободную энергию и колебания можно контролировать путем добавления солей в раствор. В зависимости от параметров пласта возможны различные пространственные, частотные и энергетические характеристики передачи электрических сигналов через биомолекулярные пленки. Это создает возможность использования биомолекулярных пленок в качестве волноводных фильтров для создания элементов и устройств биомолекулярной электроники

и телекоммуникаций. Результаты этой работы могут быть полезны при моделировании и конструировании элементов биомолекулярной электроники, нацеленных на разработку новых устройств электроники.

Работа выполнена с использованием вычислительных ресурсов Центра суперкомпьютерных вычислений Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Список литературы:

1. Привалов, В. Е. Об определении минимальной энергии импульса при лазерном зондировании на гармониках Nd-YAG лазера / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Оптика и спектроскопия. – 1997. – Т. 82, № 5. – С. 873–875.
2. Привалов, В. Е. Влияние шумов и вибраций оборудования на работу лазерного измерителя концентрации частиц и оптимизация его параметров / В. Е. Привалов, А. В. Рыбалков, П. В. Чартий, В. Г. Шеманин // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77, № 3. – С. 62–65.
3. Привалов, В. Е. Оптимизация лидара дифференциального поглощения и рассеяния для зондирования молекулярного водорода в атмосфере / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Журнал технической физики. – 1999. – Т. 69, № 8. – С. 65–68.
4. Baranov, M. A. Study of the dielectric parameters of biological liquids / M. A. Baranov, S. V. Rozov // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Т. 1326, № 1. – С. 012006.
5. Дьяченко, В. В. Определение дисперсного состава атмосферного аэрозоля лидаром / В. В. Дьяченко, В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // IX Международная конференция по фотонике и информационной оптике : сб. науч. тр. – Москва : Нац. исслед. Ядерн. ун-т «МИФИ», 2020. – С. 535–535.
6. Финкельштейн, А. В. Физика белка : курс лекций / А. В. Финкельштейн, О. Б. Птицын. – Москва : Книж. дом ун-та, 2002. – 456 с.

Элементы теории изнашивания твердосплавных инструментов

Е. А. Кривонос¹, Е. В. Колпакова¹

¹Государственный морской университет им. адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск, ivasha64@yandex.ru

²Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского
государственного технологического университета, Новороссийск,
evge.kolpakova@yandex.ru

Рассмотрены элементы теории изнашивания режущих инструментов, основанные на термодинамическом подходе и представлениях об изменении дефектной структуры инструментальных материалов и являющиеся основой разрушения твердых тел. Показано, что учет работы вакансионно-дислокационного механизма позволяет оценить их влияние на снижение интенсивности изнашивания твердосплавных режущих инструментов после их криогенной обработки.

Ключевые слова: теория изнашивания, дефектная структура, разрушения твердых тел, твердосплавные режущие инструменты.

The theory of cutting tools wear elements based on thermodynamic approach and ideas about changes of defective structure of instrumental materials which is the basis of solid bodies destruction have been considered. Accounting of the vacancy-dislocation

mechanism work allows assessing their effect on reduction of wear intensity of hard-alloy cutting tools after their cryogenic treatment.

Keywords: theory of wear, defective structure, destruction of solids, hard-alloy cutting tools.

В современном механообрабатывающем производстве все в большей степени проявляются тенденции отказа от применения высокотоксичных жидких, газовых и твердых технологических сред, в значительной степени способствующих загрязнению окружающей среды. Вместе с тем широкое применение высокопроизводительного, дорогостоящего автоматизированного оборудования требует интенсификации процессов обработки резанием, что приводит к резкому увеличению термомеханических нагрузок на инструмент, станок и обрабатываемую поверхность заготовки. В этой связи надежность режущего инструмента определяет способность механообрабатывающего производства функционировать при оптимальных экономических показателях.

Обработка металлов резанием начала бурно развиваться в начале XX века. Это было обусловлено появлением в конце прошлого столетия быстрорежущих сталей, а в начале этого твердых сплавов. По сравнению с быстрорежущими сталями твердый сплав имеет большую твердость и теплостойкость, что позволяет повысить скорость резания.

Для снижения интенсивности изнашивания режущего инструмента, в разное время ученые разрабатывали новые инструментальные материалы, инструмент, способы повышения стойкости инструмента, а так же постоянно совершенствовали существующие технологии обработки резанием. Несмотря на развитие новых технологий обработки металлов, повышение износостойкости металлорежущего инструмента остается весьма актуальной задачей.

Классическая наука о резании металлов, рассматривая механизмы износа режущих инструментов, подразделяет их на основные виды: абразивно-химический, адгезионный и диффузионный. Каждый из них имеет место в определенных условиях, в частности при различных температурах резания, которые для существующих инструментальных материалов и применяемых условий обработки изменяются в диапазоне 100–1500 °C. Трудно предположить, что, например диффузионный износ происходит при температурах порядка 200–300 °C точно так же, как абразивный – при температуре 1000 °C и выше. Каждый из износов, действующих в зоне определенных температур, имеет собственное описание [1].

Предлагаются элементы теории изнашивания режущих инструментов, основанной на термодинамическом подходе и представлениях об изменениях дефектной структуры инструментальных материалов, являющейся основой разрушения твердых тел.

При разработке теории приняты во внимание следующие положения. Твердые спеченные сплавы можно отнести к категории механических систем, состоящих из малых однородных областей (компонентов), разграниченных поверхностями раздела. Такие системы называют

неоднородными или гетерогенными средами. Твердые сплавы состоят из двух фаз – карбидов (или карбонитридов) тугоплавких металлов и металлической связки, которые отличаются физико-механическими свойствами. Это различие может быть принято в качестве основы внутренних процессов, происходящих в инструментальных материалах в результате криогенной обработки. Предлагается рассматривать твердый сплав в качестве композиционного материала, который моделируется в виде однородной матрицы (связующая фаза), содержащей систему сферических включений из карбидов тугоплавких металлов. Однако говорить о матрице из связующей фазы можно с определенной долей условности, поскольку процентный состав ее в твердых сплавах невелик. Таким образом, если вести речь о связке как о матрице, то у нее очень тонкие стенки, которыми отделяются друг от друга сферические включения. В данной работе использован подход, когда твердый сплав моделируется набором двухслойных шаров: внутренний шар – карбид тугоплавкого металла, внешний сферический слой – слой металлической связки.

Моделирование процессов в твердых сплавах, рассматриваемых как гетерогенные двухфазные среды, обуславливает необходимость введения трех уровней рассмотрения моделируемых процессов.

На первом уровне твердый сплав рассматривается как однородная среда, обладающая физическими характеристиками, с помощью которых можно производить описание свойств материала, не вдаваясь в особенности внутренней структуры его. На этом уровне вводится понятие износостойкости, как интегральной характеристики, с помощью которой можно описывать сопротивление материала изнашиванию.

На этом уровне в модель вводится понятие износостойкости. Накопление энергии в основном реализуется в дислокационной структуре материала [2].

Второй уровень предполагает, что необходимо учитывать влияние внутренней структуры материала на характер протекающих в твердом сплаве процессов. На этом уровне вводится модель структуры материала и характерный элемент, рассматриваются протекающие физические процессы в конкретной структурной конфигурации материала.

Третий уровень соответствует эволюционным процессам в дислокационной структуре. При этом дислокация становится основным носителем физических явлений. Для описания процесса изнашивания режущих инструментов и влияния на износостойкость рассмотрены отдельно дефекты разных типов. Учтено, что точечные являются первичными, а их наличие определяет возникновение и поведение других вторичных дефектов. Точечные дефекты обладают рядом свойств, важных с точки зрения процесса разрушения материала: мигрируют, упорядочиваются в поле напряжений, создают искажение кристаллической решетки. При этом акцент сделан на вакансиях, поскольку из точечных дефектов только вакансии являются термодинамически равновесными: энергия обра-

зования их мала, поэтому они всегда существуют в кристаллах твердых тел. Целесообразность применения так называемого вакансионного механизма для описания процесса изнашивания режущих инструментов основывается и на том, что при резании в приповерхностных слоях инструментальных материалов изменяется плотность вакансий и эти слои ослабляются; в дальнейшем они разрушаются под действием сил в местах фрикционного контакта.

Установлено, что на эволюцию плотности вакансий оказывает влияние тепловое поле, которое воздействует на коэффициент диффузии и на мощность источников вакансий. Кроме того, на эволюцию плотности вакансий оказывают воздействие электрическое поле и поле механических напряжений, которые направляют дрейф вакансий. С учетом взаимодействия указанных полей и протекания термоэлектрических процессов предложена система уравнений, описывающих эволюцию плотности вакансий, теплопередачу и механические напряжения в местах фрикционного контакта, а также диффузионный поток вакансий и влияние на него механических напряжений.

Аналитически исследовано напряженное состояние материала в зависимости от плотности вакансий, оценена их доля в общем количестве структурных элементов в определенном объеме, а также площадь занимаемая вакансиями.

Поскольку в связи с изложенными представлениями разрушение инструментальных материалов происходит в результате эволюции плотности вакансий, возможной из-за механических напряжений, возникающих в местах фрикционного контакта, акцент сделан на «механический» критерий износа; остальные факторы в той или иной мере увеличивают или уменьшают интенсивность изнашивания.

Необходимо подчеркнуть, что теория, основанная на представлениях о дефектной структуре инструментальных материалов, как первопричине разрушения-изнашивания режущих инструментов при трении в условиях резания позволяет объяснить различные виды изнашивания и выявить пути снижения интенсивности изнашивания режущих инструментов. В частности, адгезионное, диффузионное и химическое изнашивания протекают по вакансионно-дислокационному механизму; основой механического изнашивания является эволюция точечных дефектов и образование микротрещин.

Таким образом, обращение к теоретическим исследованиям дефектной структуры позволило оценить порядок плотности дислокаций и износостойкости после криогенной обработки и констатировать, что изменение этого порядка свидетельствует о предположительном повышении прочности инструментальных материалов. Связано это с работой вакансионно-дислокационного механизма, который оказывает влияние на снижение интенсивности изнашивания твердосплавных режущих инструментов после их криогенной обработки.

Список литературы:

1. Солоненко, В. Г. Элементы единой теории изнашивания режущих инструментов / В. Г. Солоненко, Е. А. Кривонос, Г. А. Зарецкий // Конструкторско-технологическая информатика : тр. конгресса. – Москва : Станкин, 2005. – С. 69–72.
2. Кривонос, Е. А. Анализ аналитических зависимостей оценки изнашивания режущих инструментов / Е. А. Кривонос, Е. В. Колпакова // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте : тр. XXIV Междунар. конф. – Новороссийск : Гос. морской ун-т им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2016. – С. 92–94.

Прогнозирование эффективной проводимости N-компонентной макроскопически неупорядоченной среды

Б. П. Колесников, Р. Р. Арушанян

Кубанский государственный технологический университет,
Краснодар, *gradient06@mail.ru*

Рассмотрена модель многокомпонентной макроскопически неупорядоченной среды в виде совокупности перколяционных кластеров, составленных из одноименных компонентов, и кластеров из различных компонентов, характеризующихся их вероятностными сочетаниями. Для среды с равновероятностным распределением всех компонентов в системе получена формула для расчета (прогнозирования) эффективной проводимости n -компонентной среды.

Ключевые слова: многокомпонентные макроскопически неупорядоченные среды, эффективная проводимость, перколяционный кластер.

A model of multicomponent macroscopically disordered environments as a set of percolation clusters composed of the same components and clusters of different components characterized by their probabilistic combinations is considered. For an environment with equiprobabilistic distribution of all components in the system, the formula for calculating (predicting) the effective conductivity of n -component environment is obtained.

Keywords: multicomponent macroscopically disordered environment, effective conductivity, percolation cluster.

Прогнозирование эффективных кинетических коэффициентов многокомпонентных макроскопически неупорядоченных сред (МНС) остается актуальным на протяжении длительного периода времени в связи созданием и использованием всё новых материалов с требуемыми уникальными свойствами. Подавляющее большинство моделей и подходов прогнозирования эффективных кинетических коэффициентов разработаны для двухкомпонентных сред, которые, как правило, применяют и для многокомпонентных МНС путем последовательного приведения их к двухкомпонентной структуре либо, используют «самосогласованный» метод [1]. Однако в первом случае полученные результаты отличаются в зависимости от выбора порядка сочетания компонентов, во втором – расчёт проводится в несколько этапов с разбиением МНС на n -компонентную слоистую систему, что значительно усложняет расчёт.

В работе предпринята попытка получения формулы для расчета (прогнозирования) эффективной проводимости (тепло- и электропроводности) n -компонентной МНС, при использовании модели многокомпонентной макроскопически неупорядоченной среды представляющей собой совокупность перколяционных кластеров, составленных из одноименных компонентов, и кластеров из различных компонентов [2], характеризующихся их вероятностными сочетаниями. Распределение всех компонентов в системе рассматривалось как равновероятное.

$$\Lambda_e = \sum_{i=1}^n \Lambda_{0i} v_i + \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \frac{v_j \left[\left(\vartheta_k - \Lambda_{0k} - \sum_{i=1}^n \vartheta_k \vartheta_i + \vartheta_k^2 + \vartheta_k \vartheta_j \right) + \left(\vartheta_j - \Lambda_{0j} - \sum_{i=1}^n \vartheta_j \vartheta_i + \vartheta_j^2 + \vartheta_j \vartheta_k \right) \right]^2}{v_j \left(\vartheta_k - \Lambda_{0k} - \sum_{i=1}^n \vartheta_k \vartheta_i + \vartheta_k^2 + \vartheta_k \vartheta_j \right) + v_k \left(\vartheta_j - \Lambda_{0j} - \sum_{i=1}^n \vartheta_j \vartheta_i + \vartheta_j^2 + \vartheta_j \vartheta_k \right)},$$

где $\Lambda_e = \lambda_e / \lambda_1$, $\Lambda_{0i} = \lambda_{0i} / \lambda_1$, $v_i = \lambda_i / \lambda_1$, λ_e – эффективная проводимость МНС, λ_{0i} – эффективная проводимость перколяционного кластера i -го компонента, λ_i – проводимость i -го компонента; ϑ_i – объёмная концентрация i -го компонента, $v_1 = 1 \geq v_2 \geq \dots \geq v_n$, $\sum_{i=1}^n \vartheta_i = 1$, при $\vartheta_i = 0 \rightarrow \Lambda_{0i} = 0$ и $v_i = 0$.

Представленная формула учитывает вероятностные сочетания компонентов, что даёт однозначность результатов расчета, выдерживает предельные переходы при подстановке значений $v_i = 1$ и $v_2 = v_3 = \dots = v_n = 0$, при $n = 2$ совпадает с выражением для двухкомпонентной среды [2], которое в свою очередь трансформируется в ряд известных формул при соответствующих значениях Λ_{0i} . Расчеты по представленной формуле апробировались на 3-х и 4-х компонентных системах. Как показал анализ полученных результатов формула дает хорошую согласованность с экспериментальными данными и результатами расчётов по формулам ряда авторов в области концентраций, соответствующих структурам с взаимопроникающими компонентами [1]. В тоже время для случая неравновероятного распределения компонентов, которое связано с тем, что в общем случае Λ_{0i} зависит не только от концентрации компонентов, но и от способов консолидации компонентов [3, 4], погрешность расчетов возрастает, что требует дальнейшего развития этого подхода.

Список литературы:

1. Дульнев, Г. Н. Процессы переноса в неоднородных средах / Г. Н. Дульнев, В. В. Новиков. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1991. – 246 с.
2. Колесников, Б. П. Прогнозирование эффективной проводимости многокомпонентных макроскопически неупорядоченных сред посредством математического моделирования / Б. П. Колесников // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. – 2016. – № 16. – С. 461–468.

3. Колесников, Б. П. Проводимость предельно неоднородных гетерогенных систем / Б. П. Колесников // Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ : сб. тр. III Междунар. науч.-техн. конф. – Санкт-Петербург : Ун-т ИТМО, 2015. – С. 237–245.

4. Kolesnikov, B. P. Influence of fractal substructures of the percolating cluster on transferring processes in macroscopically disordered environments / B. P. Kolesnikov // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Т. 891. – С. 012355.

Инфракрасные кристаллы системы AgBr-AgI для медицины

*Д. Д. Салимгареев, А. А. Южакова, А. Е. Львов, М.С. Корсаков,
А. Тураби, Л. В. Жукова*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, *l.v.zhukova@urfu.ru*

Проведены исследования и разработана технология получения кристаллов системы AgBr-AgI. Изучена фазовая диаграмма данной системы с целью уточнения области существования устойчивых твердых растворов. По полученным данным подобраны режимы и синтезированы монокристаллы различных составов. Отмечено, что результаты исследования необходимы для изготовления ИК световодов, окон, линз и других оптических изделий, которые находят широкое применение в различных областях науки и техники, включая лазерную, эндоскопическую и диагностическую медицину.

Ключевые слова: фазовая диаграмма, инфракрасные кристаллы, инфракрасный диапазон, световоды для медицины.

Research has been carried out and a technology has been developed for obtaining crystals of the AgBr-AgI system. The phase diagram of this system is studied in order to clarify the region of existence of stable solid solutions. Based on the data obtained, the modes were selected and single crystals of various compositions were synthesized. The work's results are necessary for the manufacture of IR fibers, windows, lenses and other optical products that are widely used in various fields of science and technology, including laser, endoscopic, and diagnostic medicine.

Keywords: phase diagram, infrared crystals, infrared range, optical fibers for medicine.

Развитие лазерной техники, инфракрасной (ИК) волоконной оптики, оптоэлектроники и фотоники является актуальной задачей. Эта проблема требует поиска и разработки новых оптических материалов, пластичных и прозрачных в среднем (от 2,0 до 25,0) и дальнем (до 100,0 мкм) ИК диапазонах из которых можно изготавливать методом экструзии ИК световоды, а методом горячего прессования линзы, окна, пленки и гетерофазные структуры. Следует отметить, что на сегодняшний день имеется мало оптических материалов, которые соответствуют указанным требованиям.

В настоящее время известны на основе стекол халькогенидные волокна с высокой оптической прозрачностью в спектральном диапазоне от 2,0 до 5,0–6,0 мкм и фторидные волокна для диапазона от 3,0 до 7,0–11,0 мкм [1]. Известны также поликристаллические световоды для диапазона от 2,0 до 18,0 мкм на основе галогенидсеребрянных кристал-

лов системы AgCl-AgBr . Кристаллы данной системы прозрачны от 0,4 до 30,0 мкм [2]. Последние являются наиболее перспективными световодами, поскольку обладают широким диапазоном прозрачности без окон поглощения и относительно низкими оптическими потерями.

Хорошо известны пластичные и негигроскопичные кристаллы КРС-5 – твердые растворы галогенидов одновалентного таллия состава $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$. Диапазон их пропускания составляет 0,4 – 45,0 мкм [3]. Однако световоды на основе этих кристаллов разрушаются вследствие рекристаллизации, что ограничивает их применение.

Авторским коллективом были изучены и разработаны кристаллы системы AgBr-TlI , которые имеют диапазон пропускания от 0,5 до 60,0 мкм и кристаллы системы $\text{AgBr-TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ прозрачные в спектральном диапазоне 0,46–50,0 мкм. Кристаллы обеих систем AgBr-TlI и $\text{AgBr-TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ негигроскопичны, не обладают эффектом спайности, пластичны, фото- и радиационно-устойчивы, поэтому световоды из них, изготавливаемые методом экструзии, могут применяться в условиях повышенного ионизирующего излучения. Однако присутствие таллия, сдерживает их применение в медицине. Вследствие этого, перед авторским коллективом встала задача по изучению и разработке технологии получения материалов, которые обладали бы всеми положительными характеристиками систем AgBr-TlI и $\text{AgBr-TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$, а также могли бы применяться в медицинских целях. На сегодняшний день наиболее перспективными являются кристаллы системы AgBr-AgI . Для качественной разработки технологии получения данных кристаллов важно знать температуры плавления и кристаллизации, а также область составов на фазовой диаграмме, где возможно выращивать кристаллы. На сегодняшний день, в литературе известны две фазовые диаграммы, изученные разными авторами [4, 5]. Однако, применяя данные диаграммы для получения высокочистой шихты и выращивания кристаллов возникли трудности по подбору технологических режимов и максимальному содержанию иодида серебра в AgBr . Вследствие вышесказанного, было проведено повторное изучение фазовой диаграммы системы AgBr-AgI , и выращены кристаллы данной системы.

Изучение фазовой диаграммы системы AgBr-AgI проводили применяя дифференциально-термический и рентгенофазовый анализы. Исследование проводили от 0 до 100 мас. % AgI в бромиде серебра с шагом в 10 мас. % при температуре от 25 до 450–570 °С (от 298 до 723–843 К) при давлении 1 атм. В областях от 30 до 40 мас. % и от 80 до 100 мас. % AgI в AgBr шаг уменьшался до 5 мас. % для упрощения построения диаграммы. Проведенные исследования показали, что в данной фазовой диаграмме в температурном интервале 25–432 °С (273–705 К) от 0 до 35 мас. % существуют устойчивые твердые растворы на основе бромида серебра, легированные AgI . От 35 до 95 мас. % и температуре 2–130 °С (298–403 К) присутствует смесь двух фаз, твердого раствора AgBr и

β -модификация иодида серебра, а от 95 мас. % AgI в AgBr и до чистого иодида серебра наблюдается смесь двух кристаллических фаз AgI в β и γ модификациях. Обе низкотемпературные фазы β и γ AgI при температуре выше 147 °С (420 К) переходят в α -модификацию AgI (область IV), которая сохраняется вплоть до температуры плавления иодида серебра, которая составляет 552 °С. При температуре выше 130 °С (403 К) в концентрационном диапазоне от 35 до 85 мас. % также происходит перекристаллизация фазы β -AgI в α -AgI при сохранении фазы твердого раствора AgBr.

Наличие твердого раствора AgBr, легированного AgI в концентрационном диапазоне от 0 до 35 мас. % было подтверждено рентгенофазовым анализом, из которого следует, что в данной области присутствует одна низкотемпературная кубическая фаза структурного типа NaCl (характерная для AgBr). Таким образом, как показали исследования, кристаллы возможно выращивать только в данной области – в концентрационном диапазоне от 0 до 35 мас. % AgI в бромиде серебра.

Уточнив область существования твердых растворов AgBr – AgI, была синтезирована гидрохимическим методом ТЗКС шихта, по построенной фазовой диаграмме подобраны режимы и выращены монокристаллы высокочистого бромида серебра и твердых растворов составов 2, 10, 20 и 30 мас. % AgI в AgBr методом Бриджмена. Выращенные кристаллы не обладают видимыми дефектами, а их цвет изменяется от желтого до оранжевого. Полученные кристаллы являются прекрасными кандидатами для изготовления из них методом экструзии и горячего прессования оптических изделий, таких как ИК световоды, окна, линзы и другие, которые находят широкое применение в различных областях науки и техники, включая лазерную, эндоскопическую и диагностическую медицину.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEUZ-2020-0058 (Н687.42Б.223/20).

Список литературы:

1. Жукова, Л. В. Волоконные световоды для среднего инфракрасного диапазона : учебник / Л. В. Жукова, А. С. Корсаков, А. Е. Львов, Д. Д. Салимгареев. – Екатеринбург : Изд-во УМЦ УПИ, 2016. – 247 с.
2. Жукова, Л. В. Инфракрасные кристаллы. Теория и практика : учебник / Л. В. Жукова, А. С. Корсаков, Д. Д. Салимгареев. – Екатеринбург : Изд-во УМЦ УПИ, 2015. – 215 с.
3. URL: <http://giredmet.ru/ru/products/haloidtl/krs-5/>
4. Jurado, J. F. Effect of AgBr on the electrical conductivity of β -AgI / J. F. Jurado, J. A. Trujillo, B.-E. Mellander, R. A. Vargas // Solid State Ionics. – Vol. 156, № 1–2. – P. 103–112.
5. Жукова Л. В. Новые инфракрасные материалы: кристаллы и световоды : монография / Л. В. Жукова, А. С. Корсаков, Д. С. Врублевский. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 280 с.

Высокопрозрачная оптическая керамика для среднего инфракрасного диапазона

*Л. В. Жукова, Д. Д. Салимгареев, А. Е. Львов, А. А. Южакова,
А. С. Шмыгалева, А. С. Корсаков*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, *l.v.zhukova@urfu.ru*

Разработана технология и получена новая гетерофазная оптическая керамика на основе систем AgBr-TlI и $\text{AgBr-TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$. Установлено, что керамика прозрачна без окон поглощения в спектральном диапазоне от 1,0 до 60,0 мкм. Показано, что высокая прозрачность, негигроскопичность и пластичность новой керамики позволяют изготавливать из нее методом горячего прессования оптические изделия – окна, линзы, пленки для ближнего, среднего и дальнего инфракрасного диапазона спектра, которые могут применяться в лазерных системах и оптических устройствах.

Ключевые слова: фазовая диаграмма, инфракрасные кристаллы, инфракрасный диапазон, световоды для медицины.

A technology has been developed and a new heterophase optical ceramics based on the AgBr-TlI and $\text{AgBr-TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ systems have been obtained. The ceramics are transparent without absorption windows in the spectral range from 1,0 to 60,0 μm . The high transparency, non-hygroscopicity and flexibility of the new ceramics makes it possible to produce optical products from it by hot embossing – windows, lenses, films for the near, mid and far infrared spectral range, which can be used in laser systems and optical devices.

Keywords: phase diagram, infrared crystals, infrared range, optical fibres for medicine.

В настоящее время средний инфракрасный диапазон (MIR) востребован для многих областей науки и техники. Однако, он является малоизученным и малоосвоенным, по сравнению с ультрафиолетовым, видимым и ближним инфракрасным диапазонами. Элементная база среднеинфракрасного диапазона весьма ограничена, о чем свидетельствует недостаточное количество существующих твердотельных и волоконных лазерных систем, способных генерировать излучение в диапазоне 3–14 мкм. Поэтому в России и мире активно ведется поиск и создание новых прозрачных материалов для генерации и передачи оптического излучения, а также разработка компактной техники, устройств генерации, передачи и приема электромагнитного излучения. Особое принципиальное значение имеют широкоспектральные лазерные системы, в том числе охватывающие «окна прозрачности атмосферы» (3–5 мкм) и полосы поглощения многочисленных молекулярных соединений: молекул воды, и кислород содержащих примесей. Разрабатываются технологии синтеза новых кристаллов [1], стекол [2], прозрачной лазерной керамики на основе шпинелей [3, 4], люминесцентных материалов с низкочастотным фононным спектром на основе оксогалогенидных систем – фторидных, хлоридных, бромидных, иодидных [5–7]. Авторы отмечают, что замена в системах фтора на хлор, бром или йод значительно расширяет диапазон прозрачности стеклокристаллической керамики в более длинноволновую область. Однако способы получения стеклокристаллической керамики

являются энергозатратными, многоступенчатыми, трудоемкими и длительными (учитывая термообработку стекол) процессами. Кроме того, стеклокерамика прозрачна в видимом и ближнем ИК диапазоне (максимум до 5 мкм), т.е. в узком спектральном диапазоне.

На сегодняшний день, проведенные авторами данной работы исследования, позволили разработать новую оптическую гетерофазную керамику на основе систем AgBr-TlI и AgBr-TlBr_{0,46}I_{0,54}. Разработанная технология синтеза оптической керамики является экологически чистой, безотходной, энерго- и ресурсосберегающей, и включает два этапа: получение высокочистой шихты и синтез керамики вертикальным методом направленной кристаллизации.

Синтез керамики на первом этапе включает получение высокочистой шихты на основе твердых растворов гидрохимическим методом, названным нами ТЗКС – термозонной кристаллизацией-синтезом [8]. Вторым этапом получения гетерофазной керамики систем AgBr-TlI и AgBr-TlBr_{0,46}I_{0,54} является ее синтез вертикальным методом направленной кристаллизации из расплава. Установлено, что для системы AgBr-TlI два твердых раствора представляют собой кубическую фазу состава Ag_xTl_{1-x}Br_xI_{1-x} (0 < x < 0,30 и 0,77 < x < 0,99), и ромбическую фазу состава Tl₂AgBr_{3-x}I_x (0 < x < 3). Аналогично, в системе AgBr-TlBr_{0,46}I_{0,54} твердые растворы кубической и ромбической фаз имеют составы: Ag_{1-x}Tl_xBr_{1-0,46x}I_{0,54x} (0 < x < 0,31 и 0,75 < x < 1,0) и Tl₂AgBr_{3-x}I_x (0 < x < 3).

Исследование спектрального диапазона новой керамики проводили на плоскопараллельных пластинах толщиной от 300 до 1000 нм, изготовленных на ручном гидравлическом прессе Specac 15т. методом горячего прессования [9]. Пластины соответствовали различным составам твердых растворов систем AgBr-TlI и AgBr-TlBr_{0,46}I_{0,54}. Определение спектрального пропускания керамики проводили с использованием ИК-Фурье спектрометров IRPrestige-21 (Shimadzu), работающего в спектральном диапазоне 7800–240 см⁻¹ (1,28–41,7 мкм) с различными комбинациями детекторов и делителей, VERTEX 80 (Bruker) с расширенным ИК диапазоном 680–165 см⁻¹ (от 14,7 до 60,60 мкм). Установлено, что керамика на основе системы AgBr-TlI прозрачна от 0,497–0,568 до 45,0–67,0 мкм, а на основе системы AgBr-TlBr_{0,46}I_{0,54} – от 0,486–0,522 до 45,0–55,0.

На основании результатов исследований можно сделать вывод, что многофазная кристаллическая керамика на основе нескольких твердых растворов галогенидов серебра и таллия (I) является перспективным материалом для изготовления различных оптических изделий, прозрачных в среднем и дальнем ИК диапазонах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-73-10063).

Список литературы:

1. Weber, M. J. Handbook of optical materials / M. J. Weber. – Boca Raton : CRC Press, 2002. – 499 p.

2. Pavlycheva, N. K. Optical materials and technologies : Textbook / N. K. Pavlycheva. – Kazan : Kazan Publishing House. State. Technical University, 2008.
3. Osipov, V. V. Synthesis and study of $\text{Fe}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ceramics for active elements of solid-state lasers / V. V. Osipov, V. A. Shitov, V. V. Platonov, V. I. Solomonov, A. I. Medvedev // Quantum Electronics. – 2019. – Vol. 49, № 1. – P. 89–94.
4. Osipov, V. V. Fabrication and characterization of IR-transparent Fe^{2+} doped MgAl_2O_4 ceramics / V. V. Osipov [et al.] // J. Am. Ceram. Soc. – 2019. – Vol. 102, № 8. – P. 4757–4764.
5. Fedorov, P. P. Transparent oxyfluoride glass ceramics / P. P. Fedorov, A. A. Luginina, A. I. Popov // J. Fluor. Chem. – 2015. – Vol. 172. – P. 22–50.
6. Kolobkova, E. V. Optical glass-ceramic based on fluorine-containing silicate glasses activated by rare-earth ions / E. V. Kolobkova, V. G. Melekhin, A. N. Penigin // Phys. Chem. Glasses. – 2007. – Vol. 33, № 1. – P. 12–19.
7. Reaney Beggiora, I. M. Phase evolution in oxy-fluoride glass ceramics / I. M. Reaney Beggiora, A. B. Seddon, D. Furniss, S. A. Tikhomirova // J. Non-Cryst. Solids. – 2003. – Vol. 326, № 327. – P. 476–483.
8. Korsakov, A. Structure modeling and growing $\text{AgCl}_x\text{Br}_{1-x}$, $\text{Ag}_{1-x}\text{Tl}_x\text{Br}_{1-x}\text{I}_x$, and $\text{Ag}_{1-x}\text{Tl}_x\text{Cl}_y\text{I}_z\text{Br}_{1-y-z}$ crystals for infrared fiber optics / A. Korsakov, L. Zhukova, E. Korsakova, E. Zharikov // J. Cryst. Growth. – 2014. – Vol. 386. – P. 94–99.
9. Korsakov, A. S. 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 / A. S. Korsakov, D. S. Vrublevsky, V. S. Korsakov, L. V. Zhukova // Appl. Opt. – 2015. – Vol. 54, № 26. – P. 8004–8009.

Определение коэффициентов нелинейности фотонно-кристаллических световодов с высоким градиентом показателя преломления

А. А. Южакова, Д. Д. Салимгареев, А. Е. Львов, А. С. Корсаков, Л. В. Жукова

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, *l.v.zhukova@urfu.ru*

Представлены результаты исследования коэффициента нелинейности и эффективных параметров пропускания фотонно-кристаллических световодов на основе кристаллов галогенида серебра и таллия (I) посредством моделирования по методу конечных элементов. Для исследования нелинейности были выбраны структуры с разными степенями заполнения в диапазоне длин волн 8–13 мкм. Получены зависимости коэффициента нелинейности и эффективных показателей преломления и площади моды от длины волны.

Ключевые слова: микроструктура, световод, галогениды серебра, галогениды таллия.

This work is devoted to the study of the nonlinearity coefficient and effective transmission parameters of photonic-crystal fibers based on silver and thallium (I) halide crystals. The study was carried out by means of finite element method. To study nonlinearity, structures with different degrees of filling in the wavelength range of 8–13 μm were selected. As a result of the study, the dependences of the nonlinearity coefficient and effective refractive indices and mode area on the wavelength were obtained.

Keywords: microstructure, fiber, silver halides, thallium halides.

Исследование фотонно-кристаллических световодов (ФКС), называемых также микроструктурированными, для среднего и дальнего ИК диапазона является актуальной научной задачей, что связано с уникальными свойствами данных волокон. На сегодняшний день для среднего ИК существует ограниченное количество материалов, пропускающих излучение данного диапазона и подходящих для создания фотонно-кристаллических световодов, в частности, халькогенидные [1], теллуридные [2], кварцевые стекла [3], кристаллы галогенидов серебра и таллия [4]. Последние исследования в области разработки ФКС связаны с увеличением диапазона пропускания, поиском одномодовых режимов передачи и достижения большого поля моды.

Первые исследования в области фотонно-кристаллических световодов были проведены в Уральском федеральном университете для систем AgCl-AgBr и AgBr-Tl [4, 5]. Авторами [4, 5] были разработаны полностью твердотельные ФКС с гексагональной структурой вставок и при наличии и отсутствии центрального включения для передачи ИК излучения в диапазоне 2,0–25,0 мкм. Данное значение пропускания является рекордным на сегодняшний день.

В данной работе посредством моделирования исследуются фотонно-кристаллические световоды с гексагональной структурой вставок на основе кристаллов из двух разных систем – $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ (вставки, $n = 2,123$ при $\lambda = 10,6$ мкм) и $\text{Ag}_{0,1}\text{Tl}_{0,9}\text{Br}_{0,58}\text{I}_{0,42}$ (матрица, вставки, $n = 2,304$ при $\lambda = 10,6$ мкм). В результате симуляции были определены модовый режим работы ФКС, эффективные показатель преломления (n_{eff}) и площадь моды, а также коэффициент нелинейности (γ). Последняя характеристика для световодов указанной структуры получена впервые.

Диаметр вставок задавался постоянным $d = 11$ мкм. Вариативной частью являлась степень заполнения волокна $d/\Lambda = 0,3, 0,5, 0,7, 0,9$, где Λ – расстояние между центрами соседних вставок и длина волны $\lambda = 8,0, 9,0, 10,0, 10,6, 11,0, 12,0, 13,0$ мкм. Дополнительно при симуляции вокруг структуры создавался идеально согласованный слой, необходимый для приближения модели к реальным условиям.

В результате моделирования были получены структуры с двумя кольцами вставок гексагональной конфигурации с маломодовым (4 моды) режимом работы в диапазоне длин волн 8–13 мкм. В таблице 1 показаны нелинейные коэффициенты смоделированных структур при разной степени заполнения для фундаментальной моды LP_{01} .

Как можно видеть по данным в таблице 1, коэффициент нелинейности монотонно убывает с увеличением длины волны и снижается с уменьшением степени заполнения ФКС. С уменьшением степени заполнения волокна наблюдается увеличение эффективной площади поля моды от $96,91 \text{ мкм}^2$ (при $d/\Lambda = 0,9$) до $872,22 \text{ мкм}^2$ (при $d/\Lambda = 0,3$).

Таблица 1 – Результаты моделирования эффективного показателя преломления и расчета коэффициента нелинейности

Параметр	Длина волны, мкм						
	8,0	9,0	10,0	10,6	11,0	12,0	13,0
$d/\Lambda = 0,9$							
n_{eff}	2,274	2,268	2,262	2,259	2,256	2,250	2,244
$\gamma, \text{Вт}^{-1}\text{см}^{-1}$	184,25	163,38	146,66	138,15	132,99	121,58	111,93
$d/\Lambda = 0,7$							
n_{eff}	2,288	2,285	2,282	2,280	2,279	2,276	2,272
$\gamma, \text{Вт}^{-1}\text{см}^{-1}$	112,14	99,57	89,49	84,36	81,25	74,37	68,56
$d/\Lambda = 0,5$							
n_{eff}	2,295	2,294	2,293	2,292	2,291	2,290	2,289
$\gamma, \text{Вт}^{-1}\text{см}^{-1}$	57,40	51,00	44,88	43,27	41,68	38,19	35,23
$d/\Lambda = 0,3$							
n_{eff}	2,299	2,298	2,298	2,298	2,298	2,297	2,297
$\gamma, \text{Вт}^{-1}\text{см}^{-1}$	20,70	18,40	16,55	15,61	15,05	13,79	12,73

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-73-10063).

Список литературы:

1. Shen, Zh. Mid-infrared dual-cladding photonic crystal fiber with high birefringence and high nonlinearity / Zh. Shen, K. Li, Ch. Jia, H. Jia // Optical Review. – 2020. – Vol. 27. – P. 296–303.
2. Highly coherent supercontinuum in the mid-infrared region with cascaded tellurite and chalcogenide fibers / H. Ph. T. Nguyen, K. Nagasaka, T. H. Tuan, Th. S. Saini, X. Luo, T. Suzuki, Y. Ohishi // Applied Optics. – 2018. – Vol. 57, № 21. – P. 6153–6163.
3. Mid-infrared silicon photonic crystal fiber polarization filter based on surface plasmon resonance effect / Y. Qu, J. Yuan, X. Zhou, F. Li, B. Yan, Q. Wu, K. Wang, X. Sang, K. Long, C. Yu // Optics Communications. – 2020. – № 125387.
4. Structure modeling and manufacturing PCFs for the range of 2–25 μm / A. Lvov, D. Salimgareev, M. Korsakov, A. Korsakov, L. Zhukova // Optical Materials. – 2017. – Vol. 73. – P. 337–342.
5. Zhukova, L. V. Structure simulation of photonic crystal fibers for the 2.0–25.0 μm range / L. V. Zhukova, A. S. Korsakov, V. S. Korsakov, A. A. Lashova // Proceedings-International Conference Laser Optics. – 2018, ICLO2018. – St. Petersburg : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. – P. 34.

Моделирование самофокусировки в оптических изделиях на основе галогенидов серебра и таллия (I)

*А. А. Южакова, Д. Д. Салимгареев, А. Е. Львов, А. С. Шмыгалев,
А. Тураби, Л. В. Жукова*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, l.v.zhukova@urfu.ru

Исследовано явление самофокусировки, возникающее в процессе передачи лазерного излучения длиной волны 10,6 мкм через оптическую среду на основе кристаллов систем AgCl-AgBr, AgBr-TlI, AgBr-TlBr_{0.46}I_{0.54}. Исследование выполнено

посредством компьютерной симуляции по методу конечных элементов на длине волны CO₂-лазера с варьированием оптических свойств среды и пиковых интенсивностей. В результате моделирования в кристаллических заготовках обнаружен эффект самофокусировки излучения с пиковыми интенсивностями 61 и 600 кВт/см², определены нелинейные показатели преломления и критическая мощность излучения.

Ключевые слова: самофокусировка, галогениды серебра, галогениды таллия

The paper investigates the phenomenon of self-focusing, which occurs during the transmission of laser radiation with a wavelength of 10.6 μm through an optical medium based on the AgCl-AgBr, AgBr-TlI, AgBr-TlBr_{0.46}I_{0.54} crystals systems. The study was carried out using finite element simulation method at the wavelength of a CO₂ laser with varying optical properties of the medium and peak intensities. As a modeling result in crystalline samples, the effect of radiation self-focusing with peak intensities of 61 and 600 kW/cm² was discovered, and the nonlinear refractive indices and critical radiation power were determined.

Keywords: self-focusing, silver halides, thallium halides

Явление самофокусировки излучения в оптических средах связано с зависимостью показателя преломления материала от интенсивности проходящего света и широко исследуется в течение последних пяти десятилетий. Многие диэлектрические оптические материалы проявляют нелинейные свойства, в том числе самофокусирующие, при распространении лазерного излучения высокой мощности. На сегодняшний день подавляющее большинство таких материалов работает в видимом и ближнем ИК диапазонах, что связано в первую очередь с наличием большого количества лазерных источников излучения. Спектр лазерных систем среднего ИК диапазона весьма ограничен, в связи с чем самофокусировка в оптических материалах для данного диапазона малоизучена. В данной работе проводится исследование самофокусировки в оптических кристаллах на основе систем AgCl-AgBr, AgBr-TlI, AgBr-TlBr_{0.46}I_{0.54} на длине волны CO₂-лазера – 10,6 мкм.

Явление самофокусировки напрямую связано с нелинейным показателем преломления, который записывается как (1) [1]:

$$n = n_0 + \gamma I^2, \quad (1)$$

где n_0 – постоянная (линейная) часть показателя преломления; γ – коэффициент нелинейного показателя преломления, а I – интенсивность проходящего излучения. Нелинейность обусловлена оптическим эффектом Керра, который представляет собой нелинейное искажение электронных облаков вокруг ядер в материале.

Посредством моделирования с помощью метода конечных элементов было исследовано явление самофокусировки в заготовках цилиндрической формы на основе кристаллов 75 мол.% AgBr в AgCl, 2 мол.% TlI в AgBr и 20 мол.% TlBr_{0.46}I_{0.54} в AgBr, а именно выполнена симуляция нелинейной части показателя преломления, а также изменение в диаметре пучка проходящего излучения.

Для моделирования задавался сплошной цилиндрический стержень диаметром 10 мм с условно бесконечной длиной. В стержень заводи-

лось ИК излучение длиной волны $\lambda = 10,6$ мкм с пиковыми интенсивностями $I_{0,1} = 61$ кВт/см², $I_{0,2} = 600$ кВт/см². Данный выбор пиковых интенсивностей связан с действительными мощностями доступных СО₂-лазеров, требуемых для будущей верификации результатов моделирования. Диаметр пятна лазерного излучения принимался равным 100λ , то есть для длины волны 10,6 мкм составил 1060 мкм. Дополнительно по результатам симуляции рассчитывалась критическая мощность излучения, определяемая как:

$$P_{cr} = (1.22\pi)^2 \frac{\lambda_0^2}{8\pi n_0 \gamma}. \quad (2)$$

Для повышения качества моделирования задавалась мелкая сетка, позволяющая избежать распада пучка излучения на лучи. Результаты моделирования показаны в таблице 1.

Полученные результаты показывают большие значения нелинейного показателя преломления, который приводит к возникновению самофокусировки в галогенидах серебра, что дополнительно подтверждается величинами радиуса пятна, значительно меньшими, в сравнении с диаметром падающего пучка. Помимо прочего стоит отметить, что критическая мощность излучения увеличивается с уменьшением показателя преломления и интенсивности лазерного излучения. Исследование физических аспектов данного явления будет целью дальнейшего исследования самофокусировки в кристаллах галогенидов серебра и таллия (I).

Таблица 1 – Результаты симуляции самофокусировки

Химический состав кристалла	n_0 , [2, 3]	I_0 , кВт/см ²	P_0 , Вт	γ , 10 ¹¹	Радиус сфокусированного пятна, мм
75 мол.% AgBr в AgCl	2,123	61	4,687	0,66	0,183
		600	0,193	16,00	0,182
2 мол.% TlI в AgBr	2,186	61	1,878	1,60	0,182
		600	0,194	15,50	0,182
20 мол.% TlBr _{0,46} I _{0,54} в AgBr	2,230	61	1,841	1,60	0,182
		600	0,184	16,00	0,181

Таким образом, кристаллы систем AgCl-AgBr, AgBr-TlI, AgBr-TlBr_{0,46}I_{0,54} являются нелинейными средами, в которых под действием лазерного излучения высокой интенсивности наблюдается самофокусировка света. Данные результаты являются важными для проектирования лазерных систем высокой мощности. Кроме того, полученная информация является индикатором повреждения материала, если порог для самофокусировки превышен. Таким образом, важно знать пороговые значения самофокусировки для материалов, используемых в лазерной инженерии.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEUZ-2020-0058 (H687.42B.223/20).

Список литературы:

1. Koechner, W. Solid-State Laser Engineering / W. Koechner. – New York : Springer, verlag, 2010. – 75 p. Chap. 4.6.
2. Crystals of $\text{AgBr} - \text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$ system: Synthesis, structure, properties, and application / D. D. Salimgareev, A. E. Lvov, E. A. Korsakova, A. S. Korsakov, L. V. Zhukova // Materials Today Communications. – 2019. – Vol. 20. – P. 100551.
3. Zhukova, L. V. Domestic Developments of IR Optical Materials Based on Solid Solutions of Silver Halogenides and Monovalent Thallium / L. V. Zhukova, A. E. Lvov, A. S. Korsakov, D. D. Salimgareev, V. S. Korsakov // Optics and Spectroscopy (English translation of Optika i Spektroskopiya). – 2018. – Vol. 125, № 6. – P. 933–943.

Моделирование и изготовление лазерной системы для измерения показателей преломления на длине волны 10,6 мкм

*В. М. Кондрашин, К. В. Липустин, О. Н. Пахоменко,
А. С. Корсаков, Л. В. Жукова*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, *l.v.zhukova@urfu.ru*

Проведены исследования по определению показателей преломления на длине волны 10,6 мкм с использованием метода Майкельсона. Показано, что полученные значения необходимы для моделирования и изготовления инфракрасных световодов, для применения в медицине.

Ключевые слова: показатель преломления, интерферометр Майкельсона, галогениды серебра.

In the this work, studies were carried out to determine the refractive indices at a wavelength of 10.6 microns using the Michelson method. The obtained values are necessary for the modeling and fabrication of infrared optical fibers for medical applications.

Keywords: refractive index, Michelson interferometer, silver halides.

Для многочисленных задач волоконной оптики среднего ИК диапазона требуется определение показателя преломления материала на строго известной длине волны, для этого подходит в качестве источника CO_2 лазер и интерферометр Майкельсона [1]. Необходимо было смоделировать лазерную установку на основе интерферометра Майкельсона, позволяющую получать интерференционную картину, достаточную для определения показателя преломления материалов в диапазоне $(n) = 1,5\text{--}3,5$. Собранный установка состояла из CO_2 лазера, нескольких зеркал и линз. В качестве приемника использовалась SSD камера Spiricon Pyrocam III.

На следующем этапе была изготовлена лазерная установка, реализующая метод Майкельсона и позволяющая проводить исследование показателя преломления вертикально поляризованным излучением на длине волны 10,6 мкм.

Проведена успешная калибровка установки для исследования показателя преломления на основе интерферометра Майкельсона. В качестве проверочного материала использовался монокристалл кремния. Полученные результаты определения показателя преломления на длине вол-

ны 10,6 мкм для монокристалла Si $n = 3,419 \pm 0,002$ совпадают со справочными – 3,42.

Впервые определен показатель преломления (при $\lambda = 10,6$ мкм вертикально поляризованное излучение) поликристаллических пластин твердых растворов галогенидов серебра состава AgBr-AgI. Для чистого бромида серебра он составил $2,16 \pm 0,06$, $\text{AgBr}_{0,98}\text{I}_{0,02}$ – $2,17 \pm 0,05$, $\text{AgBr}_{0,90}\text{I}_{0,10}$ – $2,24 \pm 0,05$ и для $\text{AgBr}_{0,80}\text{I}_{0,20}$ – $2,30 \pm 0,07$, т. е. с увеличением содержания AgI в бромиде серебра наблюдается монотонное увеличение показателя преломления.

Данные необходимы для создания световодов различной фотонной структуры для медицинских и промышленных применений [2].

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEUZ-2020-0058 (Н687.42Б.223/20).

Список литературы:

1. Fendley, J. J. Measurement of refractive index using a Michelson interferometer / J. J. Fendley // Physics Education. – 1982. – Vol. 17. – P. 209–211.
2. Жукова Л. В. Волоконные световоды для среднего инфракрасного диапазона : учебник / Л. В. Жукова, А. С. Корсаков, А. Е. Львов, Д. Д. Салимгареев. – Екатеринбург : Изд-во УМЦ УПИ, 2016. – 247 с.

Донорно-акцепторная рекомбинация как обратная связь и нормирующий фактор электрофизических свойств полимолекулярных веществ

А. В. Богданов

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского
государственного технологического университета, Новороссийск,
bogdanov50@gmail.com

Рассмотрен механизм люминесценции алмазов в видимой области спектра за счет рекомбинации носителей заряда в донорно-акцепторных парах. Показано, что обязательное условие образования отрицательного дифференциального сопротивления – наличие обратной связи, каналом которой и является такая рекомбинация отрицательного дифференциального сопротивления.

Ключевые слова: люминесценция, алмаз, рекомбинация, носители заряда, донорно-акцепторные пары.

The mechanism of diamonds luminescence in the visible spectrum due to recombination of charge carriers in donor-acceptor pairs has been considered. It has been shown that a prerequisite for the formation of negative differential resistance is the presence of feedback which channel is such recombination.

Keywords: luminescence, diamond, recombination, charge carriers, donor-acceptor pairs.

Основным механизмом люминесценции алмазов в видимой области спектра является рекомбинация носителей заряда в донорно-

акцепторных парах (ДАП) между донорным уровнем азота $E_d = 4,0 \text{ эВ}$ и акцепторным уровнем бора $E_a = 0,36 \text{ эВ}$. Энергии излучаемого фотона при рекомбинации носителей заряда в ДАП равна:

$$h\nu = E_g - E_d - E_a + \frac{q^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R} - \Delta E, \quad (1)$$

Подставляя значение λ для алмаза в это выражение и учитывая, что при концентрации ДАП $N_{d0} = (10^{17} \dots 10^{20}) \text{ см}^{-3}$ величина $\frac{q^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_0} \gg \Delta E$ получаем наиболее вероятный размер ДАП $R = (0,77 \dots 1,2) \text{ нм}$. Согласно [1]

$$R = 0,534 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{a_B}{\epsilon \cdot T_C}}; \quad N_{d0} = 1,05 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{\epsilon \cdot T_C}{a_B} \right)^{\frac{3}{2}}$$

В исследуемых нами полимолекулярных структур синтетического алмаза, изоляционных плёнок в кремниевых полупроводниковых приборах $\text{Si} - \text{SiO}_2$, железе и мазуте получены следующие их значения.

Обязательным условием образования отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС) и гистерезисных характеристик (несовпадение «прямого» и «обратного» их хода) является наличие обратной связи [2]. Каналом обратной связи может быть рекомбинация в ДАП при их размере $R = (0,77 \dots 1,2) \text{ нм}$. ОДС N – типа действительно наблюдалось в веществах с $R = (0,77 \dots 1,2) \text{ нм}$: синтетических алмазах [3], структурах $\text{Si} - \text{SiO}_2$ [4], и мазуте [5]. Модель магнитного гистерезиса, обусловленного рекомбинацией носителей заряда в ДАП представлена в работе [6].

Таблица 1 – Сравнительные значения концентрации ДАП $N_{d0}(N_0)$ и наиболее вероятного их размера R в исследуемых веществах

Вещество	Алмаз	$\text{Si} - \text{SiO}_2$	Железо		Мазут	
Температура	Кюри	Дебая	Дебая	Кюри	Дебая	Кюри
ϵ	5,7	4,5 ... 11,7	1		2,4	
$a_B, \text{ нм}$	0,077	0,132 (Si)	0,156		0,077	0,077
$T_D(T_C) \text{ К}$	483	645 (Si)	464	1043	343	1043
	224	108 ... 454	5,39	18,2	27,9	195
$R, \text{ нм}$	0,89	0,71 ... 1,2	3,09	2,06	1,66	0,93

Список литературы:

1. Богданов, А. В. Модель межмолекулярной донорно-акцепторной рекомбинации носителей заряда в алмазе / А. В. Богданов // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте – 2019 : тр. XXVII Междунар. конф. (9–19 сентября 2019). – Краснодар, 2019. – С. 152–153.
2. Волков, А. Ф. Физические явления в полупроводниках с отрицательной дифференциальной проводимостью / А. Ф. Волков, Ш. М. Коган // Успехи физических наук. – 1968. – Т. 96, № 4. – С. 633–672.
3. Богданов, А. В. Вольтамперные характеристики синтетических полупроводниковых алмазов, легированных в процессе синтеза бором / А. В. Богданов, В. А. Преснов // Известия вузов СССР. Сер.: Физика. – 1978. – № 9. – С. 7–12.

4. Механизм образования отрицательного дифференциального сопротивления N – типа в неупорядоченных структурах / А. В. Богданов, Б. В. Малыгин, М. Ю. Коновалов, А. П. Бень, Н. Н. Кобяков, С. И. Хойна // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2011. – Вып. 1 (27). – С. 58–62.

5. Богданов, А. В. Электропроводность мазута / А. В. Богданов, В. А. Богданов // Научный вестник Херсонской государственной морской академии. – 2013. – № 2 (9). – С. 83–87.

6. Богданов, А. В. Модель магнитного гистерезиса ферромагнетиков на основе донорно-акцепторной рекомбинации неравновесных носителей заряда / А. В. Богданов // Вестник Дагестанского государственного университета. – 2015. – Вып. 6. – С. 42–49.

Модель межмолекулярной донорно-акцепторной рекомбинации носителей заряда в алмазе

А. В. Богданов

Новороссийский политехнический институт (филиал)
Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск,
bogdanov50@gmail.com

Предложена новая модель, отличная от известных, используемых для монокристаллов полупроводников. Показано, что модель позволяет в ряде случаев исключить влияние кристаллической решётки вещества на рекомбинацию носителей заряда в донорно-акцепторных парах и использовать её для негомогенных веществ в твёрдом и жидком состояниях.

Ключевые слова: модель, монокристаллы полупроводников, кристаллическая решётка, рекомбинация носителей заряда, донорно-акцепторные пары.

A new model has been proposed which different from the known ones used for single crystals of semiconductors. It has been shown that the model allows in some cases to exclude the influence of a crystalline lattice on the recombination of charge carriers in donor-acceptor pairs and use it for non-homogenic substances in solid and liquid states.

Keywords: model, single crystals of semiconductors, crystal lattice, recombination of charge carriers, donor-acceptor pairs.

Предположения предлагаемой модели отличаются от известных, используемых для монокристаллов полупроводников следующим:

- донорно-акцепторные пары (ДАП) образуются в области выпрямляющего контакта тонкодисперсного включения в матрице алмаза;
- скорость рекомбинации носителей заряда в ДАП пропорциональна $\exp\left(-\frac{2R}{a_B}\right)$, где R – наиболее вероятный размер ДАП; a_B – меньший из Боровских радиусов атомов в них, а скорость захвата неравновесных дырок на акцептор с энергией активации E_a в алмазе, пропорциональна $\exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)$;

- критическая температура, при которой скорость рекомбинации носителей заряда в ДАП становится равной скорости теплового захвата

свободных носителей заряда на один из её атомов соответствует резко-му изменению электрофизических свойств вещества;

– критическая температура, при которой происходит изменение электрофизических свойств вещества, соответствует температуре Кюри T_C , если ДАП содержат атомы с недостроенной электронной оболочкой и температуре Дебая T_D – если в ДАП такие атомы отсутствуют;

– электрофизические свойства алмазов в силу изменения концентрации ДАП, а значит и их размера зависят от температуры, воздействия электромагнитного поля и других факторов;

Из равенства скорости рекомбинации и захвата носителей заряда на ДАП получаем, что R при температуре T_C или T_D зависит только от радиуса меньшего атома в ДАП и диэлектрической постоянной вещества ε . При температуре T_C наиболее вероятный размер ДАП R и их концентрация N_{d0} определяются выражениями:

$$R = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{1}{3}}} \left(\frac{4k \cdot \varepsilon_o}{q^2 (2\pi)^{\frac{1}{3}}} \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\varepsilon \cdot T_C}{a_B} \right)^{-\frac{1}{2}} = 0,534 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{a_B}{\varepsilon \cdot T_C}}$$

$$N_{d0} = \left(\frac{4k \cdot \varepsilon_o}{q^2 (2\pi)^{\frac{1}{3}}} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{\varepsilon \cdot T_C}{a_B} \right)^{\frac{3}{2}} = 1,05 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{\varepsilon \cdot T_C}{a_B} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Подставляя значения для алмаза $\varepsilon = 5,7$ и температуру Кюри включения металла-растворителя никеля с $T_C = 483$ К получаем $R = 0,89$ нм и $N_{d0} = 2,24 \cdot 10^{20}$ см⁻³. Данная модель позволяет пояснить магнитную чувствительность диамагнитного синтетического алмаза и близость значения T_C алмазов марки АС6, АС15, АС32 с температурой Кюри ферромагнитного чистого никеля, присутствующего в них в виде включений [1].

Впервые наличие выпрямляющего перехода на границе включения в алмазе, его размер и другие электрофизические параметры было показано при исследовании микроплазменного пробоя [2].

Предлагаемая модель позволяет в ряде случаев исключить влияние кристаллической решётки вещества на рекомбинацию носителей заряда в ДАП и использовать её для негомогенных веществ в твёрдом и жидком состояниях.

Список литературы:

1. Физические свойства алмаза : справочник / под ред. Н. В. Новикова. – Киев : Наукова думка, 1987. – 192 с.
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.

Плотность электронных состояний иттрий-алюминиевых гранатов

Л. К. Ермаков

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург, *ermakov-lk@mail.ru*

Получена плотность электронных состояний в иттрий-алюминиевых гранатах методом разложения функции Грина в непрерывную дробь, численными методами. Для устранения переполнения применено масштабирование матрицы полуэмпирического гамильтониана. Результаты удовлетворительны.

Ключевые слова: функция Грина, непрерывная дробь, полуэмпирический гамильтониан, локальная плотность электронных состояний.

The local density of electronic states in YAG have been obtained by Green function expansion in continued fraction by numerical methods. The scale of half-empirical Hamiltonian is used to cram eliminate. The results of the calculations weak from one investigator to another.

Keywords: Green function, continued fraction, half-empirical Hamiltonian, local density of electronic states.

Иттрий-алюминиевые гранаты (YAG) давно вызывают интерес как основа создания различных оптоэлектронных приборов: модуляторы света, светодиоды, лазеры, а также датчики излучений с высокой энергией кванта [1, 6]. Это объясняется большой шириной запрещенной зоны кристаллов этой группы, которая позволяет получать различные системы локальных электронных уровней путём введения в решетку примесных атомов нужного сорта. В связи с этим возникло понимание необходимости теоретических расчетов электронной структуры кристаллов YAG различного состава. Ввиду того, что примесные атомы часто присутствуют в формуле вещества с индексом «х» либо «1-х» использование трансляционной симметрии затруднительно. Поэтому логичнее работать в несимметризованном базисе ЛКАО. Для расчета локальной плотности состояний (ЛПС) использовался метод разложения функции Грина в непрерывную дробь (НД) [2] в полуэмпирическом варианте. Потенциалы ионизации взяты из работы [3], волновые функции – из работы [4], интегралы перекрывания – из работы [5]. Следует отметить, что получение ЛПС через зону Бриллюэна в данном вопросе (YAG + примеси) неправильно, так как отсутствует дальний порядок. Однако и в методе НД есть свои проблемы. Дело в том, что в рекурсивной процедуре построения нового тридиагонального базиса присутствует гамильтониан многократно умноженный сам на себя, в результате чего числа быстро набирают большие порядки и выходят за разрешенные машиной величины. Это вызвано тем, что в базисе ЛКАО, в полуэмпирическом варианте, диагональные элементы гамильтониана – это потенциалы ионизации атомов (единицы и десятки электронвольт). Простым выходом является масштабирование матрицы [6], путём деления

диагональных элементов на наибольший потенциал ионизации. При восстановлении не масштабированной картины надо умножить на этот же потенциал, полученные из масштабированного гамильтониана собственные значения и ЛПС, которая есть мнимая часть функции Грина, деленная на число « π », естественно со знаком минус. Все это легко сделать автоматически в ходе работы программы. Программа – около тысячи операторов языка FORTRAN-77. При вычислении зависимости ЛПС от энергии достаточно идти по «нормальным» (немасштабированным) значениям энергии с «нормальным» шагом, запуская каждое масштабированное значение энергии в алгоритм вычисления мнимой части функции Грина от масштабированного гамильтониана. Значение ЛПС для данной энергии все равно записывается в массив под определенным номером, который однозначно соответствует значению энергии в обоих вариантах и поэтому не возникает трудностей при построении графика зависимости ЛПС от энергии в «нормальном» виде. Дело ещё упрощается и тем, что реально обычно нужна ЛПС, «нормированная» на максимальное значение ЛПС, то есть чтобы максимум суммарной ЛПС был равен единице. Результаты расчетов близки к результатам работы [6].

Список литературы:

1. Polovchenko S. V., P. V. Chartii, Shemann V. G., Privalov V. E. // J. Optical Technology. – 2016. – Т. 83, № 5. – Р. 43–49.
2. Solid State Physics. – 1980. – Vol. 35. Acad. Press. N. Y.
3. Левин, А. А. Введение в квантовую химию твердого тела / А. А. Левин. – Москва : Химия. – 1974. – 237 с.
4. Clementi E. J., Raimondi D. L. // Chem. Phys. – 1963. – Vol. 38. – Р. 2686–2689.
5. Бацанов, С. С. Интегралы перекрытия / С. С. Бацанов, Р. А. Звягина. – Новосибирск : Наука, 1966. – 388 с.
6. Munoz-Garcia A. B., Sejo L. // Phys. Rev. – 2010. – В 82. – Р. 184118.
7. Голуб, Дж. Матричные вычисления / Дж. Голуб, Ч. Ван Лоун. – Москва : Мир, 1999. – 548 с.

Перспективные акустооптические кристаллы для среднего инфракрасного диапазона

*К. В. Липустин, В. М. Кондрашин, А. С. Корсаков,
Л. В. Жукова, Е. А. Корсакова*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, *l.v.zhukova@urfu.ru*

Проведены исследования показателя преломления акустооптических кристаллов методом Майкельсона в инфракрасном диапазоне спектра. Измерены образцы кристаллов КРС-5 ($\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$) и InI в поляризованном излучении на длине волны 10,6 мкм. В результате определены показатели преломления для указанных материалов в зависимости от ориентации плоскости и граней кристаллов. Исходя из соот-

ношения показателей преломления между ориентациями кристалла подтвержден тип кристаллической решетки для каждого материала.

Ключевые слова: показатель преломления, интерферометр Майкельсона, галогениды серебра, йодид индия, акустооптика.

Within the framework of this work, the refractive index of acousto-optic crystals was studied by the Michelson method in the infrared range of the spectrum. Samples of KRS-5 ($\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$) and InI crystals were measured in polarized radiation at a wavelength of 10.6 μm . As a result, the refractive indices for the above materials were determined, depending on the orientation of the plane and crystal faces. Based on the ratio of refractive indices between crystal orientations, the type of crystal lattice is confirmed for each material.

Keywords: refractive index, Michelson interferometer, silver halides, indium iodide, acousto-optics.

В настоящее время неотвратимо растут требования к качеству кристаллов, применяемых в акустооптике, а также ведется поиск новых перспективных акустооптических материалов для среднего инфракрасного диапазона спектра [1]. Одним из важнейших акустооптических параметров, помимо диапазона спектральной прозрачности, является показатель преломления материала. Для этого собрана, откалибрована и проверена экспериментальная установка для исследования показателя преломления в поляризованном излучении на основе интерферометра Майкельсона и CO_2 лазера. Полученные результаты определения показателя преломления на длине волны 10,6 мкм для монокристалла ZnSe совпадают со справочными с точностью до $\pm 0,002$.

Определены показатели преломления (при $\lambda=10,6$ мкм вертикально поляризованное излучение) поли- и монокристаллов КРС-5 ($\text{TlBr} - \text{TlI}$), которые составили $2,37 \pm 0,06$ – для поликристаллической пластины и $2,37 \pm 0,006$ для монокристалла при двух ориентациях плоскостей образца [001] и [100].

Исследованы образцы перспективного акустооптического материала InI, полученные из ИОФ им. А.М. Прохорова РАН. Определены их оптические характеристики (диапазон прозрачности от 2,0 до 41,6 мкм; показатели преломления на длине волны 10,6 мкм вертикально поляризованного излучения: $n_x = 2.42 \pm 0.13$, $n_z = 2.55 \pm 0.08$, $n_y = 2.89 \pm 0.13$), которые являются крайне важными в исследовании акустооптических свойств материала [2]. Также полученные данные по показателям преломления в зависимости от кристаллографической ориентации кристалла подтверждают тип кристаллических решеток для материалов InI – ромбический и для КРС-5 – кубический.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEUZ-2020-0058 (H687.42B.223/20).

Список литературы:

1. Handbook of Optics / ed. by M. Bass. – McGraw Hill, 1995. – Vol. 2. – Chap. 12.

2. Porokhovnichenko, D. I. Indium iodide single crystal: breakthrough material for infrared acousto-optics / D. I. Porokhovnichenko [et al.] // Optics Letters. – 2020. – Vol.45, № 13. – P. 3435–3438. – URL: <https://doi.org/10.1364/OL.393737>

Исследование оптической прозрачности кристаллов на основе твердых растворов систем AgHal-TlHal в терагерцовом диапазоне

*Д. Д. Салимгареев, А. А. Южакова, А. Е. Львов, Л. В. Жукова,
Д. А. Белоусов, А. С. Корсаков*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, l.v.zhukova@urfu.ru

Проведено исследование квазиоптических свойств в терагерцовом диапазоне длин волн галогенидосеребряных поликристаллических пластинок с различным химическим составом: $\text{AgBr}_{0,99}\text{I}_{0,01}$, $\text{Ag}_{0,95}\text{Tl}_{0,05}\text{Br}_{0,95}\text{I}_{0,05}$ и $\text{AgBr}_{0,75}\text{Cl}_{0,25}$. Дана оценка применимости данных поликристаллических структур для терагерцовой оптики.

Ключевые слова: инфракрасные кристаллы, терагерцовый диапазон.

This work investigates the quasi-optical properties in the THz wavelength range of silver halide polycrystalline plates with different chemical compositions: $\text{AgBr}_{0,99}\text{I}_{0,01}$, $\text{Ag}_{0,95}\text{Tl}_{0,05}\text{Br}_{0,95}\text{I}_{0,05}$ and $\text{AgBr}_{0,75}\text{Cl}_{0,25}$; and an assessment of the applicability of these polycrystalline structures for terahertz optics.

Keywords: infrared crystals, terahertz range.

Терагерцовое (ТГц) излучение занимает спектральный диапазон от 0,1 до 10,0 ТГц, что соответствует длинам волн от 3000,0 до 30,0 мкм электромагнитного спектра. В данном ТГц диапазоне находятся информативные линии поглощения сложных органических молекул, в том числе являющиеся основой взрывчатых и наркотических веществ [1]. Терагерцовое излучение не вызывает повреждений, проникая в органическую среду и другие материалы, по сравнению с ионизирующим излучением, таким как рентгеновское излучение. Поэтому ТГц материалы могут найти огромное применение в научных и прикладных задачах.

В настоящее время в качестве ТГц оптики традиционно используют кристаллы высокоомного кремния, кристаллического кварца и сапфира [2]. Кристаллы кремния обладают оптической прозрачностью 50–54 % в ТГц диапазоне от 50,0 до 1000,0 мкм и более. Кристаллы кварца прозрачны до 70 % в диапазоне от 120,0 до 1000,0 мкм, а сапфир прозрачен до 50 % в диапазоне от 350,0 до 1000,0 мкм. Кроме того, кварц и сапфир прозрачны и в видимой области, по сравнению с кристаллами кремния.

Достижения в области оптики и фотоники, лазерной физики, нелинейной и ИК волоконной оптики стимулирует интенсивные исследования в ТГц области спектра. Данное направление способствует поиску и разработке новых ТГц материалов, прозрачных не только в ТГц диапазоне, но и в видимом. Это свойство является большим преимуществом, поскольку позволяет настраивать оптическую систему по гелий-неоновому лазеру.

Подготовку образцов для исследования пропускания тепловой энергии проводили в несколько этапов. Первоначально, для систем AgCl – AgBr, AgBr – ТII и AgBr – (КРС-5) методом термозонной кристаллизации-синтеза (ТЗКС) была синтезирована шихта методом ТЗКС, который позволяет одновременно проводить как синтез однофазной гомогенной шихты заданного состава, так и очистку сырья от примесей. За один цикл перекристаллизации очистка достигается до трех – четырех порядков с выходом конечного продукта до 98 % [2]. Это является неоспоримым преимуществом способа ТЗКС перед высокотемпературными способами синтеза и очистки.

Методом Бриджмена из полученной шихты были выращены кристаллы. Из кристаллов изготовлены методом горячего прессования на ручном гидравлическом прессе Specac 15 Тон плоскопараллельные пластины толщиной 1–2 мм с высокой оптической точностью.

Образцы для исследования, использованные в данной работе, представляли собой плоскопараллельные поликристаллические пластины толщиной ~ 100 мкм, полученные методом горячего прессования из исходных монокристаллов состава: $\text{AgBr}_{0,99}\text{I}_{0,01}$; $\text{Ag}_{0,95}\text{Tl}_{0,05}\text{Br}_{0,95}\text{I}_{0,05}$ и $\text{AgBr}_{0,75}\text{Cl}_{0,25}$. Данный метод позволяет получать поликристаллическую структуру близкую к той, что преобладает в оптическом волокне и оптических элементах изготовленных методом горячего прессования.

Исследования оптической прозрачности и поглощения кристаллов в ТГц диапазоне проводили с помощью спектрометра СТД-21. В качестве источника ТГц излучения, в зависимости от частоты, использовали лампы обратной волны (ЛОВ). Измерения проводили на воздухе при температуре 298 К. В качестве детектора применялась ячейка Голея фирмы Tidex.

Диапазон пропускания кристаллов в видимой и ИК области спектра проводили ИК-Фурье спектрометр IRAffinity-1S.

При многолучевой интерференции монохроматического излучения внутри прозрачного плоскопараллельного образца могут быть найдены коэффициент поглощения в соответствии с формулами, описывающими пропускание интерферометра Фабри-Перо [1]. Величина максимума пропускания $T_{r_{max}}$ будет связана с коэффициентом затухания k или коэффициентом поглощения α , т.к. в соответствии с формулой:

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda}. \quad (1)$$

Если обозначить толщину образца как – d , тогда получим следующие расчетные формулы для определения оптических характеристик материала:

$$\alpha \sim \frac{\ln(T_{r_{max}})}{d}, \quad (2)$$

где c – постоянная скорости света, а λ – длина волны падающего на образец излучения.

Коэффициенты преломления и поглощения являются параметрами, описывающими распространение электромагнитного излучения в среде.

Определение этих фундаментальных характеристик позволяет оценить возможность применения данных материалов для использования их в ТГц области частот.

Для всех образцов поглощение определено Ag-Br. Параметры фонона частота 77.5 см^{-1} , диэлектрический вклад 6,2 и затухание 18 см^{-1} . В коротковолновой области, соответствующей диапазону 300,0–800,0 мкм, наблюдается рост коэффициентов поглощения, т. е. снижается оптическая прозрачность кристаллов для всех образцов. С переходом в длинноволновую ТГц область от 800,0 до 6000,0 все кристаллы обладают оптической прозрачностью 62–64 %. Кроме того, в высокочастотном диапазоне от 5,0 до 10,0 ТГц (60,0–30,0 мкм), что соответствует дальней ИК области спектра, все кристаллы прозрачны до 78 %.

Значение коэффициента пропускания вычислялось на основании формул (1, 2) по 2000 значений из спектра пропускания образцов, для 289–5207 мкм длин волн. Таким образом, в длинноволновой терагерцовой области от 800,0 до 6000,0 мкм и в высокочастотном терагерцовом диапазоне от 5,0 до 10,0 ТГц величина коэффициента поглощения составляет не более $0,1\text{ см}^{-1}$ для кристаллов системы AgCl – AgBr, а для кристаллов систем AgBr – AgI, AgBr – TlI, AgBr – TlBr_{0.46}I_{0.54} – составляет от 0,01 до $0,005\text{ см}^{-1}$. Таким образом, образцы являются прозрачными для ТГц излучения.

Список литературы:

1. Солимено, С. Дифракция и волноводное распространение оптического излучения : пер. с англ. / С. Солимено, Б. Крозиньяни, П. Ди Порто. – Москва : Мир, 1989. – 664 с.
2. Zhukova, L. V. AgCl_xBr_{1-x} and AgCl_xBr_yI_{1-x-y} crystals for IR engineering and optical fiber cables / L. V. Zhukova, N. V. Primerov, A. S. Korsakov, A. I. Chazov // Inorg. Mater. – 2008. – Vol. 44, № 12. – P. 1372–1377.

СЕКЦИЯ В-3 – КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ И СИГНАЛОВ

Применение лазерного станка с числовым программным управлением в дополнительном образовании детей средних классов

М. Ю. Орлов, В. А. Степанов, А. В. Лепехов

Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина, Рязань,
vl.stepanov@365.rsu.edu.ru

Рассмотрено применение лазерных станков с ЧПУ при обучении детей средних классов в системе дополнительного образования. Описано на примере дополнительной общеобразовательной общеразвивающей программы обучения детей работе на станке с ЧПУ.

Ключевые слова: лазерный станок, числовое программное управление, обучение.

This article is devoted to the use of CNC laser machines in teaching secondary school children in the system of additional education. It is described by the example of an additional General educational program for teaching children to work on a CNC machine.

Keywords: lasermachine, numericalcontrol, training

На современных промышленных производствах, использующих в качестве основного инструмента лазерное оборудование, требуются высококвалифицированные специалисты. Для получения достаточных практических навыков работы на лазерных центрах требуется достаточно длительный промежуток времени в связи с чем актуально развивать базовые практические навыки еще при обучении в средней школе. Важно понимать, что в средней школе основной упор идет на общеобразовательные дисциплины и для получения первичных навыков работы на лазерном станке с ЧПУ оптимальным является обучение в рамках дополнительного образования. Цель данной статьи описать процесс обучения практической работе на лазерном оборудовании школьников средних классов. Задачи статьи:

– отобразить процесс обучения в рамках занятий по дополнительной общеобразовательной общеразвивающей программе «Деревообработка на станках с ЧПУ» на базе ОГБУДО «Детский эколого-биологический центр»;

– показать практические работы выполненные обучающимися объединения [1, 2].

На базе ОГБУДО «Детский эколого-биологический центр» с 2019 г. действует объединение «Деревообработка на станках с ЧПУ». Свое знакомство с лазерным оборудованием обучающиеся начинают с ознакомительного модуля дополнительной общеобразовательной общеразвивающей программы «Деревообработка на станках с ЧПУ» продолжительностью 30 часов. В рамках данного модуля обучающиеся прослушали:

- технику безопасности при работе с лазерным оборудованием;
- лекции о природе лазерного излучения;
- лекции о типах лазерных станков.

На первом практическом занятии ученикам показали комплектующие лазерного станка. Подробно было рассказано, как правильно подготовить оборудование к работе. На последующих занятиях обучающиеся подробно познакомились с этапом запуска станка, получили поверхностное представление об управляющем программном обеспечении лазерного станка и выполнили групповой проект (рисунок 1).



Рисунок 1 – Итоговый проект обучающихся по базовому модулю

Второй модуль дополнительной общеобразовательной общеразвивающей программы «Деревообработка на станках с ЧПУ» полностью был посвящён практической работе на лазерном станке с ЧПУ. Обучающиеся подробно на практике изучали такие операции, как:

- резка;
- гравировка;
- быстрая резка.

Каждому из режимов работы посвящался комплекс занятий. На протяжении всего практического курса обучающиеся изучили, как влияет фокусное расстояние на характер реза, как правильно сопоставлять мощность излучения и скорость работы станка в зависимости от толщины используемого материала. Для каждой из операций каждая из групп самостоятельно определяла мощность излучения и скорость работы станка. Смотрели оттенки гравировки при изменении параметров и пришли к выводу, что с повышением мощности и понижением скорости оттенок становился более темным, а глубина гравировки увеличивалась. Относительно операции быстрая резка пришли к выводу, что требуется максимальная скорость и достаточно маленькая мощность, чтобы элементы не вырезались насквозь, а лишь по контуру появились не глубокие линии. Также пришли к выводу, что операция быстрая резка аналогична по характеру воздействия на материал ручной работе электрическим выжигателем.

Итогом обучения по дополнительной общеобразовательной общеразвивающей программе «Деревообработка на станках с ЧПУ» стали сформированные базовые представления о лазерных станках с ЧПУ, базовые навыки работы на лазерном станке с ЧПУ и выполненные итоговые групповые проекты (рисунок 2).



Рисунок 2 – Итоговые проекты обучающихся по программе «Деревообработка на станках с ЧПУ»

Список литературы:

1. Дудкин, В. И. Квантовая электроника. Приборы и их применение / В. И. Дудкин, Л. Н. Пахомов. – Москва : Техносфера, 2006. – 432 с.
2. Пихтин, А. Н. Оптическая и квантовая электроника / А. Н. Пихтин. – Москва : Высш. шк., 2001. – 573 с.

Электронная система обработки триангуляционного сигнала от изделия на производстве

*В. Н. Савин¹, В. А. Степанов¹, Е. Н. Моос¹, Н. В. Умняшкин¹,
А. В. Умняшкин¹, М. В. Шадрин^{1,2}*

¹Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина, Рязань,

²ООО «Сенсис», Рязань, vl.stepanov@365.rsu.edu.ru

Показано, что ускорение во много раз процесса обработки сигнала и работы триангуляционного датчика обеспечивает архитектура процессов, построенная на сокращенном наборе команд, использующих простые и эффективные инструкции микроконтроллера **stm32f407vet6**.

Ключевые слова: триангуляционный метод, микропроцессор, алгоритм, лазерный диод, центр пятна, датчик, управления, компьютерная программа, изображение, преобразователь, логические уровни, оптическая схема.

The process of signal processing and the operation of the triangulation sensor are accelerated many times by the architecture of processes, which is based on a reduced set of commands using simple and effective instructions of the **stm32f407vet6** microcontroller.¹

Keywords: triangulation method, microprocessor, geometric parameters, algorithm, laser diode, spot center, sensor, production, interface, control module, computer program, image, converter, logical levels, optical circuit.

Актуальность данной работы связана с необходимостью высокоточного контроля перемещений рабочих органов обрабатывающих центров при производстве и разработке изделий в таких областях промышленности как машиностроение, авиационная и космическая промышленность, военное производство, а так же и в других областях, где необходим точный контроль геометрических параметров или положения объекта.

На основе триангуляционного способа измерения перемещений, геометрических размеров и шероховатости изделий сложного рельефа [1–3] разработан датчик для измерения перемещений и контроля геометрических параметров продукции и электронная система обработки триангуляционного сигнала от изделия на производстве. Система обеспечивает высокую точность для работы (контроля) в различных отраслях и высокую скорость обработки сигнала в динамике технологического процесса.

Электронная система обработки триангуляционного сигнала от изделия на производстве построена на использовании в качестве базы микроконтроллера **stm.32f407VET6**.

Данный контроллер, примененный к работе с ядром ARM7, выбран исходя из следующих параметров:

1. *Высокая производительность.* Необходима для быстрой работы алгоритма расчета положения объекта.

2. *Высокая частота работы ядра и периферии.* Частота работы микроконтроллера 168 МГц, что позволяет с высокой частотой опрашивать линейный датчик изображения, а также позволяет работать периферийным модулям передачи данных на больших скоростях.

3. *Большое количество периферии.* Контроллер обладает большим набором различных интерфейсов передачи данных, что делает датчик универсальным.

Ethernet. Блок выполнен строго по стандарту IEEE802.3. Возможна передача данных со скоростью 10/100 Мбит/с. Доступна синхронизация часов для чего протокол IEEE1588 v2 реализован аппаратно.

USB (Universal Serial Bus). В системе присутствует два отдельных блока USB. Первый – USB OTG full-speed, работает на скорости до 12 Мбит/с.

Второй – USB OTG high-speed работает с высокой скоростью 480 Мбит/с.

USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter). В микроконтроллере встроено четыре блока USART и два UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter). Блоки USART1 и USART6 допускают высокоскоростной обмен данными на скорости до 10,5 Мбит/с. Другие же поддерживают скорость не более 5,25 Мбит/с. Благодаря USART в датчике можно применять такие стандарты как RS323 и RS485.

Линейный датчик изображения ELIS-1024 выбран в связи с высокой скоростью работы, достаточным разрешением простым управлением и низкой стоимостью. У данного датчика есть функция управления разрешением. Разрешение датчика может быть – 1024, 512, 256, 128 пикселей. Для работы с триангуляционным датчиком в электронной системе создано восемь цифровых сигнальных линий от микроконтроллера.

Аналого-цифровой преобразователь АЦП (AD9203). Интерфейс передачи данных (RS485) и схема приемного канала. АЦП – это важная часть системы, от точности его преобразования напрямую зависит точность измерения; к тому же он должен быть достаточно быстрым, чтобы успеть преобразовать все сигналы. Нами выбран АЦП конвейерной архитектуры **AD9203** от AnalogDevices. Этот АЦП обладает частотой дискретизации 40 мегавыборок в секунду; имеет точность 10 бит. Данные АЦП выдает по параллельному интерфейсу, что обеспечивает большую скорость и легкость коммуникации с микроконтроллером.

Для коммуникации с другими устройствами система имеет несколько интерфейсов передачи данных, один из них UART со стандартном логических уровней RS485. RS485 – полудуплексный многоточечный последовательный интерфейс передачи данных. Передача данных осуществляется по одной паре проводников с помощью дифференциальных сигналов. Разница напряжений между проводниками одной полярности означает логическую единицу, разница другой полярности – ноль. Реализация RS485 осуществляется с помощью микросхемы MAX485.

Для объединения **МК** и других элементов приемного канала, включая АЦП (AD9203) и интерфейс передачи данных (RS485) разработаны блок-схема подключения (рисунок 1) и печатная плата (рисунок 2).

На рисунках 1 и 2 представлены функциональные и электрические связи между основными блоками и узлами электрической схемы приемного канала триангуляционного сигнала о перемещениях. Видно, что все электрические связи между блоками, включая модули управления лазером и линейным датчиком изображения **ELIS-1024**, подчинены работе микроконтроллера **stm32f407VET6**.

Электрическая схема разработана в программе P-CAD (автоматизированного проектирования электроники PersonalCADSystemInc), предназначенной для проектирования многослойных печатных плат, вычислительных и радиоэлектронных устройств. В состав P-CAD ходит два основных модуля: P-CADSchematic (графический редактор принципиальных электрических схем) и P-CADPCB (графический редактор печатных плат), а также ряд вспомогательных программ.

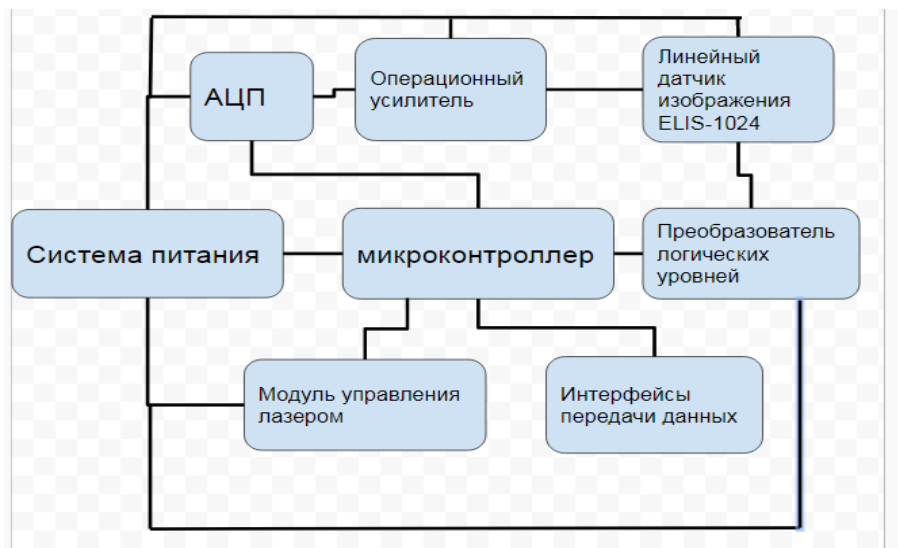


Рисунок 1 – Электрическая блок-схема приемного канала

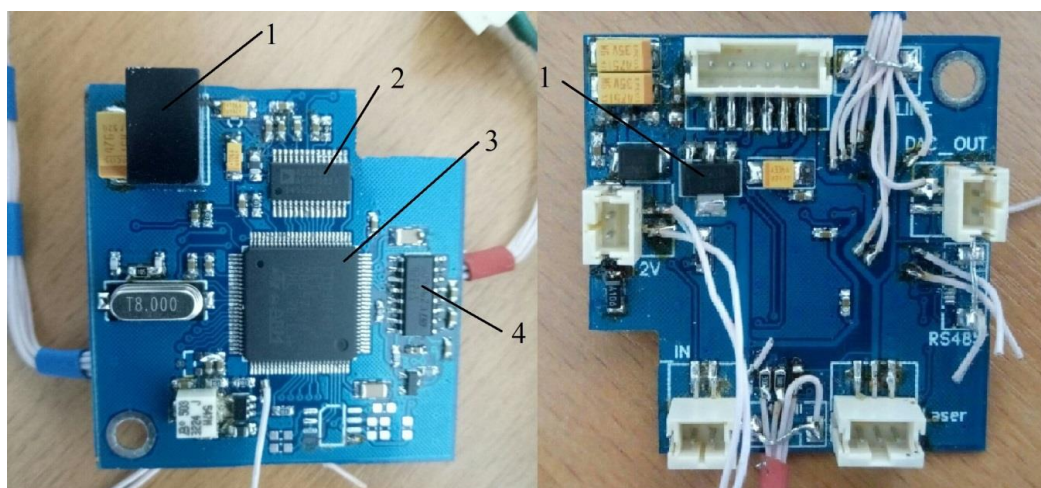


Рисунок 2 – Внешний вид приемного канала (готовая печатная плата с элементами):
1 – система питания; 2 – аналого-цифровой преобразователь; 3 – микроконтроллер stm32f407vet6; 4 – интерфейс логических уровней RS485

Для настройки и эксплуатации **МК** в схеме печатной платы приемного триангуляционного канала перемещений используется программа **STM32CubeTX**. Все это делается в графическом режиме. Программа **STM32CubeTX** не допускает ошибок при работе с железом. Программисту остается сосредоточиться непосредственно на решении прикладных задач: *измерение перемещений*.

Итогом работы является создание электронной системы обработки триангуляционного сигнала от датчика измерения перемещений на производстве.

Список литературы:

1. Демкин, В. Н. Лазерные методы и средства контроля геометрических размеров изделий / В. Н. Демкин, В. А. Степанов // Измерительная техника. – 2008. – № 2. – С. 32–35.

2. Демкин, В. Н. Возможности триангуляционного лазерного метода измерения поверхности сложного рельефа / В. Н. Демкин, В. А. Степанов // Метрология. – 2007. – № 8. – С. 32–35.

3. Демкин, В. Н. Измерение профиля шероховатости материалов триангуляционным способом / В. Н. Демкин, В. А. Степанов // Метрология. – 2008. – № 6. – С. 60–65.

Комбинированные биотехнические обратные связи в компьютерных системах персонифицированной магнитотерапии

Д. С. Забанов

Юго-Западный государственный университет, Курск, *SFelist@gmail.com*

Рассмотрены вопросы построения биотехнических систем нечеткого управления терапевтическими воздействиями. Показано, что в процессе электромагнитного воздействия на биообъект модуль нечеткого управления формирует вектор управляющего воздействия, получаемый посредством нечеткого логического анализа сигналов датчиков биотехнической обратной связи. Вектор информативных признаков формируется так, чтобы оптимизировать терапевтический эффект электромагнитного поля.

Ключевые слова: магнитотерапия, нечеткое управление, биотехническая обратная связь, датчик температуры, фотоплетизмосигнал.

The issues of constructing biotechnological systems of fuzzy management of therapeutic effects are considered. In the process of electromagnetic influence on a biological object, the fuzzy control module generates a control action vector obtained by fuzzy logical analysis of the signals of biotechnological feedback sensors. The vector of informative features is formed in such a way as to optimize the therapeutic effect of the electromagnetic field.

Keywords: magnetotherapy, fuzzy control, biotechnical feedback, temperature sensor, photoplethysmosignal.

Мониторинг эффективности терапии внутренних органов человека при лечении инфекционных и онкологических заболеваний является важной задачей цифровой медицины. В процессе терапии часто используются хаотические электромагнитные колебания в звуковом частотном диапазоне, однако при этом возникает необходимость как обеспечения его хаотического воздействия на биообъект, так и управления его параметрами с целью оптимизации терапевтического эффекта [1, 2].

Для оптимизации терапевтического воздействия на внутренние органы предлагается использовать биотехническую обратную связь (БТОС) и модуль нечеткого управления (МНЧУ). Магнитотерапия, осуществляемая этой системой, включает курсовое воздействие электромагнитным излучением на предстательную железу после эндоректального ввода аппликатора. Внутри аппликатора находится катушка индуктивности, которая является источником терапевтического электромагнитного поля. С катушкой индуктивности соединен генератор звуковой частоты (ГЗЧ). Для снижения нелинейных искажений сигнал с ГЗЧ проходит через

фильтр нижних частот. Интенсивностью электромагнитных колебаний управляют посредством аудиусилителя. Вектор состояния объекта управления формируем посредством датчиков фотоплетизмограммы (ФПГ) и датчиков температуры, установленных на аппликаторе [1].

Для управления магнитотерапией предлагается множество суррогатных маркеров, таких как параметры межклеточных соотношений, артериальное давление, температура и т.д. [3]. При магнитотерапии по результатам мета-анализа в качестве суррогатных маркеров используем результаты мониторинга ФПГ и температуры [4, 5].

Сущность управления состоит в следующем. Данные ФПГ и датчиков температуры оцифровываются в блоке датчиков и поступают в блок управления. Блок управления выполняет две функции: а) создает хаотическое электромагнитное поле; б) управляет частотным диапазоном и интенсивностью хаотического электромагнитного поля.

Для создания хаотического магнитного поля используется генератор и фазовращатель блока управления. Они формируют два синусоидальных сигнала, сдвинутые по фазе, которые предназначены для модуляции частоты ГЗЧ и коэффициента усиления аудиусилителя. Это позволяет в фиксированный дискрет времени получить два псевдослучайных числа, определяющих частоту и интенсивность электромагнитного поля. Для управления этими двумя числами посредством БТОС, модуль МНЧУ формирует свои два числа, которые модулируют две синусоиды, поступающие с генератора и фазовращателя. Таким образом, посредством МНЧУ устанавливается частотный диапазон и динамический диапазон аудиусилителя.

При магнитотерапии простатита использовался аппликатор аппарата УЛП-01-ЕЛАТ [6]. На аппликаторе имеется технологическое плато, которое было использовано для установки инфракрасного излучателя и приемника инфракрасного излучения. Датчик ФПГ размещен вдоль области аппликатора, указанной на рисунке 2, приблизительно по центру технологического уклона у конца аппликатора (над простатой), при этом не имеет значения последовательность «фототранзистор-светодиод» или «светодиод-фототранзистор» относительно концевой части аппликатора.

Аппликатор после ректального ввода устанавливается в окрестности предстательной железы, снимается ФПГ посредством пары светодиод-фотодиод, установленной на плато аппликатора, определяются статистические параметры информативных признаков, и по их показателям МНЧУ корректируется терапевтическое магнитное поле.

Динамический диапазон ГЗЧ и аудиусилителя формируется МНЧУ на основе анализа датчиков БТОС. Предложены архитектурные решения МНЧУ, включая модели фуззификатора, блока нечеткого вывода и блока дефуззификации, а также комплект решающих правил, составляющих основу блока нечеткого вывода, имеющих иерархическую структуру, которая построена на основе чувствительности информативных признаков к электромагнитному воздействию.

С помощью первого (основного) и второго (индифферентного) датчиков температуры измерялась температура в окрестности простаты и в индифферентной точки. В качестве датчика температуры использовалась интегральная микросхема серии «HTU21D» фирмы «TE Connectivity», которая обеспечивает максимальную разрешающую способность измерения температуры до 0,01 °С.

Сеанс магнитотерапии проводят в течение 10 мин. После чего определяют степень эффективности магнитотерапии. При повышении температуры в области простаты на 0,6...0,9 °С делают вывод о высокой эффективности магнитотерапии, при повышении температуры на 0,2...0,5 °С – о средней эффективности, при изменении температуры на 0...0,2 °С – о низкой эффективности, а при понижении температуры до 0,5 °С об инверсионной магниточувствительности.

Для создания хаотических электромагнитных воздействий коэффициент усиления аудиусилителя меняется по линейному или синусоидальному закону от нуля до максимума. В данной БТС в процессе магнитотерапии возможно управление частотным диапазоном ГЗЧ и динамическим диапазоном K_{max} аудиусилителя.

Таким образом, на выходе фuzziфикатора (выходе блока нечеткого вывода) имеем лингвистические переменные, которые характеризуют изменение суррогатных маркеров в процессе магнитотерапии, на входе – числовую переменную, которая характеризует величину информативного признака.

Блок нечеткого вывода включает совокупность решающих правил, каждому из которых присваивается определенная степень активности в зависимости от конкретного значения, как информативных признаков, так и выходных параметров блока нечеткого вывода. Процесс формирования правил в значительной степени зависит от размещения функций принадлежности нечетных множеств. В процессе экспериментальных исследований рассматривались различные варианты этих функций, и каждый раз получалась другая база правил с другим качеством управления.

Для построения базы решающих правил в процессе управления были выделены четыре ситуации, каждой из которых соответствует определенный блок в базе решающих правил. Эти ситуации имеют иерархическую структуру, которая определяет чувствительность информативных признаков к электромагнитному излучению. В процессе выбора управленческих решений осуществляется просмотр базы правил. База правил разбита на блоки, каждый блок соответствует определенной ситуации, которая описана в виде таблицы состояний. Если в базе решающих правил текущей ситуации не найдено решающее правило, соответствующее данной комбинации входных и выходных параметров, то осуществляется переход к базе правил следующей ситуации в соответствии с иерархической структурой. Иерархическая структура решающих правил также учитывает системные ритмы живых систем [7].

Выводы. Проведенные клинические испытания магнитотерапии совместно с противобактериальной терапией показали, что интеллектуальная магнитотерапия является эффективным средством в лечении острого и хронического воспаления предстательной железы. Она способствовала купированию воспалительного процесса в предстательной железе, уменьшению болевого синдрома в области мочевого пузыря и промежности. На фоне применения интеллектуальной магнитотерапии регулируется частота мочеиспускания, уменьшается количество патологических примесей в моче и секрете простаты, исчезают болезненные ощущения в уретре.

Список литературы:

1. Филист, С. А. Магнитотерапия простатита с биологической обратной связью по оптическому каналу связи / С. А. Филист, Д. С. Забанов, А. А. Трифонов // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии : тр. XIII Междунар. науч. конф. с науч. молодеж. шк. им. И. М. Спиридонова. – Москва : Графика, 2018. – Кн. 1. – С. 149–153.
2. Филист, С. А. Магнитотерапевтический аппарат с адаптируемым спектром электромагнитного излучения для лечения простатита и гинекологических заболеваний / С. А. Филист, А. А. Кузьмин, Д. В. Мешковский // Медицинская техника. – 2008. – № 4. – С. 20–24.
3. Пат. 2012234 Российская Федерация, МПК А61В8/06. Способ определения эффективности магнитотерапии при лечении цереброваскулярных заболеваний / Мясников И. Г., Сорокина Г. А. ; патентообладатель Нижегородский государственный медицинский институт. – заявл. 11.06.1990 ; опубл. 15.05.1994.
4. Филист, С. А. Алгоритмы метаанализа эффективности диагностических и терапевтических решений на основе мониторинга суррогатных маркеров, получаемых по результатам анализа сложноструктурируемых изображений / С. А. Филист, А. Г. Курочкин, А. А. Кузьмин, Е. А. Старцев // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2016. – № 4 (21). – С. 41–55.
5. Петрова, Т. В. Распределенные автономные интеллектуальные агенты для мониторинга и метаанализа эффективности управления живыми системами / Т. В. Петрова, А. А. Кузьмин, Д. Ю. Савинов, В. В. Серебревский // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 4 (40). – С. 61–73.
6. Подмастерьев, К. В. Система коррекции функционального состояния организма человека на основе медицинского мониторинга параметров внутренних органов / К. В. Подмастерьев, Д. С. Забанов, Д. Ю. Савинов, А. В. Мирошников // Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века : сб. ст. по материалам IV Всерос. науч.-практ. конф. Ч. 1. – Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2019. – С. 186–191.
7. Филист, С. А. Предикторы синхронности системных ритмов живых систем для классификаторов их функциональных состояний / С. А. Филист, Т. В. Петрова, С. В. Дегтярев, О. В. Шаталова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 693–700.

Компьютерные технологии прогнозирования медицинских рисков с сегментированным пространством факторов риска

О. В. Шаталова, Д. А. Медников, З. У. Протасова

Юго-Западный государственный университет, Курск, *Shatolg@mail.ru*

Предложена базовая структура многоагентной интеллектуальной системы, содержащая «сильные» и «слабые» классификаторы, для прогнозирования ишемической болезни сердца, при этом показано, что «слабые» классификаторы разделены на четыре группы, первая из которых осуществляет анализ данных, полученных на основе традиционных факторов риска, вторая – на основе анализа электрокардиологических исследований, третья группа предназначена для диагностики сопутствующих заболеваний и синдромов по предикторам, используемым первыми двумя группами агентов, а четвертая – анализирует факторы риска окружающей среды. Проведены экспериментальные исследования различных моделей классификаторов.

Ключевые слова: медицинский риск, фактор риска, автономный интеллектуальный агент, нейронная сеть, классификатор.

To predict coronary heart disease, a basic structure of a multi-agent intelligent system is proposed, which contains “strong” and “weak” classifiers. At the same time, “weak” classifiers are divided into four groups, the first of which analyzes the data obtained on the basis of traditional risk factors, the second - based on the analysis of electrocardiological studies, the third group is intended for the diagnosis of concomitant diseases and syndromes by predictors used by the first two groups of agents and the fourth analyzes environmental risk factors. Experimental studies of various models of classifiers have been carried out.

Keywords: medical risk, risk factor, autonomous intelligent agent, neural network, classifier.

Диагностика сердечно-сосудистого риска (ССР) принадлежит к числу важнейших задач кардиологии [1]. Современные системы стратификации ССР акцентированы на традиционные факторы риска (ФР) и методы математического моделирования. Это не позволяет им обеспечивать надежное предсказание возникновения заболеваний. Поэтому перспективным является включение ряда новых ФР в прогностические модели, которые могут быть использованы в системах стратификации риска у лиц, не имеющих клинических проявлений сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), а также разработки новой методологии построения математических моделей ССР.

За основу построения интеллектуальной системы поддержки принятия решений по прогнозированию ССР взяты мультиагентные информационные системы (МИС) [2–4]. В эти системы входят множество автономных интеллектуальных агентов (АИА). АИА, находящиеся на более высоких иерархических уровнях, интегрируют информацию структурно связанных с ними АИА нижних иерархических уровней. Веса АИА нижнего иерархического уровня определяются путем настройки АИА верхнего иерархического уровня. В качестве АИА могут использоваться обучаемые нейронные сети или системы нечеткого логического вывода [5, 6]. Однако в ряде исследований показано, что ряд ФР,

вследствие синергетического эффекта, могут значительно усилить риск прогнозируемого заболевания. Поэтому модели МИС должны предусматривать учет такого взаимодействия.

Для построения базовой структуры МИС будем использовать АИА нижнего уровня, способные формировать предикторы ССР. В качестве базовой модели предикторов риска ССР взята диагностическая модель, представленная в работе [7]. Согласно этой модели ФР ССР разбиваются на четыре группы. В первую группу входят традиционные ФР (физикальные исследования, опрос), во вторую – группа инструментальные исследования (ЭКГ), в третью группу – ФР, обусловленные сопутствующими заболеваниями, и в четвертую – факторы окружающей среды (факторы профессионального риска) [6–8].

В качестве АИА нижнего иерархического уровня используются «слабые» классификаторы в виде одноместных функций принадлежности. Однако существует ряд ФР – сопутствующих заболеваний, которые имеют сложную структуру, так как зависят от совокупности других ФР. Поэтому «слабый» классификатор в этом случае не является одноместной функцией принадлежности и для его получения необходим агрегатор. Функции принадлежности по выделенным ФР синтезировались высококвалифицированными экспертами. Экспертная группа выбиралась в соответствии с рекомендациями работы [9]. Агрегатор «слабых» классификаторов, построенных на основе одноместных функций принадлежности, формировался по схеме Е. Шортлиффа [8].

Апробация МИС осуществлялась на оценке риска ишемической болезни сердца (ИБС). Исследовались пациенты, проходившие обследование или находящиеся на стационарном лечении в Курской областной клинической больнице № 1 и в клинической больнице РЖД-Медицина города Курска. В экспериментальные исследования были включены 380 мужчин и женщин в возрасте от 21 до 60 лет. Обучающие и контрольные выборки формировались на основе всестороннего обследования пациентов высококвалифицированными врачами-специалистами. По результатам оценки ишемического риска (ИР) было установлено, что среди пациентов экспериментальной группы у 37 % установлен высокий ИР, средний риск установлен у 33 % пациентов из экспериментальной группы, низкий риск – у 30 % пациентов из экспериментальной группы. Из полученной экспериментальной группы были сформированы обучающие и контрольные выборки для получения показателей качества принятия решений сформированных с применением предлагаемых методов и моделей и разработанной на их основе компьютерной программы решающих модулей.

При выборе состава ФР прогнозирования ИР исходим из того, что ишемические поражения чаще всего носят системный характер, при котором развитие периферических ишемических осложнений несёт за собой ишемию центральной гемодинамической системы. При этом проис-

ходит нелинейное взаимовлияние систем друг на друга, приводящее к взаимоотношению ишемических процессов, вплоть до летального исхода [7]. Поэтому важен учет синергетического эффекта ФР ИР.

В качестве сопутствующего заболевания, которое может стимулировать синергетический эффект ИР, в представленной модели использована вибрационная болезнь (ВБ), а фактором внешней среды, способствующего синергетическому эффекту, в данной модели принято электромагнитное поле (ЭП). В качестве еще двух сегментов ФР выбраны традиционные факторы ИР (возраст, курение, артериальная гипертензия, сахарный диабет, избыточная масса тела, психосоциальный стресс, отягощенная наследственность) и дескрипторы, определенные на основе электрокардиографических исследований [7].

В базовой модели МИС на первом иерархическом уровне строятся «слабые» классификаторы, решения которых агрегируются попарно в блоке синергетических классификаторов. Под воздействием внешних факторов (процесса обучения или экспертного оценивания) веса в нейронной сети NET приобретают оптимальные значения, то есть система самоорганизуется.

Для оценки качества прогноза ИР определялись диагностические показатели базовой модели классификатора с различными структурными решениями. В качестве известного метода прогноза ИР, по сравнению с которым осуществлялось сопоставление показателей качества прогнозирования, выбрана шкала SCORE [1]. В качестве расчетных показателей качества диагностических решающих правил были выбраны показатели диагностической чувствительности (ДЧ), диагностической специфичности (ДС) и диагностической эффективности (ДЭ) [10].

Контрольная выборка формировалась из профессиональной группы машинистов электролокомотивов, для которых профессиональным заболеванием является ВБ, а ФР производственной среды – электромагнитное поле. Проведены экспериментальные исследования различных модификаций предложенной модели классификатора, заключающихся в последовательном отключении из агрегатора решений «слабых» классификаторов на различных иерархических уровнях. В ходе экспериментального оценивания и в результате математического моделирования было показано, что при использовании всех информативных признаков уверенность в правильном прогнозе по ишемическому риску превышает величину 0,8 по всем группам наблюдения и по всем показателям качества классификации. Показатели качества прогнозирования выше, чем у известной системы прогнозирования SCORE, в среднем, на 14 %.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90116.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90116.

Список литературы:

1. Смирнова, М. Д. Прогностические факторы развития сердечно-сосудистых осложнений во время аномальной жары 2010 г. (кагорное наблюдательное исследование) / М. Д. Смирнова, Т. В. Фофанова, Е. Б. Яровая, Ф. Т. Агеев // Кардиологический вестник. – 2016. – № 11 (1). – С. 43–51.
2. Гибридные нечеткие модели для прогнозирования возникновения и осложнений артериальной гипертензии с учетом энергетических характеристик биоактивных точек / М. А. Ефремов, С. А. Филист, О. В. Шаталова, Е. А. Старцев, Л. В. Шульга // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2018. – Т. 8, № 4 (29). – С. 104–119.
3. Филист, С. А. Использование гибридных нейросетевых моделей для много-агентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков / С. А. Филист, А. Г. Курочкин, В. В. Жилин, С.Е.С. // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 3 (31). – С. 85–95.
4. Филист, С. А. Универсальные сетевые модели для задач классификации биомедицинских данных / С. А. Филист, Р. А. Томакова, Зар До Яа // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 4 (43), ч. 2. – С. 44–50.
5. 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.
6. Филист, С. А. Модели нечетких нейронных сетей с трех-стабильным выходом в инструментарии для психологических и физиологических исследований / С. А. Филист, А. Р. С. Халед, О. В. Шаталова, В. В. Руденко // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2007. – Т. 6, № 2. – С. 475–479.
7. Комлев, И. А. Прогнозирование и оценка степени тяжести ишемии сердца на основе гибридных нечетких моделей / И. А. Комлев, О. В. Шаталова, С. В. Дегтярев, А. В. Серебровский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – Т. 9, № 1 (30). – С. 133–145.
8. Кореневский, Н. А. Теория проектирования нечетких сетевых экспертных систем для управления медико-экологической безопасностью / Н. А. Кореневский, С. А. Филист, А. Б. Красковский, В. И. Афанасьев // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2009. – Т. 11, № 9-1 (64). – С. 146–151.
9. Сидельников, Ю. В. Теория и организация экспертного прогнозирования / Ю. В. Сидельников. – Москва : ИМЭМО АН СССР, 1990. – 196 с.
10. Омельченко, В. П. Практикум по медицинской информатике : учеб. пособие для студ. мед. вузов России / В. П. Омельченко, А. А. Демидова. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2001. – 304 с.

Многомерный биоимпедансный анализ в компьютерных технологиях ранней диагностики инфекционных заболеваний

Н. С. Стадниченко, О. В. Шаталова, А. В. Мирошников

Юго-Западный государственный университет, Курск, Shatolg@mail.ru

В результате проведенных исследований предложен новый неинвазивный метод компьютерной диагностики инфекционных заболеваний, основанный на многомерном анализе биоимпеданса путем установки на поверхности кожи матрицы

электродов в области интереса биологического объекта. Показано, что меняя направление и частоту зондирующего тока, формируют пространство дескрипторов, которое классифицируется обучаемой нейронной сетью. Нейронная сеть обучается на выборках дескрипторов, сформированных путем обследования больных актуальным инфекционным заболеванием.

Ключевые слова: инфекционное заболевание, биоимпеданс, многочастотное зондирование, анизотропия биоматериала, нейронная сеть.

As a result of the studies, a new non-invasive method for computer diagnostics of infectious diseases was proposed. The method is based on multivariate analysis of bioimpedance by placing an array of electrodes on the skin surface in the area of interest of a biological object. By changing the direction and frequency of the probing current, a space of descriptors is formed, which is classified by a trained neural network. The neural network is trained on samples of descriptors formed by examining patients with an actual infectious disease.

Keywords: infectious disease, bioimpedance, multifrequency sensing, biomaterial anisotropy, neural network.

Высокие показатели заболеваемости и смертности от инфекционных заболеваний обусловлены несовершенством первичной и вторичной профилактики, а также несвоевременной диагностикой и лечением, что обусловлено отсутствием быстродействующих, безопасных, неинвазивных, многоразовых и дешевых тестирующих систем. В правильной диагностике, выборе тактики лечения и установления прогноза инфекционных заболеваний основная роль принадлежит инструментальным и лабораторным методам исследования. Наряду с широким использованием общепринятых тестов инструментальных и лабораторных исследований все больше внедряются в клиническую практику новые диагностические методики с помощью современного высокотехнологичного оборудования и вычислительной техники.

Это обстоятельство позволяет искать новые методы, ориентированные на не инвазивные исследования состояния организма человека, которые являются незаменимыми при скрининговых исследованиях. К скрининговым исследованиям выдвигаются требования достаточной пропускной способностью в сочетании с высокой достоверностью выявления значимых отклонений. Это обусловлено внедрением в практику целого ряда инновационных диагностических технологий.

При всех видах патологии, в том числе и нарушении иммунитета, воспалении, аутоиммунных заболеваниях в первую очередь страдает степень поляризации и анизотропии в клетках и тканях. Инфекционные заболевания, в том числе и вирусные, оказывают влияние на анизотропию пассивных электрических свойств биоматериалов. Следовательно, для неинвазивной и ранней диагностики этих заболеваний необходимы методы и средства для контроля анизотропии пассивных электрических свойств биоматериалов на живых объектах и интеллектуальные технологии, позволяющие принимать диагностические решения по результатам анализа этих данных.

Информация, снимаемая с поверхности кожи человека в виде электрической проводимости на постоянном или переменном токе, не обладает достаточной робастностью и не позволяет построить адекватные решающие правила, позволяющие обеспечить приемлемые показатели диагностической чувствительности и диагностической специфичности при принятии диагностических решений [1]. В целях улучшения показателей качества диагностики прибегают к увеличению объема информации, снимаемой с поверхности кожи. Это достигается путем: а) увеличения числа частот зондирующего тока, на котором определяется полное электрическое сопротивление, б) изменением геометрического направления тока зондирования путем использования специальной конструкции матричных электродов, в) в увеличении числа используемых для классификации математических моделей биоимпеданса [2–4].

Один из способов построения многоагентных систем классификации основан на моделях биоматериала в виде пассивных двухполюсников. Модель может быть построена либо на основе решения систем нелинейных уравнений, сформированных для каждого геометрического направления тока зондирования, либо на основе многочастотного биоимпедансного анализа. Таким образом, имеется возможность построения двух видов дескрипторов [2].

Для построения решающих правил и модулей принятия решения по классификации биоматериалов было сформировано пространство информативных признаков, являющиеся релевантными для выбранного инфекционного заболевания. С этой целью построены модели электропроводности биоматериала и модели анизотропии электропроводности биоматериалов. Используются параметрические модели, непараметрические модели, а также их комбинации. На основе полученных моделей разрабатываются алгоритмы принятия решений по классификации биоматериалов, основанные на последовательно-параллельном анализа параметрической, непараметрической и рекурсивной моделях многочастотного импеданса биоматериала, реализующие классификацию биоматериалов в экспериментах *in vivo*. Для реализации этих алгоритмов используются нейронные сети с гибридной структурой, позволяющие классифицировать биоматериалы по динамической составляющей многочастотного импеданса. На их основе строятся модули принятия решений по данным многочастотного анализа биоимпеданса, включающие блоки агрегации решений, основанные на нечеткой логике принятия решений, и блоки оценки надежности решений, позволяющие классифицировать биоматериалы в экспериментах *in vivo* в реальном времени [5–9].

Для интеллектуальной поддержки диагностики патологий на основе биоимпедансных исследований разработана автоматизированная система, которая позволяет осуществлять измерения импедансных характеристик биоматериала, документировать произведенные измерения, осуществлять наглядное сравнение изображений биоимпедансных волн,

относящихся к разным анатомическим структурам, наблюдать изменения биоимпеданса в ходе лечения, осуществлять математическое моделирование глобальных и локальных свойств биоматериалов [10, 11]. Программное обеспечение для интеллектуальной системы классификации биоматериалов выполняется в среде Matlab R2010a и использует следующие пакеты этой программной среды: Image Processing Toolbox и Neural Network Toolbox [12, 13].

Алгоритм работы системы реализуется в виде интерфейсных окон посредством использованием стандартных операторов среды Matlab. Эти окна позволяют пользователю вмешиваться в процесс выполнения программы на шагах, предусмотренных разработчиком, формировать соответствующие базы данных обучающих выборок и базы данных моделей.

Решающие модули апробируются на конкретных заболеваниях в клинических условиях. После формирования блоков медико-биологических данных, соответствующих определенному органу, системе или патологии, осуществляется разработка методов и средств, предназначенных для сбора этих данных с объекта (человека). Структура данные в сформированных блоках корректируются с учетом того, что данные должны быть получены посредством неинвазивных методов и их сбор осуществляться в процессе функционирования систем организма пациента в не клинических условиях.

Многочастотное зондирование и анализ анизотропии биоматериала позволит построить алгоритмы дифференциального контроля импеданса ткани и импеданса жидкости, что позволит получить новые решающие правила для диагностики патологических состояний организма (сердечнососудистые, инфекционные и онкологические заболевания).

Список литературы:

1. Попечителев, Е. П. Способы и модели идентификации биоматериалов на основе анализа многочастотного импеданса / Е. П. Попечителев, С. А. Филист // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2011. – № 1. – С. 74–81.
2. Кассим, К. Д. А. Интеллектуальные технологии для неинвазивного анализа биоматериалов на основе многочастотной импедансометрии и нейросетевого моделирования : монография / К. Д. А. Кассим, С. А. Филист. – Курск : Юго-Западного гос. ун-т, 2012. – 124 с.
3. Шаталова, О. В. Итерационная многопараметрическая модель биоимпеданса в экспериментах *in vivo* / О. В. Шаталова // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – Т. 9, № 1 (30). – С. 26–38.
4. Суржикова, С. Е. Компьютерные системы медицинского прогнозирования на основе биоимпедансных исследований в аномальных зонах электропроводности : монография / С. Е. Суржикова, К. Д. А. Кассим, С. А. Филист, О. В. Шаталова. – Курск : Юго-Западный гос. ун-т, 2018. – 144 с.
5. Ефремов, М. А. Гибридные нечеткие модели для прогнозирования возникновения и осложнений артериальной гипертензии с учетом энергетических характеристик биоактивных точек / М. А. Ефремов, С. А. Филист, О. В. Шаталова [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычис-

лительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2018. – Т. 8, № 4 (29). – С. 104–119.

6. Филист, С. А. Использование гибридных нейросетевых моделей для много-агентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков / С. А. Филист, А. Г. Курочкин, В. В. Жилин [и др.] // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 3 (31). – С. 85–95.

7. Филист, С. А. Универсальные сетевые модели для задач классификации биомедицинских данных / С. А. Филист, Р. А. Томакова, Зар До Яа // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 4 (43), ч. 2. – С. 44–50.

8. 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.

9. Филист, С. А. Модели нечетких нейронных сетей с трех-стабильным выходом в инструментарии для психологических и физиологических исследований / С. А. Филист, А. Р. С. Халед, О. В. Шаталова, В. В. Руденко // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2007. – Т. 6, № 2. – С. 475–479.

10. Филист, С. А. Биотехническая система для контроля импеданса биоматериалов в экспериментах *in vivo* / С. А. Филист, А. А. Кузьмин, М. Н. Кузьмина // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2014. – № 9. – С. 38–42.

11. Слабые классификаторы с виртуальными потоками в интеллектуальных системах прогнозирования сердечно-сосудистых осложнений / А. В. Киселев, О. В. Шаталова, Е. В. Петрунина, Д. С. Забанов, З. У. Зейдан [и др.] // Известия Юго-Западного гос. университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – Т. 9, № 1 (30). – С. 6–19.

12. Суржикова, С. Е. Программно-аппаратный комплекс диагностики социально-значимых заболеваний / С. Е. Суржикова, О. В. Шаталова, В. В. Федянин // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2015. – № 2 (15). – С. 79–87.

13. Суржикова С. Е. Программно-аппаратный комплекс для анализа вольт-амперных характеристик биоактивных точек на основе модуля L-Card E20-10 / С. Е. Суржикова, О. В. Шаталова, В. В. Федянин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015 – № 2 (30). – С. 150–161.

Нейросетевые модели формирования команд управления в биотехнической системе реабилитационного типа

А. А. Трифонов, М. Б. Мяснянkin, С. А. Филист

Юго-Западный государственный университет, Курск, SFilist@gmail.com

Рассмотрено управление экзоскелета в процессе реабилитации с использованием многоканального электромиосигнала, дешифрация которого в каждом канале осуществлялась посредством пошаговой сегментации на пересекающиеся или на не пересекающиеся окна. Дешифратор ЭМГ построен на основе двухуровневой нейросетевой структуры. Показано, что формирование вектора информативных признаков для нейронной сети первого уровня осуществлялось посредством многоуровневого компаратора, число уровней которого определяется размерностью вектора информативных признаков, а компоненты вектора информативных признаков определялись посредством процедуры клиппирования сигнала ЭМГ на различных уровнях компарации.

Ключевые слова: экзоскелет, электромиосигнал, нейронная сеть, классификатор.

To predict coronary heart disease, a basic structure of a multi-agent intelligent system is proposed, which contains “strong” and “weak” classifiers. At the same time, “weak” classifiers are divided into four groups, the first of which analyzes the data obtained on the basis of traditional risk factors, the second – based on the analysis of electrocardiological studies, the third group is intended for the diagnosis of concomitant diseases and syndromes by predictors used by the first two groups of agents and the fourth analyzes environmental risk factors. Experimental studies of various models of classifiers have been carried out.

Keywords: exoskeleton, electromyosignal, neural network, classifie.

Для осуществления постинсультной реабилитации биотехническая система экзоскелет – пациент должна функционировать в комбинированном режиме. В определенный момент времени пациент занимает активное положение и выполняет заданное движение самостоятельно. В другой момент времени пациент становится пассивным и экзоскелет осуществляет заданное программное движение или движение, определяемое посредством декодирования электромиограммы (ЭМГ). В этом случае пациент совершает заданные движения с помощью экзоскелета, а биотехническая система определяет момент и размер помощи. Поэтому декодер ЭМГ должен определить не только тип движения и координаты конечности, но и усилие (момент), которое передается на соответствующий исполнительный орган [1]. Основным требованием к коду ЭМГ является его простота приема и скорость его декодирования (классификация команды). Более подробная информация о выборе признаков для классификации ЭМГ приведена в [2].

Таким образом, адаптация реабилитирующего экзоскелета к функциональному состоянию пациента посредством анализа и декодирования поверхностных электромиосигналов является актуальной задачей.

Известно множество технических решений, позволяющих управлять экзоскелетом посредством биотехнической обратной связи [3]. Для управления процедурой реабилитации необходимы модули принятия решений для расшифровки поверхностных ЭМГ. Обученные классификаторы используются в качестве таких модулей принятия решений. Они построены на основе моделей нейронных сетей, моделей нечеткого вывода или гибридных (гетерогенных) моделей [4, 5]. Обучающие выборки для обучения этих классификаторов формируются из базы данных, полученной в результате поискового анализа.

Сущность предлагаемого метода управления экзоскелетом состоит в том, что при дешифрации ЭМГ используется не только ее амплитудные показатели, но и частотные характеристики, так как известно, что повышение двигательной активности приводит не только к увеличению амплитуды электромиосигнала, но и к увеличению числа задействованных двигательных единиц. То есть для кодирования ЭМГ используется гипотеза об амплитудной и частотной модуляции ЭМГ [6].

Процесс управления экзоскелетом начинается с сегментации текущего сигнала ЭМГ на не пересекающиеся окна шириной TW с последу-

ющим формированием из отсчетов каждого окна информативного признака FD . С этой целью осуществляют переход от текущего дискретного отсчета ЭМГ x_t к отсчету y_t , получаемому путем сравнения текущего отсчета с порогом Θ и вычисляемому согласно выражению [7]

$$y_t = \begin{cases} 1, & \text{если } |x_t| \geq \Theta; \\ 0, & \text{если } |x_t| < \Theta. \end{cases} \quad (1)$$

На основе отсчетов (1) вычисляют дескрипторы в окне TW как

$$FD = \frac{1}{TW} \sum_1^{TW} y_t. \quad (2)$$

На ширине окна можно использовать множество порогов Θ и как следствие, получить множество информативных признаков FD . Таким образом, на апертуре окна TW формируется множество информативных признаков (2), на основе распознавания которых формируется соответствующая команда на серводвигатели звеньев экзоскелета. Задавшись апертурой ЭМГ, на которой принимается решение о включении соответствующего серводвигателя, можем выделить на ней множество окон. Учитывая, что временная апертюра дешифрации ЭМГ сигнала составляет 250 мс, а минимальный информационный квант, то есть минимальный отрезок ЭМГ сигнала, который переносит релевантную информацию, составляет 25 мс, агрегатор решений работает на апертуре 250 мс. Так как решение, принимаемое по результатам анализа одного окна, является частным решением, то необходим агрегатор этих решений.

Для осуществления дешифрации ЭМГ на двух ступенях используем обучаемые нейронные сети прямого распространения сигнала. Первая нейронная сеть ($NET1$) работает с пространством информативных признаков (2), сформированном в окне TW . В качестве агрегатора также используем обучаемую нейронную сеть прямого распространения, которая работает на апертуре $MW = \text{int}(250/W)$ или, если используются окна с перекрытием, на апертуре $MW = \text{int}((250-TW)/W)$, где W – шаг перемещения окна на апертуре ЭМГ.

После анализа соответствующего количества окон результаты этого анализа поступают на обучаемую нейронную сеть $NET2$, выходы которой подключены к контроллеру серводвигателей. Число окон анализа, то есть входов $NET2$, зависит от времени дешифрации команды, зашифрованной в ЭМГ сигнале, и от минимального кванта информации, переносимого ЭМГ сигналом.

За основу реабилитационного процесса выбран процесс вертикализации пациента с опорой для рук, которая выступает в качестве простейшего реабилитационного изделия [1]. Для управления серводвигателями экзоскелета в процессе вертикализации используем пять каналов ЭМГ, которые считывают сигнал ЭМГ с большой ягодичной мышцы, двуглавой мышца бедра, полуперепончатой мышцы, полусухожильной мышцы, большой поясничной мышцы. При определенных сочетаниях

интенсивностей ЭМГ в каналах серводвигатели могут остановиться в любой фазе вертикализации. В этом случае возможна генерация соответствующих сигналов ЭМГ, которые могут быть использованы для реверса серводвигателей [5].

Управление вторым серводвигателем осуществляется контроллером серводвигателей на основе модели движения экзоскелета в режиме «встать – сесть». Параметры модели адаптируются под физическое состояние пациента, что позволяет устранить основной недостаток известных реабилитирующих экзоскелетов.

Выводы. На основе базовой моделей классификатора осуществлено управление движением экзоскелета в режиме «встать – сесть». Определено расположение электродов на группе мышц для осуществления режима вертикализации с комбинированным управлением. Показано, что упрощенная кинематическая модель режима вертикализации позволяет совместно с двухуровневой нейросетевой моделью дешифратора электромиосигналов осуществлять адаптацию реабилитационного процесса к функциональному состоянию пациента.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90112.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90112.

Список литературы:

1. Аль-Баред, А. Я. С. Алгоритмы синтеза оптимального управления в биотехнических системах реабилитационного типа на основе технологий нейронных сетей / А. Я. С. Аль-Баред, А. Н. Брежнева, Р. А. Томакова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 750–754.
2. Будко, Р. Ю. Создание классификатора мимических движений на основе анализа электромиограммы / Р. Ю. Будко, И. Б. Старченко // Труды СПИИРАН. – 2016. – Вып. 46. – С. 76–89.
3. Пат. U 2 635 632 C1 Российская Федерация. Способ и система управления интеллектуальной бионической конечностью / Иванюк Н. М., Каримов В. Р., Будко Р. Ю., Гронский П. В., Клейман С. М. ; опубл. 14.11.2017, Бюл. № 32.
4. 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. – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 67–79.
5. 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.
6. Предикторы синхронности системных ритмов живых систем для классификаторов их функциональных состояний / Т. В. Петрова, С. А. Филист, С. В. Дегтярев, А. В. Киселев, О. В. Шаталова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 693–700.
7. Биотехническая система с виртуальной реальностью в реабилитационных комплексах с искусственными обратными связями / А. А. Трифонов, Е. В. Пет-

Моделирование индикатрис рассеяния света на малых полидисперсных сферических частицах

М. В. Сапронов

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва,
maks-sapronov@yandex.ru

Разработан алгоритм и получена программа моделирования индикатрис рассеяния монохроматического излучения на системе сферических частиц. Показано, что программа является универсальной, поскольку возможно проводить моделирование при любом состоянии поляризации падающего излучения, а его длина волны, относительный показатель преломления частиц и их функция распределения по размерам могут изменяться в широких пределах. Представлена визуализация динамики изменения 2D- и 3D-индикатрис рассеяния при различных изменениях функции распределения рассеивающих частиц по размерам.

Ключевые слова: рассеяние света, индикатриса рассеяния, компьютерное моделирование.

A program for simulating the indicatrix of monochromatic radiation scattering on a spherical particles system has been obtained. Due to program it is possible to conduct simulations at any state of polarization of incident radiation, and its wavelength, relative refractive index of particles and their size distribution function can vary widely. A visualization of the changes dynamics in 2D and 3D scattering indicatrix with various changes in the distribution function of scattering particles by size is presented.

Keywords: light scattering, indicatrix, computer simulation.

Наноразмерные дисперсные структуры вещества все чаще встречаются в науке, технике, промышленности и других областях жизнедеятельности. Одним из примеров такой структуры вещества являются коллоидные растворы, которые традиционно встречаются в медицине и фармакологии, пищевой промышленности, косметологии и парфюмерии. Дисперсная фаза коллоидных растворов представляет собой наноразмерные частицы вещества, взвешенные в жидкой среде. Еще одним примером наноразмерных дисперсных структур являются различные нанопорошки, которые применяются в металлургии и производстве полимерных материалов, в водородной энергетике, используются в качестве добавок к маслам и жидкому топливу. В условиях широкого распространения наноразмерных структур вещества задача их диагностики и определения свойств является актуальной.

В настоящее время существуют методы, которые позволяют определять форму и размер частиц дисперсной фазы вещества, а также концентрацию и функцию их распределения по размерам. К ним относятся методы оптической и электронной микроскопии, нефелометрии, аналитического ультра-центрифугирования. Одним из перспективных мето-

дов диагностики дисперсной фазы вещества является метод упругого рассеяния света [1]. Прямой задачей данного метода является определение индикатрисы рассеяния света по известным параметрам падающего излучения и рассеивающей среды, а обратной задачей является поиск параметров рассеивающей среды по измеренной индикатрисе рассеяния.

Данная работа посвящена решению прямой задачи метода на основе рассеяния света на малых полидисперсных сферических частицах вещества путем компьютерного моделирования. Для этого была создана программа, позволяющая строить 2D- и 3D- индикатрисы рассеяния произвольно поляризованного монохроматического излучения на системе малых частиц, для которых известен показатель преломления и функция их распределения по размерам. В основе алгоритма расчета индикатрис рассеяния лежит поиск относительной интенсивности рассеянного света во всех возможных направлениях. Для этого, сначала, формируется вектор параметров Стокса падающего излучения в системе координат, связанной с рассматриваемым направлением рассеяния, и матрица рассеивающего объема частиц, которая определяется из теории Г. Ми [2, 3]. Затем рассчитывается вектор параметров Стокса рассеянного в определенном направлении излучения, из которого уже определяется относительная рассеянная интенсивность. Такой расчет проводится для всех направлений и затем строится индикатриса рассеяния.

Программа позволяет строить модели 2D- и 3D- индикатрис рассеяния света различной длины волны и различного состояния поляризации на системе частиц, параметры которых, а именно комплексный показатель преломления и функция распределения по размерам, также могут изменять в широком диапазоне. Это указывает на универсальность программы. В работе демонстрируется динамика формы моделей индикатрис рассеяния при различных изменениях функции распределения частиц по размерам.

Разработанная программа и полученные модели могут оказаться полезными при решении обратной задачи метода диагностики наноразмерных структур вещества на основе рассеяния света.

Список литературы:

1. Sapronov, M. V. Prospects of applying the elastic light scattering effect for the development of an optical method to the colloidal solutions diagnostic / M. V. Sapronov, N. M. Skornyakova // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1421. – P. 012017. – DOI 10.1088/1742-6596/1421/1/012017.
2. Свидетельство о государственной регистрации ПрЭВМ : программа моделирования трехмерных индикатрис рассеяния света на сферических прозрачных или слабо поглощающих частицах / Сапронов М. В., Скорнякова Н. М. Рег. № 2019612144 от 12.02.2019. – Москва : Роспатент, 2019.
3. Sapronov, M. V. Computer visualization of rayleigh scattering indicatrix in dynamic / M. V. Sapronov, N. M. Skornyakova // Scientific Visualization. – 2017. – № 9 (3). – P. 42–53.

Оценка погрешности фотограмметрического алгоритма с помощью компьютерного моделирования деформируемой поверхности

Е. В. Шматко, Н. С. Ильина, А. Ю. Поройков

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, shmatko.97@bk.ru

Показано, что в последнее время активно проводятся летные испытания, в том числе направленные на измерение формы деформируемой поверхности в полете. Представлена методика компьютерного моделирования деформируемой поверхности, с помощью которой можно оценить погрешность измерения формы поверхности.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, измерения деформируемой поверхности, погрешность фотограмметрического алгоритма.

In recent years, flight tests have been actively carried out, including those aimed at measuring the shape of a deformable surface in flight. The paper presents a technique for computer modeling of a deformable surface, with the help of which it is possible to estimate the error in measuring its surface shape.

Keywords: computer modeling, deformable surface measurements, photogrammetric algorithm error.

В последнее время активно проводятся летные испытания, в том числе, направленные на измерение формы деформируемой поверхности в полете [1]. В ходе предыдущих работ [2] было предложено создать летную лабораторию на базе беспилотного летательного аппарата. Такой подход позволит снизить стоимость проведения испытаний, сохраняя условия их проведения близкими к реальным. Это позволит улучшить существующие и разработать новые методы измерений в полете.

В работе представлена методика компьютерного моделирования изображений формы поверхности, имитирующей крыло беспилотника при деформации во время полета. Основой для моделирования была выбрана межплатформенная среда разработки компьютерных игр – Unity [3]. В начале моделирования задаются размер крыла и количество разбиений его поверхности на треугольники по вертикали и горизонтали. Крыло задается прямоугольной поверхностью. Она в свою очередь делится на прямоугольники, а потом каждый прямоугольник на два треугольника. На моделируемую поверхность наносится текстура фонового экрана. Все треугольники связаны с помощью встроенных в Unity соединений, которые обладают большим количеством настроек. Это позволяет задавать жесткость моделируемого крыла.

После обработки смоделированных изображений и восстановления формы поверхности с помощью цифровой обработки изображений, этот результат можно сравнить с заданными при моделировании координатами поверхности крыла. Отклонение между точками заданной поверхности и рассчитанной поверхности может служить оценкой погрешности выбранного алгоритма обработки.

В докладе будет представлено созданное программное обеспечение для компьютерного моделирования изображений деформированной по-

верхности, получаемые с помощью стереосистемы камер. При моделировании есть возможность учитывать реальные параметры камер и измеряемой поверхности объекта. При моделировании возможно внести дополнительную случайную погрешность в задаваемые величины и оценить влияния точности калибровки стереосистемы камер на результаты измерений.

Список литературы:

1. Boden, F. IPCT Wing Deformation Measurements on a Large Transport Aircraft / F. Boden, H. Jentink, C. Petit // Advanced In-Flight Measurement Techniques / ed. F. Boden et al. – Berlin, Heidelberg : Springer, 2013. – P. 93–115.
2. Development of the flight laboratory for research of aerodynamic surfaces deformation / A. Y. Poroykov, D. A. Surkov, N. S. Ilina, S. V. Lebedev, D. V. Ul'yanov, K. M. Lapitsky, E. V. Shmatko // Journal of Physics: Conference. Series. – 2020. In print.
3. Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Visualizations / U. Technologies. – URL: <https://unity.com/> (accessed: 29.06.2020).

**Описание работы программы сравнения снимков
при интервальной съемке**

К. П. Беляев, Н. В. Кушнир

Филиал Ростовского государственного университета путей
сообщения в Туапсе, gerasim222@rambler.ru

Представлены описание и настройка работы программы с возможностями управления сравнения интерфейсов объектов. Приведены правила работы с данной программой при заданном начальном условии. Представлены рисунки в последовательности выполнения работы с программой.

Ключевые слова: сравнение, пиксели, «трейды», оценка, матричная схема

The work presents the description and configuration of working with program shows the opportunities of managing object interface comparisons. Regulations of using the program with specified initial condition are given. The work is supplied with pictures shooring sequence of operating the program.

Keywords: comparison, picsele, grade, estimation, matrix scheme.

Интерфейс программы и программа разработаны в VisualBasic. При запуске исполняемого файла “BlackCnt.exe” открываются два одинаковых окна, в которые можно открыть файлы сканеров с помощью кнопки OPEN или меню «файл» или меню «сканирование», переключение между окнами осуществляется с помощью мыши. Для работы с окнами используется стандарт работы с окнами Windows. Так же можно работать с верхним меню, а можно с инструментами корректировки изображений расположенных внизу окон. Основная часть рабочего окна отводится под просмотр изображений. Выделение отдельных сегментов осуществляется с помощью мыши одновременно в левом и правом окне при нажатии левой кнопки мыши. После выделения сегмента нужно под-

считать градиенты элементов каждой точки пикселей входящие в этот сегмент, для этого нужно в начале нажать кнопку CALK. Далее перейти в режим GRAD, который выводит на экран текстовый файл с матрицей «грейдов»-градиентов уровня черного «BLACKLEVEL», уровень которого настраивается инструментом коррективки. Сравнение удобно осуществлять, переключаясь в режим «сравнение» текущих сегментов, которые Вы выделили при матричной обработке подсчета GRAD-«грейдов». В начале нужно нажать «CALK» затем переключатель GRAD. Матрица может иметь любые размеры в зависимости от сегмента и пикселей в ячейке «CELLSIZE», которые можно менять от 2 до 16. В текущем сравнении, при выборе из меню «сравнение», появится окно «сравнение» оно будет пустым пока не кликнуть по нему «мышью» — появится матрица с черным и красным цветом чисел, если сегменты одинаковы то числа уровней будут черными, а элементы будут нулями, красными будут отмечены разность уровней черного в пикселях в которых эти уровни не совпадают. Для дальнейшего сравнения сегментов сканов на панели инструментов есть кнопка SAVE. При нажатии ее сохраняется сегмент текущего образца в матричном виде выделенной области. При сравнения сегмента с образцом нужно предварительно сохранить сегмент в табличном виде, затем выбрать из меню «сравнение» — «образец», открыть файл «Образца», который в своем имени должен иметь координаты начала и конца области выделенного сегмента, открыть в соседнем окне матрицу выделенной области и затем сравнить. Панель инструментов, хоть и не настраивается, но зато компактна, так на ней находится несколько необходимых кнопок. Можно менять режимы просмотра изображений, сортировать их, распечатывать сканы и делать многое другое.

Начальный диалог: ввод текущего образца и выделение сегмента в обоих окнах.

Текстура элемента и выделенный с помощью мыши сегмент — красным. По умолчанию размер ячейки CellSize = 8 в пикселях, а уровень градиента черного BlackLevel = 132, но их можно менять в зависимости от текстуры скана (от уровня белого и черного). Элементы сканирования в цвете будут переводиться в черно-белое изображение. Далее нажимаем на кнопку CALC и переключатель Grid в результате получаем матрицу градиентов черного цвета выбранного сегмента в левом и правом окне. Матрицы градиентов в начале сравнивают друг с другом и для дальнейшего наблюдения за данным сегментом ее можно сохранить, нажав на кнопку SAVE с указанием координаты начального и конечного угла выделенного прямоугольника их можно указать в имени файла, которые отображаются в правом нижнем углу окна при нажатии левой кнопки мыши, когда выделяется сегмент. Программа виртуального сканирования приведена для примерного показа вида скана в таком виде, если будет подключен лазер или ультразвук.

Сравнение изображений контрольного и текущего образца:

- поиск контрольного образца в БД;
- показатель сравнения изображений в % от контрольного;
- выделение области отличия;
- расчет прогноза.

В интерфейсе программы имеется меню СРАВНЕНИЕ. В подменю имеется возможность выбрать «текущее» или образца. На практике сравниваются два одинаковых вроде бы зрительно изображения, но сохраненных в разных редакторах и программа видит это различие.

Возможность виртуального, лазерного и ультразвукового сканирования при существующих контролеров соответствующих устройств и самих сканеров.

Способ сравнения следующий:

1. Если это уже не первое изображение данного объекта, то в этом случае сначала выполняются пункты 2–5.

2. Сравниваются матрицы сегментного содержания пикселей: получаем новую матрицу путем деления целых чисел, стоящих в матрицах на одинаковых местах, если количество единичных пикселей не совпадает, то на этом месте записываем значение ноль. Получается матрица, состоящая или из одних единиц, или единиц и нулей.

3. Проводим анализ. Если полученная матрица состоит из одних единиц, то в результате сравнения изменений в изображениях нет.

4. Если в угловых сегментах количество пикселей совпадает, а внутри имеются нули, то это означает, что произошли текстурные изменения интерфейса изображения. Требуется дальнейшее исследование этих сегментов. Переходим к 6 пункту.

5. Если в первом угловом сегменте и обрамляющих его сегментах имеются единицы, а в каком либо угловом сегменте имеются нули, то возможны нарушения параллаксов приборов. Требуется проверка и настройка прибора. После этого идем к 1 пункту.

6. Выделяются сегменты, в которых количество единичных пикселей не совпадают, в результате проводится дополнительный анализ этих сегментов лицом принимающим решение (ЛПР). Принимается решение: либо проводится дополнительное исследование, либо назначается профилактика.

Количество записей от диагностики для каждого изделия не ограничено. При сохранении информации оператор присваивает имя проверяемому (текущему) образцу и сохраняет его в матричном и исходном виде, чтобы можно было определить, каким методом он был диагностирован в предыдущем интервале времени. Базу данных можно вернуть в исходное состояние.

Результаты работы программы – вывод в форму всех показателей и названия ТИ (технического изделия) или материала изменения текстуры которого практически не произошло или близки в % к контрольному об-

разцу либо неудовлетворительный диагноз, после которого нужно выполнить дополнительную проверку с помощью других методов диагноза.

Можно приобрести данную программу по адресу расположения филиала в г. Туапсе или обратиться по электронному адресу: gerasim222@rambler.ru. Цена данной программы не высокая.

Применение разрабатываемого математического аппарата позволяет развивать данную задачу применительно к широкому кругу работ в технике, медицине, дактилоскопии и других областях знаний.

Обобщенный спектр в моделях Маггерра – Власова колебаний пологих оболочек в неограниченной области

Е. В. Колпакова¹, Е. А. Кривонос²

¹Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского
государственного технологического университета, Новороссийск,
evge.kolpakova@yandex.ru

²Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск, *ivasha64@yandex.ru*

Для задачи с ограниченной областью введен обобщенный спектр бигармонического оператора. Показано, что это позволит сформировать условия существования обобщенного спектра в случае неограниченной области, что также изменит дифференциальные свойства обобщенных решений

Ключевые слова: обобщенный спектр, бигармонический оператор, неограниченная область, обобщенные решения.

For a problem with a limited area a generalized spectrum of the bigarmonic operator has been introduced. It will encourage the formation of conditions for the existence of a generalized spectrum in the case of an unlimited region which will also change the differential properties of generalized solutions

Keywords: generalized spectrum, bigarmonic operator, unlimited domain, generalized solutions.

В случае, когда оболочка проектируется на область Ω с границей $\Gamma \in C^1$, являющуюся дополнением в R^2 конечного объединения ограниченных односвязных областей, начально-краевая задача задается уравнениями:

$$\begin{aligned} w_{tt} + D\Delta^2 w + \delta\Delta^2 w_t &= Z + (N_1 w_{x_1})_{x_1} + (N_{12} w_{x_1})_{x_2} + (N_2 w_{x_2})_{x_2} + (N_{12} w_{x_2})_{x_1} - N_1 k_1 - N_2 k_2, \\ \Delta u + \frac{1+\mu}{1-\mu} \theta_{x_1} &= - \left(\frac{2}{1+\mu} \left[(k_1 w)_{x_1} + w_{x_1 w_1} w_{x_1} + \mu (k_2 w)_{x_1} + \mu w_{x_1 x_2} w_{x_2} \right] + w_{x_1 x_2} w_{x_2} + w_{x_1} w_{x_2 x_2} + X \right), \\ \Delta v + \frac{1+\mu}{1-\mu} \theta_{x_2} &= - \left(\frac{2}{1-\mu} \left[(k_2 w)_{x_2} + w_{x_2 x_2} w_{x_2} + \mu (k_1 w)_{x_2} + \mu w_{x_1 x_2} w_{x_1} \right] + \right. \\ &\quad \left. + w_{x_1 x_2} w_{x_1} + w_{x_2} w_{x_1 x_1} + Y \right), u|_{\Gamma} = v|_{\Gamma} = w|_{\Gamma} = \left(\frac{d^2 w}{dn^2} - \mu \chi \frac{dw}{dn} \right) \Big|_{\Gamma} = 0, w|_{|x| \rightarrow \infty} = 0, \end{aligned}$$

$$w(x,0)=w_0(x), \quad w_t(x,0)=w_1(x), \quad x \in \Omega.$$

Изучение этой модели проводилось по схеме, предложенной в [1], доказана следующая теорема [2].

Теорема. Пусть граница области $\Omega \in C^3$ и имеет ограниченные четвертые производные. Пусть $w_0 \in \tilde{H}_2^2(\Omega)$, $w_1 \in L_2(\Omega)$, $X = X_{1x_1} + X_{2x_2}$, $Y = Y_{1x_1} + Y_{2x_2}$, $Z = Z_0 + Z_{1x_1} + Z_{2x_2} + \Delta^2 Z_3$, где $X_1, X_2, Y_1, Y_2 \in L_{2,\infty}(\Omega \times [0, t_f])$, $Z_0 \in L_1(\Omega \times [0, t_f])$, $Z_1, Z_2 \in L_{p,1}(\Omega \times [0, t_f])$, $p > 1$, $Z_3 \in L_2([0, t_f], \tilde{H}_2^2(\Omega))$. Тогда существуют единственные обобщенные решения w, u, v данной начально-краевой задачи, удовлетворяющие следующим условиям:

$$w \in L_{2,\infty}^{2,0}(\Omega \times [0, t_f]) \cap L_{2,2}^{2,1}(\Omega \times [0, t_f]) \cap L_{2,\infty}^{1,1}(\Omega \times [0, t_f]),$$

$$u, v \in L_\infty([0, t_f], \dot{H}_2^1(\Omega)).$$

Далее проведена работа над ослаблением условий на границу области Ω . Для задачи с ограниченной областью введен обобщенный спектр бигармонического оператора [3], что позволило ослабить условие до $\Gamma \in C^2$. Ведется работа по формированию условий существования обобщенного спектра в случае неограниченной области, что также изменит дифференциальные свойства обобщенных решений.

Список литературы:

1. Ворович, И. И. О некоторых прямых методах в нелинейной теории колебания пологих оболочек / И. И. Ворович // Известия АН СССР. Сер.: Математика. – 1957. – Т. 21, № 6. – С. 747–784.
2. Колпакова, Е. В. Существование обобщенных решений моделей Маргерра-Власова колебаний пологих оболочек с шарнирным закреплением края в неограниченной области / Е. В. Колпакова // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2010. – № 1(45). – С. 144–146.
3. Колпакова, Е. В. Задача на собственные значения для бигармонического оператора с краевыми условиями смешанного закрепления края оболочки / Е. В. Колпакова, Д. Б. Давтян, В. И. Седенко // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2008. – № 3. – С. 13–14.

Спектральные характеристики плазмы при высокочастотном импульсно-периодическом воздействии

А. М. Вальшин

Башкирский государственный университет, Уфа, amvals@mail.ru

Показано, что высокочастотная накачка твердотельного лазера с ламповой накачкой в импульсно-периодическом режиме позволяет оптимизировать спектры излучения плазмы в лампах накачки со спектром поглощения активного элемента твердотельного лазера. В результате экспериментов исследованы различные лампы высокого давления, низкого давления, а также с разными газовыми наполнениями, а также проведены измерения спектральных параметров излучения на разных частотах при разных давлениях и с разными газами.

Ключевые слова: твердотельный лазер, ламповая накачка, импульсно-периодический режим, спектр излучения плазмы, спектр поглощения активного элемента.

High-frequency pumping of a solid-state laser with tube pumping in pulsed-periodic mode allows optimizing the spectra of plasma radiation in pump lamps with the absorption spectrum of the active element of a solid-state laser. As a result of experiments, various high-pressure and low-pressure lamps were studied, as well as with different gas fillings, and spectral parameters of radiation were measured at different frequencies at different pressures and with different gases.

Keywords: solid state laser, lamp excitation, pulse-periodical operation, plasma emission spectrum, active element absorption spectrum.

Эффективность, стабильность энергетических и пространственных характеристик твёрдотельных лазеров во многом определяется системой накачки.

На сегодня существуют два направления развития источников накачки импульсных ламп для твёрдотельных лазеров, это традиционный разряд импульсного или постоянного напряжения однополярным током и диодная накачка.

Полупроводниковая накачка диодными лазерами на сегодня является наиболее эффективной и распространенной, так как обладает максимальным КПД, минимальными массогабаритными параметрами, а также сравнительно узкой шириной спектра излучения, совпадающей с полосой поглощения твердотельного лазера. Однако требуется стабилизация температурного режима диодных лазеров накачки для совпадений полос излучения с полосой поглощения активного элемента.

Традиционный вид накачки, который мы называем условно С-накачкой, обладает минимальным КПД, хотя является самым простым. Минимальный КПД объясняется тем, что полоса излучения сильно отличается от полос поглощения активного элемента твердотельного лазера. На графике спектра излучения С-накачки (рисунок 1) наряду с линейчатым спектром мы наблюдаем также и появление сплошного спектра излучения в видимом диапазоне.

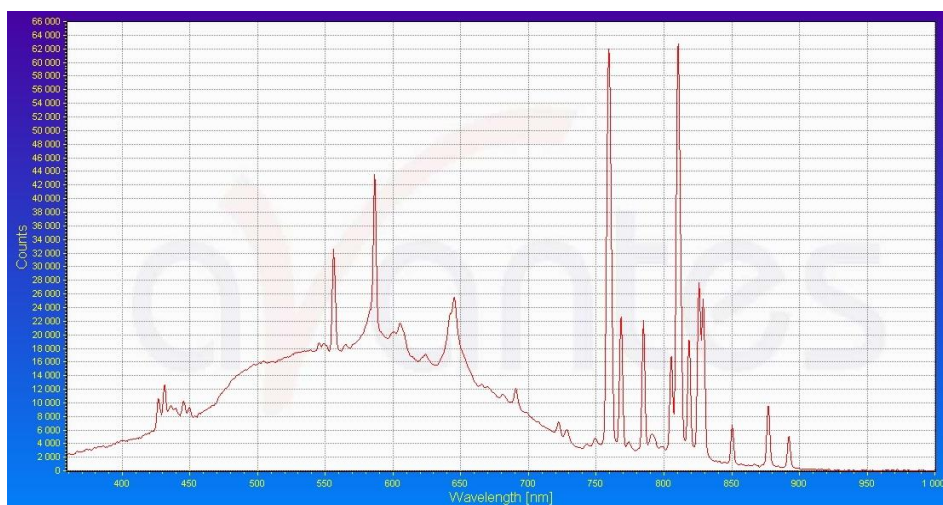


Рисунок 1 – Спектр излучения С-накачки

Целью данной работы является высокочастотная накачка твердотельного лазера с ламповой накачкой в импульсно-периодическом режиме с целью создания оптимальных спектров излучения плазмы в лампах накачки со спектром поглощения активного элемента твердотельного лазера [1].

В экспериментах использовались ВЧ генераторы собственной разработки, которые перекрывали диапазон частот от 1 МГц до 6 МГц, могли работать в импульсно-периодическом режиме. Импульсно-периодический режим осуществляется в 2 этапа: на 1 этапе мы поджигаем лампу, на втором этапе, подавая высокочастотные колебания, мы вкачиваем энергию в лампу.

При проведении эксперимента на графике (рисунок 2) мы наблюдаем только линейчатый спектр излучения высокочастотной накачки твердотельного лазера в импульсно-периодическом режиме, что говорит о возможности повышения КПД ВЧ накачки, так как отсутствует сплошной спектр, который является мешающим фактором.

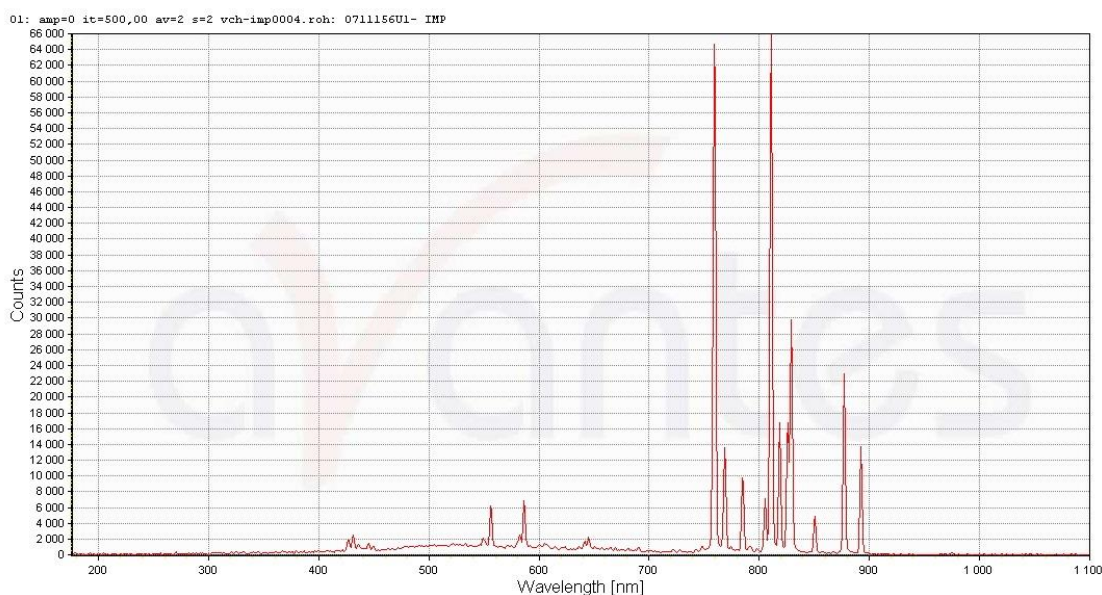


Рисунок 2 – Спектр излучения высокочастотной накачки в импульсно-периодическом режиме

Таким образом, нам удалось осуществить импульсно-периодический режим высокочастотной накачки в указанных лампах.

В результате экспериментов нами были исследованы различные лампы высокого давления, низкого давления, а также с разными газовыми наполнениями. Проведены измерения спектральных параметров излучения на разных частотах при разных давлениях и с разными газами. В связи с этим нами была рассмотрена накачка высокочастотными импульсами тока твердотельного лазера на гранате.

Приведены характерные осциллограммы тока и напряжения на лампе. Проанализированы сравнительные характеристики данной лампы при ВЧ накачке и питании постоянным током. Показана перспективность использования высокочастотного источника питания для накачки твердотельных лазеров.

Список литературы:

1. Вальшин, А. М. Управление параметрами газоразрядной плазмы низкого давления при высокочастотной накачке / А. М. Вальшин, Р. Ф. Тавлыкаев, Г. М. Михеев, С. М. Першин // Инженерная физика. – 2015. – № 3. – С. 42–49.

Электрические характеристики стекла при высокочастотном импульсно-периодическом воздействии

А. М. Вальшин

Башкирский государственный университет, Уфа, *amvals@mail.ru*

Проведены исследования электрических характеристик стекла на предмет пробоя и измерения электропроводности на основе высокочастотного импульсно-периодического режима воздействия на стеклянную трубку. Выполнены измерения параметров пробоя и электропроводности различных стекол на разных частотах при высокочастотном импульсно-периодическом воздействии.

Ключевые слова: стекло, пробой, электропроводность, высокочастотное импульсно-периодическое воздействие.

Studies of the electrical characteristics of glass for breakdown and measurement of electrical conductivity based on a high-frequency pulse-periodic mode of exposure to the glass tube. Measurements of the breakdown parameters and electrical conductivity of various glasses at different frequencies under high-frequency pulse-periodic exposure were performed.

Keywords: glass, breakdown, electrical conductivity, high frequency pulse periodical impact.

При напряженности электрического поля, превосходящей предел электрической прочности диэлектрика, наступает пробой. Пробой представляет собой процесс разрушения диэлектрика, в результате чего диэлектрик теряет электроизоляционные свойства в месте пробоя. Величину напряжения, при котором происходит пробой диэлектрика, называют пробивным напряжением, а соответствующее значение напряженности электрического поля называется электрической прочностью диэлектрика.

Пробой твердых диэлектриков представляет собой или чисто электрический процесс (электрическая форма пробоя), или тепловой процесс (тепловая форма пробоя). В основе электрического пробоя лежат явления, в результате которых в твердых диэлектриках имеет место лавинное возрастание электронного тока, подобно тому, как это наблюдается в процессе ударной ионизации в газообразных диэлектриках.

Тепловой пробой имеет место при повышенной проводимости твердых диэлектриков и больших диэлектрических потерях, а также при подогреве диэлектрика посторонними источниками тепла или при плохом теплоотводе. Процесс теплового пробоя твердого диэлектрика состоит в следующем. Вследствие неоднородности состава отдельные части объема диэлектрика обладают повышенной проводимостью. Они представляют собой тонкие каналы, проходящие через всю толщину диэлектрика. Вследствие повышенной плотности тока в одном из таких

каналов будут выделяться значительные количества тепла. Это повлечет за собой еще большее нарастание тока вследствие резкого уменьшения сопротивления этого участка в диэлектрике. Процесс нарастания тепла будет продолжаться до тех пор, пока не произойдет тепловое разрушение материала (расплавление, науглероживание) по всей его толщине – по ослабленному месту.

При пробое твердых диэлектриков часто наблюдаются случаи, когда до определенной температуры имеет место электрический пробой, а затем в связи с дополнительным нагревом диэлектрика наступает процесс теплового пробоя диэлектрика. Аналогичный переход электрической формы пробоя в тепловую происходит в зависимости от времени выдержки твердого диэлектрика под напряжением.

В данной работе осуществлен высокочастотный импульсно-периодический режим воздействия на стеклянную трубку с целью исследования электрических характеристик стекла на предмет пробоя и измерения электропроводности.

В экспериментах использовались ВЧ генераторы собственной разработки, которые перекрывали диапазон частот от 1 до 6 МГц, могли работать в импульсно-периодическом режиме. Импульсно-периодический режим осуществляется в 2 этапа: на 1 этапе мы пробиваем стекло, на втором этапе проводится измерение электропроводности стекла.

Также нами была проведена ВЧ емкостная безэлектродная накачка стандартных люминесцентных ламп на разных частотах. В качестве электродов используется алюминиевая фольга, намотанная на поверхность стекла. ВЧ накачка подается на эти электроды.

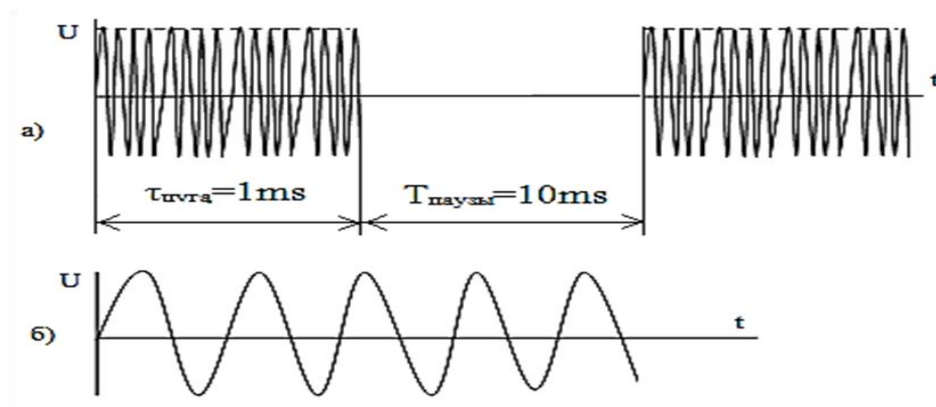


Рисунок 1 – Форма выходного сигнала ВЧ генератора

После зажигания лампы ВЧ ток проходит через электроды (фольга), далее через стекло и через газовую смесь внутри трубки замыкается через стекло со вторым электродом. Нами была измерена температура на поверхности стекла рядом с внешним электродом (фольгой).

На рисунок 2 показана зависимость температуры стекла от частоты накачки. Видно, что с увеличением частоты накачки температура стекла уменьшается от 70 до 35 градусов.

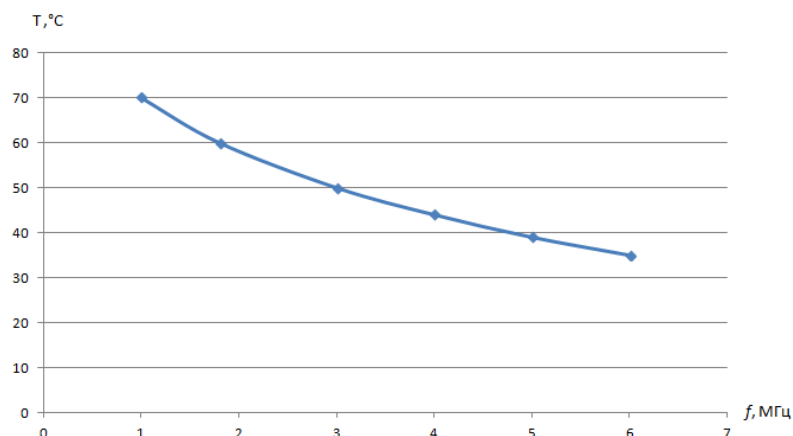


Рисунок 2 – График зависимости температуры стекла от частоты

Также проведены измерения параметров пробоя и электропроводности различных стекол на разных частотах при высокочастотном импульсно-периодическом воздействии.

Оценка погрешности определения пространственного положения изображений маркеров ArUco с применением компьютерного моделирования

С. А. Шитов, П. О. Калугин, А. Ю. Поройков

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, shitovsa@mpei.ru

Представлен алгоритм компьютерного моделирования изображений с метками ArUco для оценки точности определения их пространственного положения. По результатам моделирования получены зависимости, позволяющие оценить их величину с учетом параметров измерительной системы.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, маркеры ArUco, оценка погрешности.

The paper demonstrates the algorithm for computer modeling of images with ArUco markers to evaluate the accuracy of estimation their spatial positions. Based on the modeling results, dependencies were obtained that make it possible to estimate the accuracy depending on the parameters of the measuring system.

Keywords: computer modeling, ArUco markers, error estimation.

Кодовые маркеры или метки используются для определения положения объектов в пространстве, реконструкции движения и создания дополненной реальности. Особенно актуальным является применение меток в системах, где требуется манипулировать объектами в замкнутом или ограниченном пространстве. Преимуществами такого использования считаются относительно высокая точность и минимальные затраты на их применение. Для повышения точности измерения рассматриваемый способ можно комбинировать с другими способами оценки положения в пространстве, например с системами глобального позиционирования.

Кодовые маркеры совмещают в себе специальную метку и небольшое количество данных, которые можно интерпретировать как номер метки. Данные определяются при помощи методов цифровой обработки изображений. В работе рассматриваются маркеры ArUco, представленные в [1]. Существует несколько работ, посвященных точностным параметрам измерительных систем, основанных на таких метках. В [2], одной из наиболее ранних и содержательных, проведено сравнение нескольких типов меток. Однако они рассматриваются с точки зрения применения в технологии дополненной реальности, а не для робототехнических систем. В работе [3] описано компьютерное моделирование влияния положения маркеров ArUco относительно камеры на точность оценки их пространственного положения. В работе найдено большое количество зависимостей, но они не имеют практического применения из-за того, что получены для конкретных параметров, заданных при моделировании.

Для выполнения моделирования была выбрана библиотека OpenCV [4], так как она широко применяется на практике. Для реализации программного обеспечения в данной работе был выбран язык программирования C#. Алгоритм моделирования основан на расчете трехмерных координат углов метки с помощью перемножения ее начальных координат на матрицу поворота и переноса, с помощью которых задается ее новое положение в пространстве. После этого трехмерные координаты точек проецируются в двумерные с использованием матрицы камеры, которая задается в начале моделирования. Далее с помощью перспективного преобразования изображение метки отрисовывается в новых двухмерных координатах. Оценка точности нахождения пространственного положения происходит путем сравнения результатов работы стандартного детектора маркеров ArUco из OpenCV с заданными положениями метки при моделировании.

В докладе будет представлено подробное описание алгоритма моделирования изображений с маркерами ArUco и продемонстрированы примеры полученных при моделировании изображений. Также будут представлены полученные зависимости влияния различных параметров измерительной системы на погрешность нахождения положения маркеров в пространстве.

Список литературы:

1. Garrido-Jurado, S. Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion / S. Garrido-Jurado [et al.] // Pattern Recognition. – 2014. – Vol. 47, № 6. – P. 2280–2292.
2. Xiang Zhang. Visual marker detection and decoding in AR systems: a comparative study / Xiang Zhang, S. Frönz, N. Navab // Proceedings. International Symposium on Mixed and Augmented Reality. – 2002. – P. 97–106.
3. López-Cerón, A. Accuracy analysis of marker-based 3-D visual localization / A. López-Cerón, M. J. Canas // XXXVII Jornadas de Automatica Workshop. – 2016. – P. 8.
4. OpenCV. – URL: <https://opencv.org/> (accessed: 05.07.2020).

СЕКЦИЯ Г-4 – ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Планирование эксперимента и программные пакеты в диагностике биообъектов и аэрозолей

М. М. Кугейко, С. А. Лысенко, Д. А. Смунев

Белорусский государственный университет, Минск, *kugeiko@bsu.by*

Разработаны программные пакеты для планирования, анализа информативности оптических измерений в диагностике биообъектов и аэрозолей. Показано, что универсальность программ обеспечивается возможностью использования их как для сферических частиц (аэрозолей, форменных элементов крови и т.п.), так и частиц произвольной формы. Интерпретация измерительной информации ведется с использованием устанавливаемых регрессионных связей между определяемыми и измеряемыми характеристиками.

Ключевые слова: аэрозоли, биообъекты, оптические измерения, интерпретация измерительной информации.

Software packages have been developed for planning and analyzing the information content of optical measurements in the diagnostics of biological objects and aerosols. The versatility of the programs is provided by the ability to use them for spherical particles (aerosols, shaped blood elements, etc.), and particles of any shape. The interpretation of measurement information is carried out using established regression relationships between the defined and measured characteristics.

Keywords: aerosols, bioobjects, optical measurements, interpretation of measurement information.

Систематические измерения различных параметров рассеивающих сред (биообъектов, аэрозолей), как в натурных, так и в лабораторных условиях ведутся рядом научных коллективов десятилетия. Получено огромное количество экспериментального материала, выявлены многочисленные статистические зависимости между различными параметрами данных объектов. Однако получение надёжных данных для требуемых практикой и научными задачами их оптических параметров в большинстве случаев продолжает оставаться проблематичным: биообъекты и аэрозоли чрезвычайно разнообразны и изменчивы по микроструктуре и физико-химическим свойствам, проведение измерений требует больших временных затрат, использования дорогостоящих приборов и систем. Косвенные методы определения микрофизических параметров (МФП) биообъектов, аэрозоля требуют измерения его оптических характеристик (ОХ), использования априорной информации при интерпретации результатов измерений и ее адекватности для конкретной ситуации, что далеко не всегда выполнимо.

Априорная информация может быть сформирована в виде общей микрофизической модели, содержащей основные сведения об исследу-

емых объектах и позволяющей варьировать её характеристики во всём диапазоне возможных изменений. При этом важнейшим является вопрос о возможности отражения этих изменений в измеряемых оптических характеристиках, то есть вопрос об информативности оптических измерений и о том, какие микрофизические параметры биообъектов, аэрозоля могут быть в принципе получены с использованием существующих измерительных систем. Для планирования различных оптических измерений необходимо также решать задачу выбора набора измеряемых ОХ для определения конкретных МФП и оценки потенциальной точности определения последних.

Решение задач оценок информативности исходных оптических измерений предлагается путем получения ансамбля реализаций оптических и микрофизических характеристик рассеивающей среды [1–4] с использованием априорной информации в отмеченном выше виде. Данный ансамбль может быть получен при наличии достаточного большого объема экспериментальных данных по одновременным оптическим и микрофизическим измерениям. Однако проведение комплекса оптических и микрофизических измерений в полном объеме практически не осуществимо в рассеивающих средах, к тому же, не наблюдается достаточного соответствия оптических и микрофизических данных ввиду сложности интерпретации оптических характеристик относительно микрофизических. Другой подход основывается на экспериментальных сведениях о возможных реальных вариациях микрофизических параметров частиц и последующем расчете необходимых оптических характеристик с «отсеиванием» тех реализаций, которые соответствуют не встречающимся в действительности значениям расчетных оптических и задаваемых микрофизических параметров среды [3]. Преимуществом такого подхода является возможность получения расчетных данных практически обо всех необходимых оптических параметрах биообъектов, аэрозоля в любом спектральном и угловом диапазонах. Далее рассчитываются ковариационные матрицы оптических и микрофизических характеристик – $\mathbf{D}_{xx}$ и $\mathbf{D}_{yy}$ соответственно, и кроссковиариационная матрица $\mathbf{D}_{xy}$ между этими характеристиками. Используя данные матрицы, можно оценивать погрешности восстановления МФП с использованием метода линейных регрессий [6–8]:

$$\mathbf{x} = \bar{\mathbf{x}} + \mathbf{D}_{xy} (\mathbf{D}_{yy} + \mathbf{I} \delta^2)^{-1} (\mathbf{y} - \bar{\mathbf{y}}), \quad (1)$$

где $\mathbf{x}$ – вектор искомым МФП, $\mathbf{y}$ – вектор измерений ОХ, $\mathbf{I}$ – единичная матрица, δ – погрешность измерения ОХ. Влияние имеющейся априорной информации на точность интерпретации данных оптических измерений (сопутствующих микрофизических измерений) можно учитывать путем добавления в вектор $\mathbf{y}$ компонент, соответствующих измеряемым МФП.

Формула (1) используется в численных экспериментах по замкнутой схеме для восстановления МФП для множества реализаций пара-

метров модели. Для каждой реализации по регрессионной формуле (1) для заданного набора измеряемых оптических характеристик Y , с учетом добавления в их расчетные значения заданных погрешностей измерения, рассчитываются значения МФП которые сравниваются с их заданными значениями. После перебора всех реализаций вычисляются средние погрешности восстановления МФП.

Данный подход позволяет ранжировать измерения по информативности, решать задачи выбора конкретного набора измерений и оценки их требуемых точностей для определения конкретного МФП, а также оценивать потенциальную точность восстановления МФП с учетом особенностей реальной аппаратуры и имеющейся априорной информации.

Разработан программный пакет для анализа информативности оптических измерений для различных типов аэрозоля (континентальный – фоновый и городской; морской; дымовой и пылевой), основанный на вышеизложенных принципах [8]. Универсальность программы обеспечивается возможностью рассмотрения любых комбинаций аэрозольных ОХ, реально осуществляемых на практике. В качестве указанных характеристик рассматривались: объемные коэффициенты ослабления, обратного рассеяния, направленного рассеяния и степень линейной поляризации при рассеянии. Причем указанные характеристики могут измеряться в любой области спектрального диапазона от 0.3 до 15.0 мкм, как на конкретных длинах волн, так и в заданных спектральных диапазонах. Для индикатрисы и степени поляризации могут быть выбраны любые углы или диапазоны углов. Задавая конкретные измерения, включая их точность, пользователь получает коэффициенты регрессионных соотношений между измеряемыми ОХ и определяемыми МФП аэрозоля и оценки потенциальной точности восстановления последних из оптических измерений, на основе которых можно делать выводы и о требованиях к измерениям ОХ.

Для получения указанных регрессий используется база данных, включающая: 1) ансамбли МФП для основных типов (моделей) аэрозолей с использованием известных экспериментальных данных; 2) результаты расчетов ОХ и интегральных МФП для данных ансамблей.

В используемом пакете оптические характеристики аэрозоля рассчитываются в приближении сферических частиц по известным формулам Ми [8]. Такое упрощение обусловлено несколькими причинами. Во-первых, объем экспериментальных данных по форме и внутренней структуре аэрозольных частиц явно недостаточен для построения соответствующих реальности моделей. Во-вторых, методики и алгоритмы расчета оптических характеристик несферических и неоднородных рассеивателей громоздки и имеют лишь ограниченную область применимости [9]. Однако, как отмечено в [9], для хаотически ориентированных сфероидов и цилиндров с умеренным параметром формы k (от 0.5 до

2.0) возникающая при замене разницы укладывается в несколько процентов. Отметим также, что для несферических частиц эквивалентные по площади и по объему радиусы не совпадают, однако для умеренно вытянутых (сплюснутых) сфероидов и цилиндров (с параметром асимметрии $0.5 \leq k \leq 2$) эта разница не превышает 5 % [9], что позволяет рассчитывать объемную концентрацию, не учитывая форму частиц.

Многие реальные рассеивающие дисперсные среды состоят из заведомо несферических частиц. Типичным примером такой среды может служить взвесь нативных (естественных, необработанных) эритроцитов, имеющих в реальности форму, наиболее приближенную к двояковогнутому дискоиду.

Разработан модифицированный программный продукт с открытым исходным кодом ADDA (Д. А. Смунов), реализующий МДД с диполями в виде прямоугольных параллелепипедов [10]. Он может, кроме отмеченных задач диагностики биообъектов, более эффективно использоваться при решении многих других задач оптики рассеивающих сред: экологических, метеорологических, технологических; научных – поскольку позволяет рассчитывать оптические характеристики частиц с учетом особенностей формы рассеивателя. Для сильно сплюснутых или вытянутых рассеивателей достигается ускорение расчетов на несколько порядков. При этом уменьшаются требования к потребляемой памяти вычислительных систем, что дает возможность вести расчет с использованием стандартных пользовательских вычислительных мощностей.

Список литературы:

1. Кугейко, М. М. Лазерная спектрофелометрия аэродисперсных сред / М. М. Кугейко, С. А. Лысенко. – Минск : БГУ, 2012. – 208 с.
2. Лысенко, С. А. Методы оптической диагностики биологических объектов / С. А. Лысенко. – Минск : БГУ, 2014. – 250 с.
3. Кугейко, М. М. Электроника-инфо / М. М. Кугейко, С. А. Лысенко. – 2009. – № 6. – С. 49–50.
4. Ивлев, Л. С. Оптические свойства атмосферных аэрозолей / Л. С. Ивлев, С. Д. Андреев. – Ленинград : ЛГУ, 1986. – 359 с.
5. Galushkin, A. I. Neural network theory / A. I. Galushkin. – Berlin : Springer, 2007. – 402 p.
6. Колемаев, В. А. Теория вероятностей и математическая статистика / В. А. Колемаев. – Москва : ИНФРА-М, 1997. – 302 с.
7. Ligon D., Gillespie J. B., Pellegrino P. M. // Appl. Opt. – 2000. – Vol. 39, № 24. – P. 4402–4410.
8. Борен, К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами / К. Борен, Д. Хаффман. – Москва : Мир, 1986. – 664 с.
9. Зуев, В. Е. Обратные задачи оптики атмосферы / В. Е. Зуев, И. Э. Нац. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1990. – 286 с.
10. ADDA Rectangular dipole. – 2015. – URL: https://github.com/adda-team/adda/tree/rectangular_dipole

Зондирование молекул метанола в атмосфере лидаром комбинационного рассеяния света

В. Е. Привалов¹, В. Г. Шеманин^{2,3}

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, *vaevpriv@yandex.ru*,

²Филиал Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова в Новороссийске

³Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, *vshemanin@mail.ru*

Представлены результаты численного решения лидарного уравнения для комбинационного рассеяния света молекулами метанола в направлении назад при зондировании молекул метанола в атмосфере с концентрациями в диапазоне $10^{12} \dots 10^{17} \text{ см}^{-3}$ на расстояниях до 1000 м в режиме синхронного счета фотонов. Показано, что за время измерения 1 с лидаром комбинационного рассеяния света на длине волны лазерного излучения 405 нм можно зондировать молекулы метанола с уровнем концентрации порядка 10^{16} см^{-3} на расстояниях до 600 м.

Ключевые слова: лидар, уравнение, комбинационное рассеяние света, молекула, метанол, концентрация, счет фотонов.

This paper presents the results of the numerical solution of the lidar equation for the combination scattering of light by methanol molecules in the backward direction when probing methanol molecules in an atmosphere with concentrations in the range of $10^{12} \dots 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ at distances up to 1000 meters in synchronous photon counting mode. It is shown that during measurement time 1 with lidar of combinational scattering of light at wavelength of laser radiation 405 nm it is possible to probe methanol molecules with concentration level on the order of 10^{16} cm^{-3} at distances up to 600 m.

Keywords: lidar, equation, Raman scattering, molecule, methanol, concentration, photon counting.

В настоящее время метанол все активнее используется в качестве замены традиционным видам моторного топлива [1]: он гораздо дешевле, и при этом наносит гораздо меньший вред окружающей среде, чем привычные бензин, керосин или дизтопливо. В России запланирована реализация не менее 15 проектов по производству метанола с общим объемом продукции более 19 млн тонн, что приведет к увеличению суммарной мощности в пять раз. Из наиболее крупных проектов 2020 г. стоит отметить «Портово-индустриальный парк ОТЭКО» на Таманском полуострове в Краснодарском крае.

Метанол производится из природного газа, угля и других источников, более того, уже разработаны технологии его получения непосредственно из вредных выбросов в атмосферу, что особенно важно в свете сокращения выбросов CO и CO₂.

Поэтому становится актуальной разработка новых лидаров для измерения концентрации молекул метанола CH₃OH как загрязняющего вещества на уровне предельно-допустимых концентраций (ПДК) в атмосферном воздухе. Для метанола, класс опасности которого 3, значение ПДК 1.0 мг/м^3 [2] или порядка $1.9 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Ранее было показано, что лидар комбинационного рассеяния света может использоваться для дистанционного измерения концентрации молекул на уровне сотен ПДК и более [3–6]. А мониторинг паров метанола таким лидаром в атмосферном пограничном слое в диапазоне расстояний зондирования до 1500 м может стать эффективным способом решения этой проблемы.

Целью настоящей работы является выбор параметров лидара комбинационного рассеяния света для зондирования молекул метанола в атмосферном пограничном слое на уровне ПДК и выше в режиме синхронного счета фотонов. Для этого выполнено численное решение лидарного уравнения для комбинационного рассеяния света молекулами метанола в направлении назад для измерения минимального значения концентрации исследуемых молекул на заданном расстоянии зондирования.

Для зондирования рассмотрим использование второй гармоники YAG:Nd-лазера с длиной волны 532 нм и полупроводниковых лазеров с длинами волн 405 и 655 нм с длительностью импульсов 10 нс и энергиями в импульсе до 100 мкДж при частоте следования лазерных импульсов f до 1 МГц [2]. Для лидара комбинационного рассеяния света рассмотрим оптическую схему из [3, 6, 7], приведенную на рисунок 1. Излучение лазера 7 направлялось вдоль оси приемного телескопа, а излучение комбинационного рассеяния молекулами сероводорода и метана в атмосферном пограничном слое в направлении назад собиралось приемным телескопом типа Ньютона со сферическим зеркалом 1 диаметром 400 мм и фокусировалось линзовым объективом 9 в волоконный световод 2 микро спектрометра 8 типа FSD-8, работающего под управлением ПК. Часть лазерного излучения направлялась стеклянной пластиной 4 через интерференционный светофильтр 5 на фотоприемник 6, напряжение U_0 с которого записывалось в память ПК для контроля энергии лазерного импульса и формирования начала отсчета времени измерения.

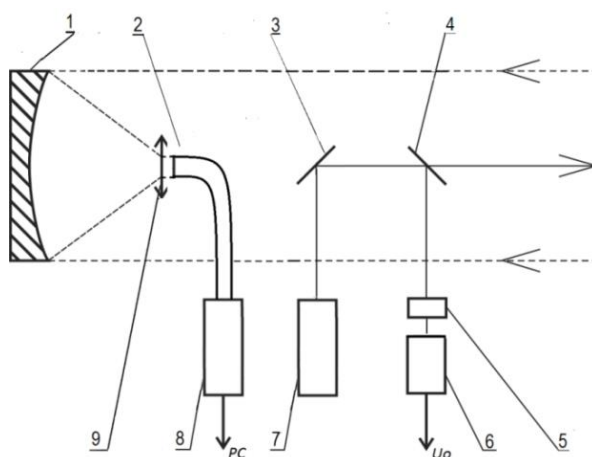


Рисунок 1 – Оптическая схема лидара комбинационного рассеяния света:

- 1 – сферическое зеркало приемного телескопа; 2 – волоконный ввод; 3 – глухое зеркало; 4 – стеклянная пластина; 5 – интерференционный светофильтр;
- 6 – фотоприемник; 7 – лазер; 8 – микро спектрометр; 9 – линзовый объектив

В результате анализа спектра комбинационного рассеяния света молекулами метанола был сделан вывод о том, что зондирование молекул метанола может быть реализовано на двух выбранных полосах валентных СН и СО колебаний с волновыми числами 2846 и 1033 см⁻¹ [8–10].

Лазер лидара будем характеризовать числом фотонов n_0 в импульсе посылаемого в атмосферу лазерного излучения длительностью τ_0 , а линию генерации лазера будем считать Гауссовой с максимумом на частоте ν_0 и полушириной Γ_0 . Тогда число фотонов $n(\nu, z)$ излучения комбинационного рассеяния света исследуемыми молекулами гидрофторида с концентрацией $N(z)$ на фотоприемнике лидара можно получить из лидарного уравнения в направлении назад в режиме счета фотонов в виде [3, 7, 11] как интеграл в интервале от $(\nu_0 - \Gamma_0)$ до $(\nu_R + \Gamma_R)$ [12]:

$$n(\nu, z) = \frac{c\tau_0}{2z^2} n_0 S_0 G(z) N(z) f t_d (d\sigma / d\Omega) \times$$

$$\times \int_{\nu_0 - \Gamma}^{\nu_R + \Gamma_a} \Phi(\nu') \exp\left[-\int_0^z \{\alpha(\nu_0, r) + \alpha(\nu_R, r)\} dr\right] A(\nu') d\nu', \quad (1)$$

где $n(\nu, z)$ – число фотонов, зарегистрированное фотодетектором лидара на частоте ν_R комбинационного рассеяния света с расстояния зондирования z ; n_0 – число фотонов на частоте ν_0 лазерного излучения. Кроме того, обозначены S_0 – площадь приемной апертуры телескопа; $G(z)$ – геометрическая функция лидара [2, 5] и лежит в пределах $0 < G(z) < 1$. Следующие величины $N(z)$ – концентрация исследуемых молекул; t_d – время измерения или накопления сигнала; $(d\sigma/d\Omega)$ – дифференциальное сечение комбинационного рассеяния света исследуемыми молекулами; следующая экспонента – это пропускание атмосферы [3, 12, 13] с коэффициентами ослабления $\alpha(\nu_0, r)$ и $\alpha(\nu_R, r)$ на частотах лазерного излучения и комбинационного рассеяния света молекулами метанола; $\Phi(\nu)$ – функция распределения фотонов лазерного излучения в линии генерации, имеющая Гауссову форму [14]. Когда полуширина линии генерации много меньше, чем полуширина аппаратной функции лидара можем считать что $\Phi(\nu)=1$. Будем считать, что аппаратная функция или спектральный коэффициент пропускания приемной системы лидара $A(\nu)$ [3, 8, 11] имеет тоже Гауссову форму и настроена точно на частоту ν_R полосы комбинационного рассеяния света молекулами метанола с полушириной Γ_a , которая больше чем Γ_R и Γ_0 [3]

Из уравнения (1) выразим концентрацию $N(z)$ в виде

$$N(z) = \frac{n(\nu, z) z^2}{B t_d I(\nu, z)} \quad (2)$$

в этом выражении обозначена константа B как $B = \frac{c\tau_0}{2} S_0 f$ и некоторая функция частоты и расстояния зондирования $I(\nu, z)$, имеющая вид

$$I(\nu, z) = G(z)n_0 \int_{\nu_0 - \Gamma}^{\nu_R + \Gamma_a} (d\sigma / d\Omega) \exp\left[-\int_0^z \{\alpha(\nu_0, r) + \alpha(\nu_R, r)\} dr\right] A(\nu') d\nu'$$

в соответствии с [12].

Рассмотрим однократное комбинационное рассеяние света и однородную атмосферу [3, 12, 13]. Значения максимумов полос валентных симметричных СН и валентных СО колебаний молекулы CH_3OH взяты из [3, 8, 9, 10, 15] и равны 2846 и 1033 см^{-1} . Значения дифференциального сечения полос комбинационного рассеяния света молекулами метанола ($d\sigma/d\Omega$) для выбранных длин волн лазерного излучения 405, 532 и 655 нм были оценены по данным [8, 15]. Значения коэффициентов ослабления для этих частот $\alpha(\nu_0, z)$ и $\alpha(\nu_R, z)$ взяты из [16, 17]. Поперечное сечение зеркала приемного телескопа лидара было 0.12 м^2 , а шаг по расстоянию – 7,5 м.

Зависимость измеренной таким лидаром концентрации исследуемых молекул от расстояния зондирования z для времени измерения $t_d = 1$ с приведена на рис. 2 как решение уравнения (2) для концентрации молекул метанола от 10^{12} до 10^{18} см^{-3} и диапазона расстояний зондирования до 1000 м и времени измерения 1 с.

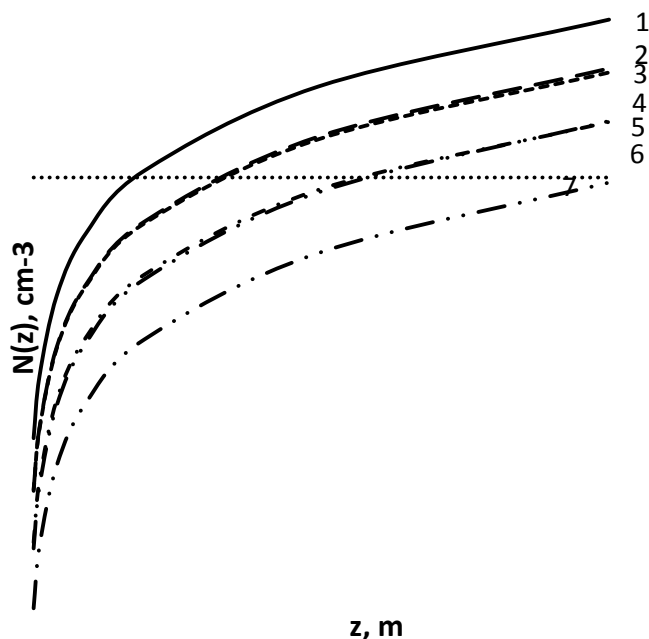


Рисунок 2 – Графики рассчитанной по уравнению (2) логарифмической зависимости концентрации $N(z)$ (в см^{-3}) от расстояния зондирования z (в м) для полос валентных СН (3, 4 и 7) и СО колебаний (1, 2 и 5) молекулы метанола для длин волн лазерного излучения 655 (1 и 3), 532 (2 и 4) и 405 (5 и 7) нм для времени измерения $t_d = 1$ с.

Прямая 6 – это уровень ПДК $= 1,9 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$

Таким образом, анализ полученных результатов показывает, что за время измерения 1 с таким лидаром комбинационного рассеяния света на длине волны лазерного излучения 405 нм можно зондировать молекулы метанола с уровнем концентрации порядка 10^{16} см^{-3} на расстоянии до 1 км

при зондировании в полосе симметричного валентного СН колебания молекулы метанола, по полосе валентного СО колебания – только до 600 м.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными [8, 15] и отражают различие в уровнях ПДК исследованных молекул углеводородов [3], а разработка новых вариантов лидаров, например [18], открывает новые возможности для дистанционного зондирования низких концентраций молекул метанола в атмосфере над промышленным предприятием.

Работа была поддержана грантами РФФИ, проект № 19-42-230004 и проект № 19-45-230009.

Список литературы:

1. Новый вид топлива сулит России большие прибыли. 17 февраля 2020. – URL: https://yandex.ru/turbo?promo=navbar&utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com&utm_campaign=dbr&text=https%3A%2F%2Fvz.ru%2Fnews%2F2020%2F2%2F17%2F1024248.html
2. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.3492-17 (с изм. на 31 мая 2018 г.). Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. – URL: <https://docs.cntd.ru>
3. Привалов, В. Е. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы / В. Е. Привалов, А. Э. Фотиади, В. Г. Шеманин. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 288 с.
4. Привалов, В. Е. О выборе источника излучения для одной из задач лазерного зондирования / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Оптика и спектроскопия. – 1997. – Т. 82, № 4. – С. 700–702.
5. Привалов, В. Е. Дистанционное лазерное зондирование углеводородов в атмосфере / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Письма в Журнал технической физики. – 2001. – Т. 27, № 21. – С. 71–75.
6. Меркурьев, С. В. Лидар комбинационного рассеяния для дистанционного зондирования серосодержащих углеводородов в атмосфере / С. В. Меркурьев, В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Письма Журнал технической физики. – 2000. – Т. 26, № 1. – С. 23–25.
7. Привалов, В. Е. Измерение концентрации молекул углеводородов лидаром комбинационного рассеяния света / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Измерительная техника. – 2016. – № 9. – С. 22–25.
8. Межерис, Р. Лазерное дистанционное зондирование / Р. Межерис. – Москва : Мир, 1987. – 550 с.
9. Свердлов, Л. М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л. М. Свердлов, М. А. Ковнер, Е. П. Крайнов. – Москва : Наука, 1970. – 560 с.
10. Ismail Hakki Boyacı. A novel method for quantification of ethanol and methanol in distilled alcoholic beverages using Raman spectroscopy / Ismail Hakki Boyacı, Hüseyin Efe Genis, Burcu Guven, Ugur Tamerb, Neslihan Alperc // J. Raman Spectrosc. – 2012. – Vol. 43. – P. 1171–1176. – DOI 10.1002/jrs.3159.
11. Привалов, В. Е. Лидарное уравнение с учетом конечной ширины линии генерации лазера / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Известия РАН. Сер.: Физическая. – 2015. – Т. 79, № 2. – С. 170–180.
12. Привалов, В. Е. Оценка погрешности лидарных измерений концентрации сероводорода в атмосфере / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Измерительная техника. – 2018. – № 4. – С. 30–33.
13. Донченко, В. А. Атмосферная электрооптика / В. А. Донченко, М. В. Кабанов, Б. В. Кауль, И. В. Самохвалов. – Томск : Изд-во НТЛ, 2010. – 220 с.

14. Долгих, Г. И. Лазеры. Лазерные системы / Г. И. Долгих, В. Е. Привалов. – Владивосток : Дальнаука, 2009. – 202 с.
15. Лазерный контроль атмосферы / под. ред. Э. Д. Хинкли. – Москва : Мир, 1979. – 416 с.
16. Привалов, В. Е. Параметры лидаров для дистанционного зондирования газовых молекул и аэрозоля в атмосфере / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин. – Санкт-Петербург : БГТУ, 2001. – 55 с.
17. Справочник по лазерам / под ред. А. М. Прохорова. – Москва : Советское Радио, 1978. – Т. I.
18. Привалов, В. Е. Зондирование молекул сероводорода лидаром комбинационного рассеяния с летающей платформы / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Оптика и спектроскопия. – 2018. – Т. 125, № 4. – С. 568–571.

Лидар дифференциального поглощения для зондирования радионуклидов йода

В. Е. Привалов¹, Э. И. Воронина², В. Г. Шеманин^{2,3}

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, *vaevpriv@yandex.ru*,

²Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского
государственного технологического университета, Новороссийск,
elhator@yandex.ru,

³Филиал Белгородского государственного технологического университета
имени В. Г. Шухова в Новороссийске, *vshemanin@mail.ru*

Для дистанционных измерений концентрации молекулярного йода в технологических газах или атмосфере в качестве индикатора их радиоактивного загрязнения предложен лидар дифференциального поглощения с двухволновым излучателем: одна длина волны лазерного излучения 532 нм попадает в центр полосы поглощения молекулы йода, а другая – вне этой полосы 1064 нм. Выполнено экспериментальное исследование зависимости оптической плотности на длине волны 532 нм от концентрации или парциального давления йода в специальной кювете, и по результатам рассчитано сечение резонансного поглощения молекул йода на длине волны 532 нм. Оно оказалось равным $\sigma_a = (4,52 \pm 0,37) \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$, что согласуется с данными других авторов.

Ключевые слова: молекулярный йод, концентрация, лидар дифференциального поглощения, лазерное излучение, оптическая плотность, сечение резонансного поглощения.

The differential absorption lidar with a two-wave laser system – one of laser radiation wavelength 532 nm into the center of the iodine molecule absorption band, and the other – outside this band at 1064 nm was proposed for remote measurements of the molecular iodine concentration in the technological gases or the atmosphere as an indicator of their radioactive contamination: The experimental study of the optical density at this 532 nm wavelength on the iodine concentration or partial pressure in a special cuvette dependence was carried out and the iodine molecules resonance absorption cross section at the 532 nm wavelength was calculated from the results. It is equal to $\sigma_a = (4.52 \pm 0.37) \cdot 10^{-18} \text{ cm}^2$ in good agreement with the data of other authors.

Keywords: molecular iodine, concentration, differential absorption lidar, laser radiation, optical density, resonance absorption cross section.

Проблема дистанционных измерений концентрации молекулярного йода в технологических газах или атмосфере связана с тем, что в районе АЭС или других радиохимических предприятий тяжелый изотоп йода $^{131}\text{I}_2$ может служить индикатором радиоактивного загрязнения [1, 2]. По сравнению со стабильным изотопом ^{127}I , из которого в основном состоит природный йод, изотоп 131 живёт примерно 8 суток. Поведение всех изотопов йода в природной среде примерно одинаково, поэтому для изучения радиоактивных изотопов йода можно использовать ^{127}I . В [1] детально рассмотрены изотопы йода и вопросы радиоактивного загрязнения, связанные с ними. Спектр поглощения йода в оптическом и инфракрасном диапазонах состоит из электронно-колебательных и вращательных переходов из основного состояния $X^1\Sigma_{0q}^+$ в состояния $A^3\Pi_u$, $B^3\Pi_{0u}^+$ и $^1\Pi_u$. Полосы, соответствующие переходу из основного состояния X в первое электронное состояние B , занимают интервал от 499 до 670 нм [3].

Для оценки концентрации молекул йода при лидарных измерениях были выполнены эксперименты для измерения сечений поглощения молекул йода. Результаты выполненных ранее исследований в [2, 4, 5] позволяют предположить, что для обнаружения концентраций молекулярного йода порядка 10^{10} см^{-3} и ниже в атмосфере наиболее предпочтительным будет использование систем дифференциального поглощения. Это объясняется тем, что сечение поглощения имеет наибольшее значение по сравнению с эффективным (с учетом тушения) сечением флуоресценции и сечением упругого рассеяния [6]. Для исследования ослабление лазерного излучения был выполнен эксперимент на второй гармонике YAG-Nd лазера [5], поскольку длина волны 532 нм попадает в полосу поглощения исследуемых молекул I_2 [2, 3]. Лидар дифференциального поглощения подразумевает использование двухволнового излучателя: одна длина волны лазерного излучения попадает в центр полосы поглощения йода, а другая – вне этой полосы [7, 8]. Лазерное излучение вне полосы поглощения йода необходимо иметь на длине волны большей 589,5 нм, соответствующей максимуму полосы флуоресценции молекул I_2 [2]. В качестве такого излучения можно использовать, например, основную гармонику YAG: Nd лазера на длине волны 1064 нм [7]. Экспериментально исследовалась зависимость оптической плотности от концентрации или парциального давления йода в специальной кювете. В лидаре дифференциального поглощения, оптическая схема которого приведена ранее на рисунок 1, излучение YAG: Nd лазера с импульсами длительностью 10 нс и энергиями 25 мДж на длине волны 532 нм 14 и 40 мДж – на длине волны 1064 нм 15 направлялось призмой 7 вдоль оси приемного телескопа 17 в специальную вакуумную кювету 9 с окнами под углом Брюстера.

Интенсивность прошедшего сквозь кювету с йодом излучения на длине волны 532 нм ослаблялось за счет поглощения в йоде [5] и рассеянное назад в атмосфере собиралось приемным телескопом 17 и фокусировалось линзой 16 через светоделитель 5 и интерференционный светофильтр 2 направлялось на фотоприемник 1.

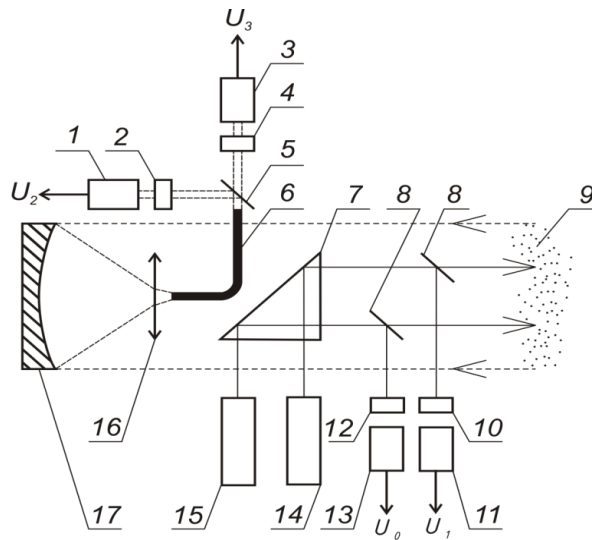


Рисунок 1 – Оптическая схема лидара дифференциального поглощения и рассеяния:
 1, 3, 11, 13 – фотоприемники; 2, 4, 10, 12 – интерференционные светофильтры;
 5 – светоделитель; 6 – световод; 7 – призма; 8 – стеклянные плоскопараллельные
 пластины; 9 – кювета; 14, 15 – лазеры; 16 – линза; 17 – сферическое зеркало

Одновременно интенсивность лазерного излучения на длине волны 1064 нм, также прошедшего сквозь кювету с йодом, измерялась через интерференционный светофильтр 4 другим фотоприемником 3 и служила в качестве опорного сигнала в дифференциальной схеме измерения. Стеклянными пластинами 8 лазерное излучение на обеих длинах волн через светофильтры 10 и 12 направлялось на два фотоприемника 11 и 13 для контроля энергии лазерных импульсов и синхронизации работы лидара. Импульсы напряжений с всех фотоприемников $U_0 \dots U_3$ вводились в измерительную систему и записывались в ПК. Выполненные калибровочные эксперименты позволили измерить коэффициента передачи фотоприемников и получить значения энергии излучения на длинах волн 1064 и 532 нм, попавшее на соответствующий фотоприемник [2]. Концентрация или парциальное давление I_2 в кювете изменялось нагреванием отростка кюветы 9 от 25 до 85 °С в термостате. Длина кюветы составляла 10 см. Относительная погрешность измерений составила не более 11 %. С точностью наших измерений результаты для расстояний зондирования от 1 до 8 м совпали [6]. График зависимости оптической плотности D от концентрации молекул йода N для расстояния 4 м приведен на рисунок 2.

Обработка этого графика позволила рассчитать сечение резонансного поглощения молекул йода на длине волны 532 нм. Оно оказалось равным $\sigma_a = (4,52 \pm 0,37) \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ в хорошем согласии с данными [6] – $4,6 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$.

Таким образом, обработка результатов измерений позволила получить сечение поглощения молекул йода на длине волны 532 нм в диапазоне концентраций от $7,42 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ до $3,24 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ в хорошем согласии с данными [6, 9]. Этот результат можно использовать при дистанционных измерениях концентраций молекулярного йода в атмосфере.

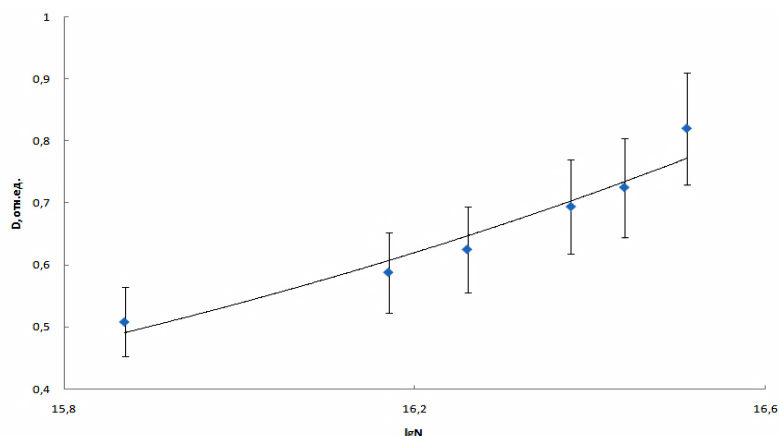


Рисунок 2 – График зависимости оптической плотности D от логарифма концентрации молекул йода N_a (в см^{-3}) для расстояния зондирования 4 м и длины кюветы 0,1 м

Работа была поддержана грантами РФФИ, проект № 19-42-230004 и проект № 19-45-230009.

Список литературы:

1. Стыро, Б. И. Изотопы йода и радиационная безопасность / Б. И. Стыро, Т. Н. Недвецкайте, В. И. Филистович. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1992. – 255 с.
2. Воронина, Э. И. Лазерные приборы контроля радиоактивного загрязнения воздуха : учеб. пособие / Э. И. Воронина, В. Е. Привалов, А. Э. Фотиади, В. Г. Шеманин. – Новороссийск : Изд-во Новорос. политехн. ин-та, 2009. – 57 с.
3. Привалов, В. Е. Расчет линий поглощения для лазеров, стабилизированных по реперам йода : препринт № 53 / В. Е. Привалов, Е. В. Голикова. – Санкт-Петербург : ИАП РАН, 1992. – 47 с.
4. Privalov, V. E. Hydrogen and iodine molecules lidar monitoring in atmosphere / V. E. Privalov, V. G. Shemanin // Proceedings of SPIE. – 2000. – Vol. 4064. – P. 2–11
5. Privalov, V. E. Lidar measurements of iodine molecule concentration / V. E. Privalov, V. G. Shemanin // Proceedings of SPIE. – 2002. – Vol. 4900. – P. 78–82.
6. Межерис, Р. Лазерное дистанционное зондирование / Р. Межерис. – Москва : Мир, 1987. – 550 с.
7. Привалов, В. Е. Об определении минимальной энергии импульса при лазерном зондировании на гармониках Nd-YAG лазера / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Оптика и спектроскопия. – 1997. – Т. 82, № 5. – С. 873–875.
8. Привалов, В. Е. Оптимизация лидара дифференциального поглощения и рассеяния для зондирования молекулярного водорода в атмосфере / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Журнал технической физики. – 1999. – Т. 69, № 8. – С. 65–68.
9. Лазерный контроль атмосферы / под ред. Э. Д. Хинкли. – Москва : Мир, 1979. – 416 с.

Геоэкологический мониторинг с использованием беспилотных летательных аппаратов

Я. О. Заикин, О. Н. Гридасов, Д. С. Кондрашов

Юго-Западный государственный университет, Курск, SFilist@gmail.com

Приведены результаты анализа существующей классической системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Предложена реализация мониторинга на

основе беспилотных летательных аппаратов и описаны основные принципы функционирования такой системы.

Ключевые слова: экология, мониторинг, БПЛА, загрязнение, атмосфера, автоматическая система, датчик.

This article provides an analysis of the existing classical system for monitoring atmospheric air pollution, proposes monitoring based on UAVs and describes the basic principles of such a system.

Keywords: ecology, monitoring, UAV, pollution, atmosphere, automatic system, sensor.

В настоящее время в Российской Федерации мониторинг атмосферного воздуха производится при помощи автоматических станций контроля загрязнения атмосферного воздуха (АСКЗА), установленных на территориях повышенного контроля, и передвижных мобильных лабораторий. АСКЗА – небольшие павильоны, в которых размещается оборудование для измерения концентраций веществ в воздухе, а также система обработки информации. Передвижная лаборатория представляет собой транспортное средство, оснащённое оборудованием для измерений. Недостатком систем мониторинга, основанных на АСКЗА и передвижных лабораториях, является отсутствие возможности определения источника загрязнения и мониторинга в чрезвычайных (экстремальных) ситуациях.

Возможное решение данной проблемы, способное реализовать эффективный и непрерывный контроль за концентрацией вредных веществ в воздухе над всей территорией химически опасных объектов и прилегающих к ним территорий, – создание системы мониторинга экстремальных ситуаций на химически опасных объектах с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Данное решение предполагает установку портативного многоканального газоанализатора на несколько автономных БПЛА. Автономность БПЛА обеспечивается бортовым комплексом интеллектуального управления движением и динамического измерения параметров атмосферного воздуха, результаты которого записываются в память параметров среды и отправляются на мобильный контрольный пункт, где осуществляется их интеллектуальный анализ в режиме реального времени.

Для управления БПЛА помимо спутниковой навигации используются ориентиры на местности. В этом случае используется корреляционно-экстремальная система навигации для беспилотного летательного аппарата в системе экологического мониторинга атмосферы воздуха мегаполиса.

Основой работы корреляционно-экстремальных навигационных систем является сравнение совокупности ориентиров (текущего изображения) с эталонным изображением, полученным ранее. То есть осуществляется сравнения информации карты поля с информацией измерителя этого же поля и отыскания экстремума корреляционной функции, т.е. максимума их совпадения, по которому определяется местоположение БПЛА относительно принятой навигационной системы координат. Разница в положении этих изображений в принятой системе координат

позволяет формировать команды для удержания объекта управления на заданной траектории. Таким образом, для решения этой задачи необходимо разработать метод формирования изображения-эталона, метод формирования текущего изображения, методы обработки текущего изображения, метод сравнения текущего изображения с эталоном [1, 2]. Здесь необходимо исследовать вопросы выбора частоты дискретизации поверхности земли, что определяет скорость поступления снимков в классификатор изображений. Корреляционно-экстремальному навигатору также необходим дополнительный набор датчиков, например, высотомер, магнитометр и т.д. Необходимо найти оптимальное сочетание между вычислительными сложностями по сопоставлению и анализу изображений и максимальному набору датчиков на борту.

Методы обработки и классификации изображений являются ядром корреляционно-экстремальной системы навигации. Первоначально предполагается использовать наиболее простую систему обработки и классификации полутоновых изображений, которые поступают от одной видеокамеры, а затем усложнять аппаратное и алгоритмическое обеспечение при неудовлетворительной работе системы в натурных экспериментах [3–6]. Полутоновые изображения преобразуются в бинарные и задача системы классификации состоит в определении объекта на изображении, который классифицируется как ориентир, а затем идентифицировать этот ориентир среди других ориентиров. Для поиска ориентира на бинарном изображении предлагается использовать метод сегментации, основанный на понятии каскадного окна [7, 8]. Каскадная модель классификации снимков осуществляет целенаправленное выделение на снимке сегментов интереса. Сегмент интереса определяется по каскадному окну на соответствующем уровне таким образом, что классификация каскадного окна верхнего уровня осуществляется на основе кодов каскадных окон нижнего уровня, для которых это окно является «материнским». Отнесение каскадного окна к сегменту осуществляется на основе классификации фрагмента снимка, попавшего в окно. Метод позволяет достичь приемлемой оперативности и точности используемыми бортовыми вычислительными средствами [7].

Перед разработкой метода необходимо определить структуру экологического мониторинга атмосферы воздуха мегаполиса, в которой определен статус беспилотных летательных аппаратов как датчиков координат источников и концентрации токсичных газов в атмосфере воздуха мегаполиса. При работе в системе экологического мониторинга БПЛА осуществляет секторное патрулирование. При секторном патрулировании БПЛА необходимо разработать траектории движения БПЛА, а также алгоритмы выхода на эти траектории. После обнаружения источника загрязнения и вычисления его координат БПЛА возвращается на режим патрулирования или на другую программу полета, в зависимости от его статуса в системе экологического мониторинга. Для выполнения такого режима полета ему необходимо выполнить соответ-

ствующее полетное задание. Таким образом, необходимо, как минимум, разработать три блока управления, которые осуществляют управление БПЛА в зависимости от полетной ситуации. Для координации работы этих блоков разрабатывается глобальный блок управления, который является бортовой интеллектуальной системы, которая в зависимости от полетной ситуации отдаст управление БПЛА одному из блоков управления. Для оптимизации структуры блоков управления проводятся соответствующие исследования, строятся соответствующие модели и разрабатываются экспериментальные программные модули.

Навигационная система БПЛА может предусматривать комбинированные методы управления с возможностью исключительно автономного полета без связи с оператором или спутниковыми системами навигации. В качестве источника информации для принятия управленческих решений служат датчики, установленные на борту БПА, видеокамера и программа управления полетом. В соответствии с полетным заданием БПА должен обнаружить источник экологического загрязнения в черте города. Для упрощения понимания сущности управления примем, что токсичным газом в атмосфере воздух является СО, а его источником – объект возгорания.

Подход к автономному управлению БПЛА состоит в следующем. Согласно исходной установке БПЛА находится в режиме патрулирования заранее установленного или установленных сегментов города. Выход на режим патрулирования осуществляется согласно полетному заданию. После выхода на этот режим патрулирования осуществляется мониторинг градиента концентрации СО. Если он превысит установленное значение, то управление передается другому программному модулю, осуществляющему перемещение БПЛА в сторону источника токсичного газа, в данном примере, СО.

На БПЛА могут устанавливаться несколько датчиков и координаты источника загрязнения атмосферы воздуха в этом случае определяются в соответствии с принятыми приоритетами. Если при мониторинге используются множество БПЛА, то выбор приоритета определяется диспетчером или соответствующей программой процедурой.

Использование систем экологического мониторинга основанных на БПЛА позволит обеспечить непрерывный контроль за экологической ситуацией в режиме реального времени путем сбора данных их анализа и демонстрацией в наглядном виде. Данные системы дадут возможность, при постоянном отслеживании уровня экологической обстановки выявить наиболее загрязнённые регионы мегаполиса и объекты предприятия.

Список литературы:

1. Автоматизированная система классификации рентгенограмм молочной железы / А. Р. Дабагов, В. А. Горбунов, С. А. Филист, И. А. Малютина, Д. С. Кондрашов // Медицинская техника. – 2019. – № 6 (318). – С. 39–41.
2. Автоматизированная система для классификации заболеваний молочной железы по рентгеновским маммографическим снимкам / А. Р. Дабагов, И. А. Малю-

тина, Д. С. Кондрашов, В. В. Серебровский, М. Т. Шехине // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2019. – № 4 (48). – С. 10–24.

3. Виртуальные потоки в гибридных решающих модулях классификации сложноструктурируемых данных / А. В. Киселев, Д. Ю. Савинов, С. А. Филист, О. В. Шаталова, В. В. Жилин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 2 (42). – С. 137–149.

4. Филист, С. А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений / С. А. Филист, О. В. Шаталова, М. А. Ефремов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2014. – № 6. – С. 35–69.

5. Нейросетевые модули с виртуальными потоками для классификации и прогнозирования функционального состояния сложных систем / А. В. Киселев, Т. В. Петрова, С. В. Дегтярев, А. Ф. Рыбочкин, С. А. Филист, О. В. Шаталова, В. Н. Мишустин // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2018. – № 4 (79). – С. 123–134.

6. Филист, С. А. Модели нечетких нейронных сетей с трехстабильным выходом в инструментарии для психологических и физиологических исследований / С. А. Филист, А. Р. С. Халед, О. В. Шаталова, В. В. Руденко // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2007. – Т. 6, № 2. – С. 475–479.

7. Филист, С. А. Метод каскадной сегментации рентгенограмм молочной железы / С. А. Филист, А. Р. Дабагов, И. А. Малютина, Д. С. Кондрашов // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – Т. 9, № 1 (30). – С. 49–61.

8. Многослойные морфологические операторы для сегментации сложноструктурируемых растровых полутоновых изображений / С. А. Филист, А. Р. Дабагов, Р. А. Темакова, И. А. Малютина, Д. С. Кондрашов // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 44–63.

Аэрозольный лидар для зондирования атмосферного пограничного слоя

Ю. В. Чербачи, В. Г. Шеманин

Филиал Белгородского государственного технологического университета имени В. Г. Шухова в Новороссийске, *ycherbachi@bk.ru*

Рассмотрены варианты построения лазерных систем контроля выбросов взвешенных частиц в атмосферу. Исследована динамика свойств атмосферного аэрозоля. На аэрозольном лидаре получены экспериментальные зависимости интенсивности рассеяния Ми в направлении назад на длине волны 532 нм в диапазоне концентраций аэрозольных частиц от 10 до 1000 см⁻³. Показано, что эта зависимость между счетной концентрацией частиц аэрозоля и коэффициентом обратного рассеяния Ми практически линейная с точностью наших измерений.

Ключевые слова: зондирование, аэрозольные потоки, оптические измерения, лидар.

This work considers the options for constructing laser systems for monitoring emissions of suspended fractions in the atmosphere and studying the dynamics of the properties of atmospheric aerosol. The experimental data on the dependence of the intensity of Mie scattering in the backward direction on aerosol fractions at a wavelength of 532 nm in

the concentration range of $10...1000 \text{ cm}^{-3}$ were carried out with an aerosol lidar. This dependence between the aerosol particles counting concentration and the backscattering coefficient Mie was obtained the practically linear with the our measuring error.

Keywords: remote sensing, aerosol flows, optical measurements, lidar.

Для исследования параметров аэрозолей существует множество приборов, но они, как правило, основаны на принципах отбора проб и не могут отражать характеристики динамических объектов исследования. Применение подобных приборов требует необходимости при каждом измерении обеспечивать репрезентативность отобранной пробы, что не может не оказывать влияния на исследуемую среду. Существующие на сегодняшний день приборы, основой которых являются бесконтактные методы измерения, имеют ограничения в их использовании. Они либо сложны в исполнении, либо являются дорогостоящими, либо не отображают изменения параметров аэрозольного облака, либо применимы лишь к конкретным типам аэрозолей [1].

Поэтому целью настоящей работы является разработка аэрозольного лидара с высоким временным разрешением для исследования динамики свойств атмосферного аэрозоля.

Для исследования аэрозольных потоков в условиях рассеяния в свободной атмосфере существуют различные системы лазерного дистанционного зондирования, реализующие рассеяние Ми на аэрозольных частицах. Эти методы измерения на сегодняшний день являются наиболее перспективными, так как применимость стандартных методов для измерения параметров аэрозольных потоков оперативно и дистанционно представляется проблематичной [2].

Создание таких лазерных систем для решения таких исследовательских задач привело к появлению нового класса автоматизированных лазерных измерительных комплексов, обладающих уникальными свойствами и делающих такие системы незаменимыми в ряде научных и практических применений.

Наиболее правильный выбор эффективного метода дистанционного измерения параметров аэрозольного потока для конкретной экспериментальной задачи делает такие экспериментальные исследования актуальными. Для этого также необходимы тщательные исследования самих методов регистрации сигналов рассеяния для получения максимального полезного сигнала, определяющего измеряемый параметр аэрозольного потока. Широкое распространение получили разнообразные оптические и лазерные методы и системы.

Существует два варианта построения таких лазерных систем контроля выбросов взвешенных частиц в атмосферу. Первый вариант предусматривает зондирование определённой области пространства с целью обнаружения и контроля выбросов в исследуемой области. В качестве такого варианта систем используются лидарные системы [3–6]. Второй вариант

систем предусматривает зондирование непосредственно на срезе источника, что позволяет предупреждать выбросы взвешенных частиц.

Исходя из описания систем контроля выбросов в [7], можно сформулировать основные принципы построения системы контроля аэрозольного загрязнения атмосферного пограничного слоя. Первоочередной задачей является определение зависимости измеряемых лазерной системой оптических параметров от микрофизических характеристик исследуемой среды (дисперсный состав, счетная и массовая концентрации и т.д.). Контроль счетной концентрации и дисперсного состава взвешенных частиц в составе выбросов в атмосферный воздух необходимо осуществлять в реальном времени. Рассмотрим вариант таких лидарных измерений.

Исследование зависимости сигнала рассеяния M_i от счетной концентрации частиц аэрозоля было выполнено на лабораторном аэрозольном лидаре, оптическая схема которого приведена на рисунок 1. В экспериментах использовалась вторая гармоника АИГ – Nd лазера 7 с длиной волны 532 нм и энергией до 15 мДж в импульсе длительностью 10 нс. Лазерное излучение интерференционным светоделителем 6 и глухим зеркалом 3 направлялось вдоль оси приемного телескопа с главным сферическим зеркалом 1 диаметром 0,4 м. Для контроля энергии лазерного импульса часть излучения светоделителем 6 направлялась на фотоприемник 4 через стеклянный светофильтр 5.

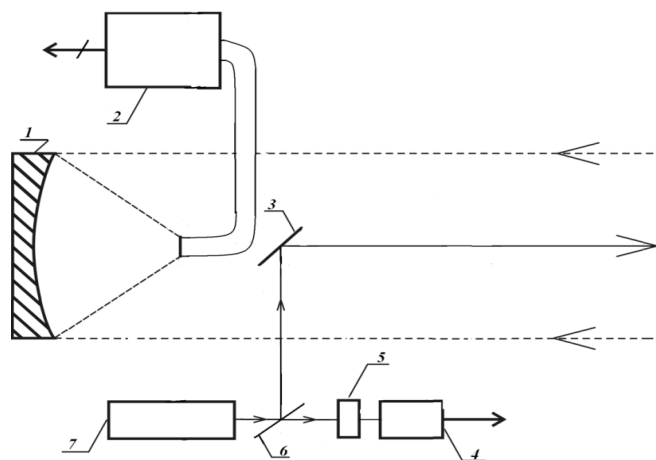


Рисунок 1 – Оптическая схема аэрозольного лидара:

1 – сферическое зеркало; 2, 4 – фотоприемники; 3 – глухое зеркало;
5 – стеклянный светофильтр СЗС-22; 6 – светоделитель; 7 – лазер

Рассеянное аэрозолем излучение на той же длине волны собиралось назад сферическим зеркалом 1 и через волоконный световод направлялось на фотоприемник 2. В работе использовался универсальный контроллер для ввода импульсных сигналов с фотоприемников в ПК для регистрации и обработки импульсных сигналов аэрозольного лидара [7]. Синхронизация работы контроллера производилась лазерным импульсом и собственным генератором с тактовой частотой 20 МГц, что позволило получить пространственное разрешение 7.5 м

вдоль трассы зондирования. На первом этапе калибровочная константа определялась экспериментально путем измерения параметров лазерного импульса, отраженного от плоской мишени из молочного стекла МС-22, коэффициент диффузного отражения которого равен 0,5 [8], на лабораторной трассе длиной 8 м. Было получено, что калибровочная константа равна 9277 м²/Кл. Статистическая обработка серии измерений показала, что относительная погрешность равна 16 %.

Экспериментальные исследования зависимости интенсивности рассеяния Ми в направлении назад на аэрозольных частицах на длине волны 532 нм в диапазоне концентраций 10 ... 1000 см⁻³ были проведены на этом аэрозольном лидаре. Рассеянное назад излучение собиралось приемным телескопом с зеркалом 0.4 м и регистрировалось ФЭУ-79, сигнал с которого выводился на осциллограф с ПК. Спектроанализатором служил интерференционный светофильтр на 532 нм с пропусканием в максимуме 64 % и полушириной 2,4 нм. Воздушный поток частиц цементного аэрозоля создавался генератором частиц и непрерывно контролировался [1]. Результаты измерений приведены на рисунок 2.

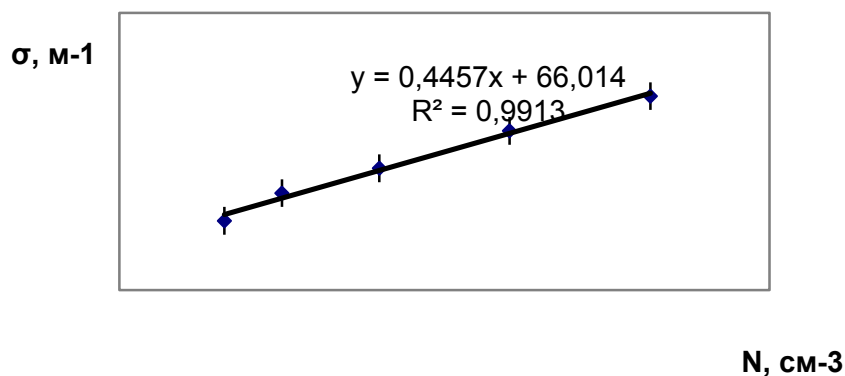


Рисунок 2 – График зависимости коэффициент рассеяния Ми в направлении назад на частицах на длине волны лазерного излучения 532 нм

Для проверки этих данных были выполнены расчеты по уравнению лазерного зондирования для упругого рассеяния на аэрозольных частицах типа [9, 10], которое для условий нашего эксперимента запишем в виде

$$P(\lambda, R) = P_L K_1 \Delta R A_0 T(\lambda_L, R) \left(\frac{d\sigma}{dN} \right) N / R^2 \quad (1)$$

где $P(\lambda, R)$ – мощность сигнала рассеяния Ми на фотоприемнике на длине волны λ , проходящего с расстояния R , P_L – мощность лазера и λ_L – его длина волны, K_1 – лидарная константа, $\Delta R = c\tau_d/2$ – шаг по расстоянию, c – скорость света, а τ_d – время одного измерения. Его минимальное значение определяется длительностью лазерного импульса. A_0 – площадь приемного телескопа, $T(\lambda_L, R)$ – пропускание атмосферы на длине волны лазерного излучения, $(d\sigma/dN)$ – сечение рассеяния Ми на единицу концентрации частиц на длине волны лазера, N – концентрация частиц.

Для конкретного случая нашего лидара выделим в постоянной K_1 сомножитель $\xi_p(\lambda)$, зависящий от спектральной чувствительности фотокатода ФЭУ-79 в виде $K_1 = K_2 \xi_p(\lambda)$. Остальные сомножители в этом уравнении имеют следующие значения: $\Delta R = 7.5$ м для времени измерения $t_d = 50$ нс, а длительность лазерного импульса $\tau_L = 10$ нс, $A_2 = 0,008 \text{ м}^2$, лидарная константа $K_2 = 0,495$ для длины волны 532 нм, энергии лазерного импульса $E_0 = 10$ и 50 мДж, расстояние зондирования $R = 7.5, 15, 75, 150, 500$ и 1000 м, концентрации исследуемых частиц $10\text{--}1000 \text{ см}^{-3}$, значения спектральной чувствительности фотокатода ФЭУ-79 на длине волны 532 нм и равно 0.92, пропускание атмосферы рассчитывалось по формуле

$$T(\lambda, R) = \exp\left[-2 \int_0^R k(\lambda) dR\right] \quad (2)$$

по значению коэффициента ослабления $k(\lambda)$, для интересующей нас длины волны 532 нм равной 0.16 км^{-1} . Геометрическая функция была выбрана равной единице.

Используя эти данные, были выполнены численные расчеты по уравнению (1) мощности рассеяния Ми в направлении назад для двух значений энергий лазерных импульсов в диапазоне расстояний зондирования от 7.5 до 1000 м, из которых и были получены коэффициенты рассеяния Ми под углом 180 град для исследуемых аэрозольных частиц. Результаты расчетов для реального цементного аэрозоля приведены на рисунок 3.

Из графиков рисунка 3 следует, что увеличение энергии лазерного излучения ведет в пропорциональному увеличению мощности рассеяния без изменения спектральной зависимости сомножителей, входящих в уравнение лазерного зондирования. С увеличением расстояния сигнал рассеяния уменьшается на два порядка уже на первых 100 м и еще на три на следующем километре.

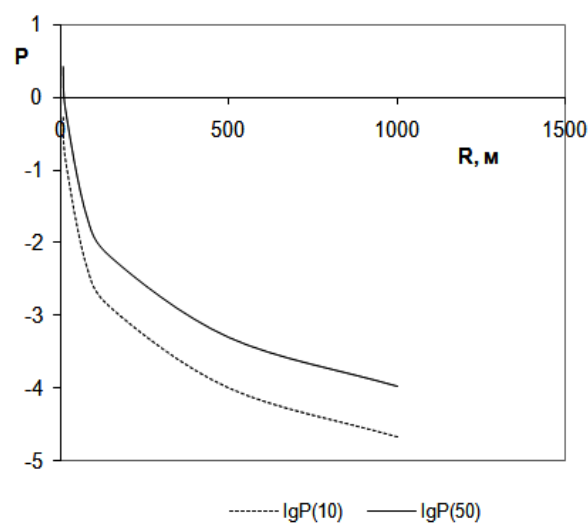


Рисунок 3 – График логарифмической зависимости рассчитанной мощности рассеяния Ми в направлении назад для частиц аэрозоля, двух значений энергий лазерных импульсов 50 и 10 мДж в диапазоне расстояний зондирования до 1 км

Обработка этих результатов позволила определить по известной константе лидара сечение рассеяния M_i на единицу концентрации равное $(3.2 \pm 0.5) \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-4}$ [11]. Причем получено, что сигнал обратного рассеяния линейно возрастает со счетной концентрацией частиц. Используя значение мощности P из графика рисунок 3, для нашей экспериментальной задачи была рассчитана концентрационная зависимости коэффициента рассеяния M_i и определено значение сечение рассеяния M_i на единицу концентрации – $(2.1 \pm 0.6) \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-4}$ в удовлетворительном согласии с экспериментальным значением.

Таким образом, для такого аэрозольного лидара получена линейная зависимость между счетной концентрацией частиц цементного аэрозоля и коэффициентом обратного рассеяния M_i , по которой было измерено сечение рассеяния M_i на единицу концентрации частиц цементного аэрозоля в воздушном потоке.

Список литературы:

1. Половченко, С. В. Восстановление функции распределения частиц по размерам на основе данных многоволнового лазерного зондирования / С. В. Половченко, В. Е. Привалов, П. В. Чартий, В. Г. Шеманин // Оптический журнал. – 2016. – Т. 83, № 5 – С. 43–49.
2. Шацкова, Ю. В. Использование лазеров для дистанционного мониторинга экстремальных природных явлений в районе морских нефтяных терминалов / Ю. В. Шацкова, В. А. Туркин // Транспортное дело России. – 2011. – № 8. – С. 71–75.
3. Пат. 101836 Российская Федерация, G01N21/61. Лидарная система контроля качества атмосферного воздуха / Аблязов Э. К., Шеманин В. Г. ; заявл. 30.08.2010, 2011, Бюл. № 3.
4. Пат. 113846 Российская Федерация, G01N 21/00. Лидарная система контроля загрязнения воздуха / Привалов В. Е. ; заявл. 27.02.2012.
5. Пат. 2022251 Российская Федерация, G01N 21/61. Лидарный комплекс контроля загрязнения воздуха / Козырев А. В., Шаргородский В. Д. ; заявл. 30.10.1994.
6. Пат. 43657 Российская Федерация, G01S 17/00. Мобильный лидарный комплекс для дистанционного контроля состояния атмосферы / Борейшо А. С., Мошков В. Л., Тарасова Т. Е., Первеев А. В., Фролов-Багреев Л. Ю. ; заявл. 27.01.2005.
7. Воронина, Э. И. Система управления лидарной станцией мониторинга загрязнений атмосферы промышленного района / Э. И. Воронина, Д. Ю. Сапожников, В. Г. Шеманин // Безопасность жизнедеятельности. – 2003. – № 9. – С. 34–37.
8. Справочник конструктора оптико-механических приборов / под ред. М. Я. Кругера. – Ленинград : Машиностроение, 1967. – 760 с.
9. Лазерное зондирование промышленных аэрозолей / В. Е. Зуев, Б. В. Кауль, И. В. Самохвалов, К. И. Кирков, В. И. Цанев. – Новосибирск : Наука, 1986. – 186 с.
10. Межерис, Р. Лазерное дистанционное зондирование / Р. Межерис. – Москва : Мир, 1987. – 550 с.
11. Shemanin, V. G. Air quality controlling in atmosphere under industrial area / V. G. Shemanin // Proc. First International Environmental Technology Business Action Conference. – Moscow, 1994. – P. 84.

Лазерно-интерферометрическая антенна для сверхширокополосного мониторинга сейсмо-деформационных полей

М. Н. Дубров, Д. В. Александров, В. В. Кравцов

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
имени В. А. Котельникова РАН, Фрязино, *mnd139@ire216.msk.su*

Представлены результаты разработки и применения системы лазерных интерферометров с пространственно разнесенными плечами для регистрации сверхнизкочастотных, сейсмических и акустических деформаций Земли. Использованы интерферометры длиной от 1 м до 300 м, обладающие субнанометровой точностью. Показано, что расстояние между элементами лазерно-интерферометрической антенны – от сотен метров до нескольких тысяч километров, может быть использовано при изучении соответственно региональных и глобальных процессов.

Ключевые слова: лазерный интерферометр, сейсмическая антенна, деформация Земли, волновые явления.

The results of the design and application of laser interferometer array for recording ultra-low frequency, seismic and acoustic strains of the earth are presented. Interferometer gauges with the length from 1 m up to 300 m and sub-nanometer accuracy have been used. The distances between units of antenna array are near one hundred meters and up to a few thousand kilometers under studies of regional and global processes respectively.

Keywords: laser interferometer, seismic array, Earth strain, wave phenomena.

Современные исследования природы и динамики сейсмо-деформационных геофизических волновых полей становятся весьма плодотворными при использовании пространственно разнесенных измерительных инструментов. Как было показано ранее [1, 2], комплексное применение многокомпонентных лазерных интерферометров, расположенных на значительных расстояниях друг от друга, в качестве датчиков деформаций геофизической среды позволяет существенно повысить точность определения пространственно-временных характеристик, а также оценивать динамические параметры сейсмо-деформационных геофизических полей. Эта оригинальная методика геофизического мониторинга открывает новые возможности в изучении связей регистрируемых полей с нестационарными, в том числе глобальными процессами в атмосфере, гидросфере и ионосфере Земли [3, 4].

Колебательные возмущения, которые возбуждаются источником любой физической природы в сплошной механической среде, могут быть представлены как некоторая суперпозиция относительных пространственных смещений частиц среды. Эти смещения вызывают изменения давления или деформации среды в зависимости от ее механических и физических свойств.

Простейшая задача детектирования акустической волны в жидкой или газовой среде обычно решается путем измерения временных изменений давления $dp(t)$ в некоторой точке x внутри этой среды. В трех-

мерном случае пространственно-временное распределение поля скалярного давления является функцией четырех переменных. Уравнение движения такой среды выражается через вектор скорости (временные производные) пространственных смещений частиц, который пропорционален градиенту (т.е. пространственным первым производным) скалярного давления **grad** $p(x, y, z; t)$.

Другая ситуация возникает при исследовании пространственно-временной микроструктуры волнового поля в упругой сплошной среде. Основное уравнение движения такой среды имеет вид:

$$\rho \partial^2 \xi_k / \partial t^2 = \kappa \partial^2 \xi_m / \partial x_k \partial x_m + q \partial^2 \xi_k / \partial x_1^2 \quad (1)$$

Левая часть этого уравнения включает временные производные вектора смещения частиц ξ_k , а правая представляет комбинации вторых производных пространственных смещений в некоторой заданной плоскости $x_1 = 0$; κ и q – комбинации констант Ламе, которые определяют свойства упругой среды, ρ – ее плотность.

Этот вид движения среды обычно регистрируется трехкомпонентными акселерометрами, которые измеряют каждую составляющую вектора ускорения в левой части уравнения (1). Один трехкомпонентный акселерометр помимо интенсивности волны способен определять направление на источник колебаний. Локализация источника обеспечивается за счет использования продольной и поперечной составляющих упругих волн (так называемых первичных и вторичных сейсмических волн). Видно, что объем информации здесь увеличен по сравнению с вышеупомянутым акустическим методом определения параметров волнового поля.

Мы выполняем следующий шаг в повышении эффективности регистрации и определения параметров упругих волн в сплошной среде. Метод основан на применении точных лазерных интерферометров для измерения напряжений среды в распределении исследуемого волнового поля. При этом определяются значения в правой части уравнения (1), которые фактически относятся к тензору деформации тестируемой среды. Это распределение, в общем случае, описывается тензором, имеющим 6 независимых компонент:

$$L_{km}, k, m = 1, 2, 3.$$

Тем самым значительно увеличивается количество регистрируемых параметров и соответственно – уравнений для их точного вычисления.

И, наконец, в качестве третьего шага мы применяем многокомпонентную лазерную тензометрическую антенну, состоящую из системы пространственно разнесенных лазерных интерферометров [1], что позволяет наиболее полно реализовать преимущества разрабатываемого метода высокоточного геофизического мониторинга.

Метод состоит в измерении небольших приращений длины базиса каждого из пространственных датчиков деформации L_k :

$$dL_k = \xi_k(\mathbf{x}_a) - \xi_k(\mathbf{x}_b), k = 1, 2, 3, \quad (2)$$

где $\mathbf{x}_a$ и $\mathbf{x}_b$ – радиус-векторы начальной и конечной точек плеч лазерного интерферометра. При этом относительная величина приращения соответствует пространственной производной:

$$\partial \xi_k / \partial x_k = dL_k / L_k, \quad (3)$$

если $L_k = |\mathbf{x}_a - \mathbf{x}_b| \rightarrow 0$. Это условие выполняется, когда длина измерительного базиса L_k каждого тензометра намного меньше, чем длина волны Λ сейсмического возмущения $L_k \ll \Lambda$. Для произвольной связи между Λ и L_k найдена азимутальная диаграмма направленности датчика деформации [1]. При наличии нескольких компонент пространственно распределенного тензометра, можно определить как интенсивность волновых колебаний, так и пространственные характеристики поля: направление на источник сигнала, его локализацию и движение.

Показана схема созданной экспериментальной лазерно-интерферометрической антенны. Установка состоит из N пространственно распределенных датчиков деформации. Каждый из них представляет собой многокомпонентный лазерный интерферометр с горизонтальными и вертикальным измерительными плечами. Каждый лазерный датчик измеряет (k, m) компонент тензора сейсмо-деформационного поля. Таким способом мы получаем $(k, m) \cdot N$ амплитуд тензора деформаций $dL_{(k, m) n}$, где $(k, m) = 1, 2, \dots, 6$, $n = 2, 3, \dots, N$. Применяемая методика предусматривает также измерение разности фаз между сигналами, регистрируемыми каждым датчиком – элементом лазерно-интерферометрической антенны:

$$d\Phi_{kn}, k = 1, 2, 3; n = 2, 3, \dots, N-1.$$

Результаты измерения с отдельных датчиков поступают на процессорный блок, осуществляющий вычисления в соответствии с (1) – (3) с использованием стандартных и специально разработанных программ. Для получения амплитуд волн, азимутального и (в трехмерном случае) полярного углов, которые определяют направление на источник, используются методы расчета [1]. Если процессор работает постоянно, динамическая полярно-азимутальная диаграмма может отображаться в режиме реального времени. В описываемых экспериментах число параллельно работающих лазерно-интерферометрических датчиков составляло $N = 2, 3$ или 4 , число измеряемых компонент тензора деформаций L_{km} изменялось от одной до четырех. Представлена конструкция и описана работа составляющих блоков лазерных интерферометров, системы сбора данных и предварительные результаты их использования для наблюдения реальных деформаций Земли в уникально широких – сверхнизкочастотном, сейсмическом и акустическом диапазонах частот.

Используются два типа лазерных датчиков. Первый – это неравноплечий интерферометр Майкельсона, длина измерительной базы 1–100 м. Второй тип тензометрических датчиков представляет собой гетеродинный интерферометр с оптической обратной связью, длина измерительной базы от 5 м до 300 м. Исследованы условия достижения рекордных точностей лазерно-интерферометрических инструментов, в

том числе с учетом влияния оптического обратного рассеяния на работу высокостабильных лазеров [5]. Для указанных длин интерферометров достигнута абсолютная инструментальная точность измерения порядка $10(-2) - 10(-3)$ нанометра. Отдельные элементы лазерно-интерферометрической антенны устанавливаются на поверхности земли или в подземных помещениях и расположены на расстоянии от 10 м до 140 км друг от друга для исследования региональных процессов и явлений необычного распространения волн [4]. Разнесение элементов антенны достигает нескольких тысяч километров при изучении глобальных геофизических процессов [6].

Список литературы:

1. Дубров, М. Н. Разработка и исследование многокомпонентных геофизических лазерных интерферометров-деформографов / М. Н. Дубров, Р. Ф. Матвеев // Радиотехника и электроника. – 1998. – Т. 43, № 9. – С. 1147–1152.
2. Application of laser strainmeters to the study of earthquake physics / G. I. Dolgikh, M. N. Dubrov, S. G. Dolgikh, S. N. Kovalev, V. V. Ovcharenko, E. A. Savvin, V. A. Chupin, V. A. Shvets, S. V. Yakovenko // Acta Geophys. – 2006. – Vol. 54, № 2. – P. 187–197.
3. Dubrov, M. N. Laser interferometer antenna array records seismo-acoustic earth strains / M. N. Dubrov, D. V. Aleksandrov // ICATT–2007 6th International Conference on Antenna Theory and Techniques. – Sevastopol : IEEE, 2007. – P. 307–308. – DOI 10.1109/ICATT.2007.4425194.
4. Николаев, А. В. Новые возможности совместной обработки данных регистрации смещений и деформаций в поле сейсмической волны / А. В. Николаев, А. В. Луканенков, М. Н. Дубров // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 430, № 6. – С. 816–819.
5. Шатров, А. Д. Исследование электродинамической системы, состоящей из лазерного резонатора и внешнего слабо отражающего элемента / А. Д. Шатров, М. Н. Дубров, Д. В. Александров // Квантовая электроника. – 2016. – Т. 46, № 12. – С. 1159–1162.
6. Сейсмо-деформационный и акустический мониторинг геодинамических процессов высокочувствительными пространственно разнесенными приборами в сейсмоэнергоактивной и асейсмической зонах / Д. В. Александров, М. Н. Дубров, И. А. Ларионов, Ю. В. Марапулец, Б. М. Шевцов // Вулканология и сейсмология. – 2019. – Вып. 3. – С. 72–80.

Особенности траекторий поверхностных дрейфтеров ARGOS при переносе из Северной Атлантики в Арктику

В. А. Мельников^{1,2}, О. П. Никитин^{1,2}

¹Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, vmelnikov@ocean.ru

²Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова, Росгидромет, Москва, opnikitin@mail.ru

Показана востребованность измерений с использованием поверхностных дрейфующих буйков-дрейфтеров в фундаментальных и прикладных геофизических задачах. Проведен анализ дрейфтерной базы данных, показавший, что запущенные

в море Ирмингера дрейфтеры обнаруживаются не только в Баренцевом, но и в Карском море. Отмечено, что дрейфтеры в рамках GDP могут быть предоставлены бесплатно при условии запуска этих дрейфтеров силами судовладельца. В качестве индикатора потери подводного паруса дрейфтера использованы изменения спектрального состава и вэйвлет плотности флуктуаций траекторий при потере паруса.

Ключевые слова: дрейфтер Argos, морские течения, Северная Атлантика, арктические моря, валидация.

Measurements using surface drifting buoys-drifters are in demand in fundamental and applied geophysical problems. Analysis of the drifter database shows that drifters launched in the Irminger Sea are found not only in the Barents Sea, but in the Kara Sea, as well. Drifters under GDP can be provided free of charge, provided that these drifters are launched by the Ship Owner. As an indicator of the loss of a drifter's underwater sail, changes in the spectral composition and wavelet density of fluctuations of trajectories are used when the sail is lost.

Keywords: Argos drifter, sea currents, North Atlantic, arctic seas, validation.

Пройдя многолетний путь технического развития, начиная с простой «бутылочной» почты, метод измерения морских течений при помощи свободно дрейфующих буйков в наше время очень востребован. Дрейфующие буйки принято называть дрейфтерами. Дрейфтеры бывают двух видов: на поверхности моря – Argos (от слов Argo surface), и «ныряющие» буйки Argo, которые перемещаются под действием глубинных течений и сканируют в автоматическом режиме верхний двухкилометровый слой океана. Соответственно, поверхностные дрейфтеры (в количестве 1537 единиц на 27 июля 2020) управляются в рамках Глобальной дрейфтерной программы GDP (Global Drifter Program) под руководством AOML (NOAA's Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory) и Scripps University, а сканирующие дрейфтеры Argo (в количестве 3892 ед. на июнь 2020 г.) – в программе ARGO, усилиями консорциума из 36 стран при технической координации JCOMMOPS. Эти программы являются составной частью программы GOOS (Global Ocean Observation System) [1].

Одновременно с определением траектории дрейфтера по координатам GPS, часто проводятся попутные измерения температуры воздуха и воды, атмосферного давления и др. Данные по программе GDP находятся в открытом доступе в интернете. Обстоятельное описание истории развития дрейфтеров, знаменитые дрейфтерные проекты, а также примеры использования дрейфтерных данных приводятся в [2]. Следует упомянуть грандиозный проект LASER (The Lagrangian Submesoscale Experiment), инициированный в 2016 г., после разлива нефти в Мексиканском заливе, а также поиск места крушения авиалайнера, упавшего 1 июня 2009 года в Атлантический океан, в 650 км от побережья Бразилии. Измерения траекторий и попутные измерения представляют большую ценность при анализе гидрофизических процессов в океане в совокупности с другими контактными и дистанционными методами измерений. В частности, одним из современных масштабных проектов является OSNAP (Overturning in the Subpolar North Atlantic Program),

в котором изучается т.н. АМОС (Atlantic Meridional Overturning Circulation). В фокусе внимания океанологов процессы переноса тепла из акваторий Северной Атлантики (Субарктический круговорот) в бореальную полярную область и Северный ледовитый океан. Анализ дрейфтерной базы данных [3] показывает, что запущенные в море Ирмингера дрейфтеры обнаруживаются не только в Баренцевом, но и в Карском море.

Как следует из работ [1, 3], в силу ряда обстоятельств, РФ не принимает участие в дрейфтерных программах. Это тем более печально потому, что дрейфтеры в рамках GDP предоставлялись и впредь могут быть предоставлены бесплатно, при условии запуска этих дрейфтеров силами Судовладельца [1].

При обработке обширного массива траекторий дрейфтеров часто возникают вопросы о надёжности данных. Во время дрейфа подводный парус нередко отрывается (у свыше 50 % дрейфтеров). Для определения момента потери паруса, следуя некоторым предыдущим техническим разработкам [4], в настоящей работе анализируются траектории с учётом корреляций с изменениями ветра, а также рассматриваются изменения спектрального состава и вэйвлет плотности флуктуаций траекторий в качестве индикатора потери паруса.

Работа выполнена в рамках гос. задания Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН. Тема № 0149-2019-0004. и гос. темы Росгидромета «Исследование изменчивости и особенностей поверхностных течений и температуры воды в Баренцевом и Карском морях».

Список литературы:

1. Никитин, О. П. Международные программы глобальных океанографических наблюдений и участие в них России / О. П. Никитин // Океанологические исследования. – 2017. – Т. 45, № 1. – С. 70–89.
2. Lumpkin, R. Advances in the Application of Surface Drifters / R. Lumpkin, T. Özgökmen, L. Centurioni // Annual Review of Marine Science. – 2017. – Vol. 9, № 1. – P. 59–81.
3. Никитин, О. П. О дрейфтерных наблюдениях за течениями и температурой в Баренцевом и Карском морях / О. П. Никитин, С. Ю. Касьянов // Труды Государственного института. – 2016. – № 217. – С. 171–183.
4. Haza, A. C. Drogue-Loss Detection for Surface Drifters during the Lagrangian Submesoscale Experiment (LASER) / A. C. Haza et al. // J. Atmospheric And Oceanic Technology. – 2018. – Vol. 35, № 4. – P. 705–725.

СЕКЦИЯ Д-5 – ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Комплексная система управления работой электрофильтра

*С. Е. Баранов, Н. К. Веремьев, К. Н. Веремьев,
Р. Н. Веремьев, В. И. Сикорский*

НПФ «АВТЭК», Новороссийск, vnk@avtec.ru

Показано, что для оптимизации работы электрофильтра необходимо настраивать работу систем управления агрегатами питания электрофильтров по полям. Отмечено, что в настройках данных систем нужно изменять скорость нарастания угла регулирования, глубину отработки после искрового пробоя и величину длительности гашения после пробоя. Предложен алгоритм управления электрофильтром, позволяющий достичь оптимальных параметров работы.

Ключевые слова: электрофильтр, агрегаты питания, управление, скорость нарастания, угол регулирования, глубина отработки после искрового пробоя.

It is necessary to optimize the operation of the electrofilter by the adjustment of the control systems operation of the electrofilter power supply units by electrical fields. In the settings of the electrofilter power units control systems, you need to change the rate of increase in the control angle, the depth of development after a spark breakdown and the duration of suppression after breakdown. The electrofilter control algorithm proposed by the authors allows to achieve its optimal operating parameters.

Keywords: electrofilter, power supply, control units, growth rate, control angle, depth of development after spark breakdown.

Очистка пылегазовых потоков, отходящих от технологического оборудования в различных отраслях промышленности, приобретает всё большую актуальность в связи с интенсификацией производственных процессов.

Существуют различные аппараты, используемые для очистки отходящих пылегазовых смесей. Однако наиболее эффективным и универсальным стал электрофильтр. Фактически нет ни одной отрасли, где бы электрофильтры не показали своих преимуществ.

Пылегазовый поток, отходящий от технологического аппарата, представляет собой многокомпонентную среду, в которой во взвешенном состоянии находятся различные по форме и размерам частицы твердого вещества (или капли жидкости). Этот пылегазовый поток в различных типах производств имеет различные параметры. Кроме того на одном и том же переделе, параметры пылегазового потока могут достаточно радикально изменять свои параметры по геометрическим размерам частиц, по концентрации и физико-химическим свойствам (в частности удельным электрическим сопротивлением). Поэтому параметры подаваемого напряжения на электроды фильтра, должны кардинально изменяться в зависимости от физико-химических свойств, поступающих на очистку аэрозольных потоков. Кроме того регенерация электродов фильтра (очистка) также должна адаптироваться по количе-

ство осевшей пыли на электродах фильтра и изменять временные интервалы регенерации [2].

При нормальной работе электрофильтра, автоматически устанавливают величину рабочего угла, в следующий после пробоя полупериод, при котором обеспечивается восстановление напряжения на электрофильтре, в течение одного полупериода, до величины ниже уровня напряжения пробоя, согласно следующего выражения

$$\varphi_{\text{вк}} = \varphi_p * \left[1 - \frac{U_{\text{min}} - U_{\text{вос}}}{U_{\text{min}}} * \left(1 - \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{max}}} \right) \right]$$

где φ_p – величина рабочего угла регулирования до пробоя между электродного пространства; $U_{\text{вос}}$ – напряжение на электродах фильтра после завершения пробоя между электродного пространства.

На некоторых производствах возникают условия, при которых происходит не полное сгорание топлива. При этом образуется большое содержание газа СО. Это создаёт условия, при которых в межэлектродном промежутке возникает явление стабилизации напряжения, независимо от протекающего тока в камере фильтра. Разряд в межэлектродном пространстве переходит в тлеющий, что приводит к изменению вольт-амперной характеристики. При этом крутизна вольт-амперной характеристики увеличивается, что приводит к уменьшению коэффициента пульсаций напряжения на электродах фильтра

$$K_{\Pi} = \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{max}}} < 0.05,$$

где U_{min} и U_{max} – минимальное и максимальное значение напряжения на электродах фильтра до пробоя между электродного пространства;

Когда возникает условие, описанное выше, система автоматического регулирования должна переходить на режим включения угла восстановления напряжения после пробоя межэлектродного пространства согласно следующего выражения

$$\varphi_{\text{вк}} = \varphi_p * K \varphi_{\text{вк}} = \varphi_p * K,$$

а величина K подстраивается в каждом конкретном случае.

Для оптимизации работы электрофильтра необходимо настраивать работу систем управления агрегатами питания электрофильтров – по полям. При этом использовать последующее поле фильтра как датчик запыленности и настраивать параметры предыдущего поля фильтра. И так выполнять последовательно со всеми полями фильтра. В настройках систем управления агрегатами питания электрофильтра нужно изменять – скорость нарастания угла регулирования, глубину отработки после искрового пробоя, величину длительности гашения после пробоя. Данную процедуру повторять периодически.

Регенерацию электродов фильтра производить по временным характеристикам. После первого цикла регенерации, производится фиксирования величин среднего напряжения на электродах фильтра и среднего тока – непосредственно перед регенерацией. После этого при

достижении данных параметров, независимо от окончания временного интервала, производится регенерация электродов фильтра.

При таком алгоритме управления электрофильтром достигается его оптимальные параметры работы [5].

Список литературы:

1. Авторское свидетельство SU № 355606, от 30.09.72.
2. Авторское свидетельство SU № 1798004, от 28.04.93.
3. Пат. 2147468 Российская Федерация от 16.10.1998.
4. Пат. 2147469 Российская Федерация от 20.04.2000.
5. Пат. 2660157 Российская Федерация от 17.04. 2017.

Человеческий фактор и его влияние на безопасность эксплуатации плавучей регазификационной установки

Д. А. Давыдов, В. А. Туркин

Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск, turvla@mail.ru

Представлен анализ статистических данных аварий, произошедших на судах. Рассмотрена роль человеческого фактора в ситуациях, приведших к авариям и факторам, усугубившим последствия этих аварий.

Ключевые слова: человеческий фактор, аварии на судне, плавучая регазификационная установка, плавучая регазификационная установка.

An analysis of statistical data on incidents that occurred onboard the ships provided. Role of the human factor in situations leading to accidents and factors that aggravate the consequences of these accidents assessed.

Keywords: human factor, incidents onboard the ships, floating storage and regasification unit, FSRU.

В условиях эксплуатации плавучей регазификационной установки (ПРГУ), немаловажным аспектом является человеческий фактор. Специфика выполняемых работ и несения вахт на протяжении контракта, может проявляться в ряде факторов, оказывающих неблагоприятный эффект на психофизиологические способности члена экипажа. Также эксплуатация плавучей регазификационной установки и судна, связана с знанием и соблюдением инструкций и правил, разработанных для каждого элемента и системы в целом. Этот уровень эксплуатации является минимальным и обязательным для всех [1].

Анализ собранной статистической информации, а также отчётов показал, что человеческий фактор в ряде случаев является причиной или фактором эскалации аварии. Преобладающими причинами проявления человеческого фактора были халатность или небрежность.

Под «человеческим фактором» понимается действие или бездействие человека, приводящее к происшествию. Это подчеркивает необходимость адекватных знаний и подготовки судовой команды, связан-

ных с конкретной рабочей деятельностью и сопутствующими ей рисками. Из числа 4104 аварий проанализированных во время проведения исследований с 2011 по 2018 годы, 65,8 % относились к категории человеческих действий и 20 % к отказам оборудования и судовых систем.

Основными факторами, приводящими к аварии или усугубляющими её последствия, являются: небезопасное выполнение работы (130 случаев), за которым следуют неответствующие требованиям безопасности методы работы (126 случаев), плохое планирование и контроль работы (106 случаев) [2].

Подводя итог можно сделать некоторые выводы:

1) Члены экипажа должны адекватно планировать выполнение работы, включая соответствующие меры предосторожности. Это подчеркивает важность эффективной оценки рисков.

2) Персоналу следует избегать «коротких путей» в безопасности при выполнении работы. Член экипажа не должен подвергать себя опасности, чтобы завершить работу как можно раньше, экономя время.

3) Плохая организация работы подчеркивает необходимость эффективного планирования и выполнения судовых операций.

4) После выполнения работы, следует проводить адекватную рефлексию методов, процедур и оценки её рисков, опираясь на полученный опыт.

Список литературы:

1. European Maritime Safety Agency. Annual overview of marine casualties and incidents. – 2019. – P. 24–38.
2. An annual review of trends and developments in shipping losses and safety. Safety and shippingreview. – 2019. – P. 12–22.
3. Marine Accident Investigation Branch. Maib annual report. – 2017. – P. 77–100.

Система инструментального мониторинга концентрации вредных веществ в отработавших газах судовых дизелей

Г. В. Игнатенко, В. А. Туркин, А. В. Щербина, Л. Н. Писаренко

Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск, turvla@mail.ru

Рассмотрена схема инструментального мониторинга, которая позволяет осуществлять непрерывный контроль концентрации вредных веществ, решать задачи контроля и снижения токсичности отработавших газов судовых дизельных двигателей. С целью снижения влияния случайных ошибок измерение концентраций исследуемого вредного вещества производилось до 40 раз на каждом режиме двигателя.

Ключевые слова: судовой двигатель, вредные вещества, инструментальный мониторинг, погрешности измерений.

The scheme of instrumental monitoring, which allows to carry out continuous monitoring of the concentration of harmful substances, to solve the problems of monitoring and reducing the toxicity of exhaust gases of marine diesel engines, is considered. In order to

reduce the impact of random errors, the concentration of the studied harmful substance was measured up to 40 times in each engine mode.

Keywords: marine engine, harmful substances, instrument monitoring, measurement errors.

Работа судовых дизельных двигателей характеризуется следующими определяющими его экологические характеристики теплотехническими параметрами: мощность дизеля эффективная; частота вращения коленчатого вала главного двигателя; максимальное давление сгорания по цилиндрам; расход отработавшего газа и другие. В работе [1]: приведена наиболее распространенная схема расположения контрольно-измерительных приборов для инструментального определения токсичности отработавших газов судового дизельного двигателя модельного ряда МС. Такое расположение и назначение контрольно-измерительных приборов характерно и для других типов дизелей.

Зонд для отбора отработавших газов в соответствии с рекомендациями ГОСТ 30574–98 [2] устанавливался в трубе для отвода продуктов сгорания топлива главного двигателя в 10 метрах от входа газов в утилизационный котел и в 15 метрах от выхода отработавших газов в атмосферу. Для отбора отработавших газов использовалась стационарная система, состоявшая из пробоотборного зонда, насоса подачи отработавших газов и пробоотборной магистрали с фильтрами для очистки пробы газов и передачи ее в анализатор дымовых газов testo 350 для проведения измерения концентрации вредных веществ, содержащихся в отработавших газах. Измерения теплотехнических параметров и экологических характеристик двигателя в условиях эксплуатации и обработка полученных результатов измерений производились с учетом рекомендаций, изложенных в публикации [3] с соблюдением следующих требований: измерения производятся на установившемся режиме двигателя при отсутствии или умеренной качке судна; количество отсчетов по приборам на каждом режиме составляло не менее трех раз с интервалом не менее 10 сек. С целью снижения влияния случайных ошибок измерение концентраций вредного вещества производилось до 40 раз на каждом режиме двигателя.

Расчет удельных выбросов оксидов азота производился по формулам, изложенными в подразделе 6.4 Технического кодекса NO_x 2008 года с поправками. Расход отработавших газов определялся методом непосредственных измерений с использованием Трубки Пито.

На основании анализа результатов проведенных экспериментов было установлено, что удельный выброс оксидов азота, содержащихся в отработавших газах главных двигателей производства компании «MAN Diesel & Turbo» серии 6S50MC, замеренный при различных значениях частоты вращения коленчатого вала главного двигателя, не превышает действующего международного норматива Tier 2 Приложения VI Международной Конвенции МАРПОЛ 73/78, а именно значения 14,4 г/(кВт·ч).

Список литературы:

1. Николаев, Н. И. Теплотехнические и экологические параметры современных дизельных и котельных установок морских судов в эксплуатации : монография / Н. И. Николаев, Н. Н. Зиненко, В. Е. Панамарев. – Новороссийск : РИО ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2017. – 154 с.
2. ГОСТ 30574–98. Межгосударственный Стандарт. Дизели судовые тепловозные и промышленные. Измерение выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Циклы испытаний. – Минск : ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 90 с.
3. Миронов, Э. Г. Методы и средства измерений : учеб. пособие / Э. Г. Миронов. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009. – 463 с.

Судовая система лазерного мониторинга выбросов вредных веществ

А. В. Щербина, В. А. Туркин, Р. Ю. Атласов, И. А. Сарычев

Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск, *turvla@mail.ru*

Предложена схема судовой лазерной системы мониторинга, которая позволяет осуществлять непрерывный контроль концентрации вредных веществ, решать задачи контроля и снижения токсичности отработавших газов, а также осуществлять диагностирование судовых дизельных установок.

Ключевые слова: судовой двигатель, вредные вещества, мониторинг выбросов, лазер.

The scheme of the ship's laser monitoring system is proposed, which allows to carry out continuous monitoring of the concentration of harmful substances, to solve the problems of monitoring and reducing the toxicity of exhaust gases, as well as to diagnose ship's diesel installations.

Keywords: marine engine, harmful substances, emission monitoring, laser.

Лазерная система мониторинга, схема которой приведена в работе [1], может быть установлена на каждое судно и осуществлять непрерывный контроль концентрации вредных веществ в отработавших газах в газоходах судовых дизельных установок или на срезе дымовой трубы.

Используя метод планирования эксперимента, а также результаты проведенных на судне инструментальных измерений получена математическая для модель оценки влияния нагрузки, угла опережения впрыска топлива и двухфазного впрыска топлива главных дизельных двигателей с электронной системой подачи топлива на значение удельных концентраций оксидов азота в отработавших газах [2]. В случае превышения концентраций вредных веществ значений, установленных приложением VI Конвенции МАРПОЛ 73/78, бортовой компьютер, по указанию системы мониторинга, используя полученную математическую модель осуществляет корректировку регулируемых параметров системы подачи топлива судового дизельного двигателя, оказывающих влияние на его экологическую безопасность.

Схема лазерного мониторинга позволяет осуществлять непрерывный контроль концентрации вредных веществ в отработавших газах, решать задачи контроля и снижения их токсичности, а также осуществлять диагностирование судовых дизельных установок.

Для реализации задачи контроля токсичности отработавших газов дизелей системой лазерного мониторинга продуктов сгорания судового топлива был разработан алгоритм решения задачи выполнения требований Конвенции МАРПОЛ по удельным выбросам оксидов азота по этапу tier-2.

Аналогичный алгоритм был разработан и для решения задачи контроля выбросов оксидов азота по этапу tier-3.

Для контроля и регулирования режимов горения топлива в дизеле система мониторинга позволяет комплексно решать задачи контроля и снижения токсичности отработавших газов, а также осуществлять диагностирование судовых дизельных установок.

Применение судовой лазерной системы мониторинга позволяет: уменьшить вредные выбросы в атмосферу с отработавшими газами; повысить надежность работы главных и вспомогательных дизелей судовой энергетической установки; уменьшить расходы на техническое обслуживание и ремонт судовых дизельных и котельных установок; предотвратить серьезные отказы дизелей.

Судовая лазерная система мониторинга выполняется в двух вариантах: с ручным и автоматическим управлением и вводом информации.

Лазерная система может работать как автономно, так и во взаимодействии с другими локальными системами диагностирования, а также в составе комплексной системы автоматики и контроля технического состояния судовой энергетической установки.

Список литературы:

1. Туркин, А. В. Применение лазерных технологий для оценки токсичности отработавших газов судовых энергетических установок / А. В. Туркин, В. А. Туркин, А. А. Иванченко // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – Т. 1, № 1 (39). – С. 111–116.
2. Туркин, А. В. Моделирование рабочих процессов малооборотного судового двигателя для снижения эмиссии оксидов азота / А. В. Туркин, В. А. Туркин, А. Ю. Самойленко // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – Т. 1, № 1 (39). – С. 106–110.

Применение озонирования для очистки производственных сточных вод

В. С. Фурдуй, И. Г. Берёза

Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск, irina.beryza@mail.ru

Показано, что эффективным методом деструкции трудноокисляемых органических соединений и перевода их в биологически «мягкие» является озонирование.

Предложена технология предварительного озонирования сточных вод анилинокрасочной промышленности, обеспечивающая деструкцию «жестких» высокомолекулярных органических соединений и перевод последних в биоразлагаемую органику.

Ключевые слова: деструкция, органические соединения, озонирование, сточные воды, биоразлагаемая органика.

Ozonation is an effective method of destroying difficult-to-oxidize organic compounds and converting them to biologically "soft." The technology of preliminary ozonation of waste water of aniline paint industry provides destruction of "rigid" high-molecular organic compounds and translation of the latter into biodegradable organics.

Keywords: destruction, organic compounds, ozonation, wastewater, biodegradable organics.

Производственные сточные воды анилинокрасочной промышленности содержат значительное количество трудноокисляемых органических соединений (амино и нитропродукты, фенолы), характеризуются повышенной цветностью. Так, ХПК сточных вод составляет около 12000 мг/л, тогда как БПК сточных вод не превышает 2000 мг/л. Из-за больших объемов сточных вод на данных предприятиях использование физико-химических методов очистки нецелесообразно, а направлять данный сток на сооружения биологической очистки не представляется возможным, поскольку более 80 % органических соединений биологически не разрушаются.

Одним из эффективных методов деструкции трудноокисляемых органических соединений и перевод их в биологически «мягкие» является озонирование. Основным качеством, определяющим специфику физических и химических свойств озона, является его большая окислительная способность.

Реакция озона с высокомолекулярными органическими соединениями достаточно изучена [1, 2]. Так, например, фенол в результате окисления озоном, в конечном итоге, превращается в малеиновую и щавелевую кислоты. Таким образом, органические соединения из биологически устойчивых форм превращаются в биоразлагаемые, которые затем легко усваиваются микроорганизмами активного ила биологических очистных сооружений.

Цель данного исследования – разработка технологии предварительного озонирования сточных вод анилинокрасочной промышленности, направляемых на сооружения биологической очистки.

Экспериментальные исследования по определению оптимальных технологических параметров процесса проводились на специально созданной лабораторной озонаторной установке.

Для определения оптимального технологического режима озонирования промышленных сточных вод анилинокрасочной промышленности исследовались следующие параметры процесса: скорость подачи озон-воздушной смеси (ОВС), время контактирования ОВС со сточной жидкостью, величина pH.

В результате экспериментальных исследований установлено, что увеличение времени пребывания обрабатываемой воды в реакторе лабораторной установки до 15 минут приводит к повышению эффектив-

ности процесса очистки, однако дальнейшее увеличение времени контакта почти не оказывает влияния на эффективность процесса. При повышении скорости подачи ОВС до 15 л/мин эффективность деструкции органических загрязнений (по ХПК) возрастает. Дальнейшее увеличение скорости подачи ОВС в установку почти не оказывает влияния на эффективность процесса очистки.

Также, в процессе экспериментальных исследований установлено, что величина pH исследуемой жидкости в интервале 6-9 существенного влияния на эффективность процесса не оказывает.

Результаты экспериментальных исследований процесса озонирования производственных сточных вод анилинокрасочной промышленности, выполненных на опытной установке в оптимальном режиме работы представлены в таблице.

Таблица. Эффективность процесса очистки

Показатели	Исходная сточная вода	Очищенная сточная вода
pH	7,5–8,5	7,2–8,0
ХПК, мг/л	11900	3500
БПК, мг/л	1600	1700
Цветность, град.	950	150

Как следует из полученных результатов экспериментальных исследований, в оптимальном режиме процесса озонирования достигается снижение величины ХПК сточных вод на 50–70 %, цветность снижается на 80–95 % и 50 % органических веществ становятся биологически деструктируемыми.

Таким образом, предложенная технология предварительного озонирования сточных вод анилинокрасочной промышленности обеспечивает деструкцию «жестких» высокомолекулярных органических соединений и перевод последних в биоразлагаемую органику ($\text{БПК}=0,5\text{ХПК}$), легко усваиваемую микроорганизмами активного ила на сооружениях биологической очистки.

Список литературы:

1. Кандзас, П. Ф. Применение озона для очистки промышленных сточных вод / П. Ф. Кандзас, А. А. Мокина // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. – 2003. – № 4. – С. 169–177.
2. Орлов, В. А. Озонирование воды / В. А. Орлов. – Москва : АСВ, 2004. – 300 с.

Технология доочистки ливневых нефтесодержащих вод

М. А. Нечаев, И. Г. Берёза

Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск, irina.beryoza@mail.ru

Показано, что адсорбция весьма эффективна при извлечении из сточных вод органических загрязнений и способна обеспечить очистку до любого требуемого

уровня. По результатам цикла экспериментальных исследований в качестве сорбционной загрузки фильтров локальных портовых сооружений предложен природный минерал – монтмориллонит.

Ключевые слова: сточные воды, органические загрязнения, монтмориллонит, адсорбция.

Adsorption is very effective in extracting organic contaminants from wastewater and is capable of providing treatment to any desired level. According to the results of the experimental studies the natural mineral montmorillonite has been proposed as the sorption load of filters at the local port facilities.

Keywords: wastewater, organic contaminants, montmorillonite, adsorption.

Поверхностные стоки с территории промышленных предприятий, относятся к источникам интенсивного загрязнения поверхностных водоемов примесями не только природного, но и техногенного характера и, в первую очередь, нефтепродуктами. Для защиты водоемов от загрязнения нефте-продуктами используются специальные очистные сооружения (очистное оборудование). Как правило, в качестве последней ступени очистки данного стока используют адсорбционные фильтры.

Как известно, адсорбция весьма эффективна при извлечении из сточных вод органических загрязнений и способна обеспечить очистку до любого требуемого уровня [1, 2]. В настоящее время в фильтрационных установках используют в основном угольные или синтетические сорбенты. Эти материалы помимо явных положительных качеств имеют и ряд недостатков – синтетические сорбенты обычно одноразового использования, с трудом утилизируются, часто токсичны. А процесс изготовления высококачественных активных углей сложен и длителен, поэтому стоимость данных материалов в нашей стране и за рубежом достаточно высока. Это приводит к поиску новых более дешевых сорбентов. Вследствие этого, перспективным считается применение при доочистке нефтесодержащих вод природных сорбирующих материалов [2].

Цель данного исследования – разработка технологии доочистки поверхностных нефтесодержащих вод, поступающих на локальные портовые сооружения. В процессе работы были изучены следующие природные минералы: шунгит и монтмориллонит.

Адсорбция из водных растворов – процесс чрезвычайно сложный и поэтому, несмотря на длительное практическое использование, отсутствуют расчетные зависимости, пригодные для всех случаев. Основную информацию об эффективности применения конкретных материалов в качестве сорбентов содержат: максимальная сорбционная емкость материала ($A_{\max}$); кинетические характеристики процесса в конкретных гидродинамических условиях [2, 3]. Максимальная удельная адсорбция (A_p) является одним из основных критериев оценки сорбционных свойств исследуемых материалов и определяет максимальную поглотительную емкость сорбента в условиях равновесия [2, 3].

Установлено, что степень извлечения нефтепродуктов из раствора в адсорбционных фильтрах увеличивается в ряду – шунгит < монтмориллонит.

Динамические характеристики процесса сорбции нефтяных веществ из раствора (длина неподвижного слоя, время защитного действия, скорость потока) определялись на опытной установке, моделирующей технологию очистки. Исследования проводились на нефтесодержащих водах с исходной концентрацией нефтепродуктов 1,5–15,0 мг/дм³ при скорости потока $v = 2 - 6$ м/ч.

В результате статистической обработки полученных экспериментальных данных определены основные параметры уравнения динамического процесса сорбции. Установлено, что монтмориллонит обладает большей сорбционной емкостью по отношению к нефтяным загрязнениям. Так, коэффициент защитного действия адсорбционного фильтра для монтмориллонита составил 142 ч/м, для шунгита – 98 ч/м.

Таким образом, на основании результатов цикла экспериментальных исследований в качестве сорбционной загрузки фильтров локальных портовых сооружений предложен природный минерал – монтмориллонит. Определены оптимальные параметры процесса адсорбции, обеспечивающие содержание нефтепродуктов в очищенной воде менее 0,05 мг/дм³. Установлено, что для монтмориллонита значение коэффициента защитного действия фильтра при скорости потока – 2 м/ч составляет величину – 142 ч/м; адсорбционная емкость минерала (относительно извлекаемых нефтепродуктов) – 32,5 мг/г.

Список литературы:

1. Алыков, Н. М. Очистка воды природным сорбентом / Н. М. Алыков, А. С. Реснянская // Экология и промышленность России. – 2003. – № 2. – С. 13–16.
2. Когановский, А. М. Адсорбция органических веществ из воды / А. М. Когановский, Н. А. Клименко. – Санкт-Петербург : Химия, 1990. – 223 с.
3. Фролов, В. А. Процессы и аппараты химической технологии / В. А. Фролов. – Санкт-Петербург : Химиздат, 2003. – 230 с.

Технология переработки жидких отходов производства хитина

А. Ю. Гоманова, И. Г. Берёза

Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск, *irina.beryoza@mail.ru*

Переработка твердых панцирьсодержащих компонентов не только способствует ликвидации значительной части отходов, которые создают ряд экологических проблем для предприятий, но и позволяет получать хитин в качестве основы для последующего производства хитозана. На основе анализа экспериментальных данных предложена технология очистки технологического слива производства хитина.

Ключевые слова: твердые панцирьсодержащие отходы, хитин, хитозан, технология очистки.

The processing of solid shell-containing waste not only contributes to the disposal of a significant part of the waste, which creates a number of environmental problems for enterprises, but also allows the production of chitin as a basis for the subsequent production

of chitosan. The analysis of experimental data made it possible to create a technology for cleaning the technological drain of chitin production.

Keywords: solid shell-containing waste, chitin, chitosan, cleaning technology.

В процессе производства пищевой продукции из ракообразных значительная масса сырья остается в виде отходов. При этом около 70 % отходов приходится на твердые панцирьсодержащие отходы (ПСО). Переработка ПСО способствует не только ликвидации значительной части отходов, которые создают ряд экологических проблем для предприятий, занимающихся переработкой ракообразных, но и позволяет получать хитин в качестве основы для последующего производства хитозана, глюкозамина и др.

Хитин и его производные обладают уникальной биологической активностью, высокими сорбционными и бактерицидными свойствами и, благодаря этому, широко используются в медицине, пищевой, текстильной, бумажной промышленности, сельском хозяйстве и биотехнологии [1, 2].

Производственный процесс получения хитина из панцирных частей ракообразных связан с образованием специфических жидких отходов, содержащих большое количество белковых соединений и минеральных веществ. Перед подачей в системы водоотведения или на очистные сооружения образовавшийся технологический слив требует предварительной локальной очистки.

В настоящее время в технической литературе отсутствуют данные об эффективных технологиях очистки жидких отходов (сточных вод) производства хитина. Отсутствие комплексной технологии переработки ПСО, включающей технологию переработки образующихся жидких отходов, является одним из сдерживающих факторов широкого промышленного использования разработанных технологий производства хитина и хитозана [3].

Многостадийный процесс обработки панциря морских ракообразных сводится к стадиям депротеинизации и деминерализации панциря и заключается в последовательной обработке сырья щелочными растворами – для удаления белковых веществ (стадия депротеинизации) и растворами кислот (стадия деминерализации) – для удаления минеральных соединений с последующей промывкой полученного продукта горячей и холодной водой.

Как известно, начальным этапом разработки технологии очистки производственных сточных вод является анализ технологического процесса данного производства с точки зрения водных операций и определение качественного состава, физико-химических характеристик технологических сливов.

Цель данной работы заключалась в исследовании качественного состава, физико-химических характеристик специфических жидких отходов многостадийного процесса обработки панциря морских ракообразных.

В результате экспериментальных исследований определены усредненные показатели качественного состава образующихся щелочных и кислых технологических сливов и промывных вод.

С целью определения возможных методов обработки производственных сточных вод исследовался также молекулярно-массовый состав белковых веществ в исходном и постадийных технологических сливах. Данные молекулярно-массового распределения (ММР) получены методом высокоэффективной жидкостной хроматографии

На основании анализа полученных экспериментальных данных – качественного состава щелочных и кислых технологических сливов и промывных вод, молекулярно-массового распределения (ММР) загрязнений – предложена технология очистки объединенного технологического слива (сточных вод) производства хитина.

Список литературы:

1. Артеменко, С. Е. Хитозан как активный компонент полимерных систем / С. Е. Артеменко, С. В. Арзамасцев, Т. П. Устинова // Новые достижения в исследовании хитина и хитозана : материалы VI Междунар. конф. – Москва : Всерос. научн.-исслед. ин-т рыбного хоз-ва и океанографии, 2001. – С. 12–13.
2. Дубинская, А. М. Применение хитина и его производных в медицине / А. М. Дубинская, А. Е. Добротворская // Химико-фармацевтический журнал. – 2009. – Т. 23, № 5. – С. 623–628.
3. Технология рыбных продуктов / С. А. Артюхова, В. Д. Богданов, В. М. Дацин [и др.] ; под ред. Т. М. Сафоновой, В. И. Шендерюка. – Москва : Колос, 2011. – 496 с.

Реализация государственной политики в сфере здравоохранения на территории Краснодарского края

А. Б. Санникова

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, anna.san@bk.ru

Рассмотрены результаты реализации государственных и муниципальных программ в сфере здравоохранения на территории Краснодарского края. Дана оценка динамики основных медико-демографических показателей в регионе как результата управления реализацией политики в сфере здравоохранения. Разработаны предложения для повышения эффективности реализации государственной политики в сфере здравоохранения, которые могут быть использованы соответствующими региональными органами власти Краснодарского края и исполнительными органами местного самоуправления при планировании мероприятий в рамках различных государственных и муниципальных программ. Отмечено, что реализация разработанных предложений будет способствовать снижению заболеваемости, смертности жителей, росту производительности труда, продлению трудоспособного возраста населения и, как следствие, росту ВРП, повышению благосостояния населения.

Ключевые слова: политика в сфере здравоохранения, регион, муниципальные образования, государственные и муниципальные программы, эффективность.

The article is devoted to the results of the implementation of state and municipal programs in the field of health care in the Krasnodar region. The dynamics of the main medical and demographic indicators is estimated as a result of the management of the implementation of health policy in the region. The proposals developed to increase the effectiveness of the health policy implementation in the region under study can be used by the executive authorities of the Krasnodar region and its municipalities when planning activities in the framework of state as well as municipal programs. The implementation of the proposals developed will contribute to a decrease in morbidity, mortality of the population, an increase in labor productivity, an extension of the working age of the population.

Keywords: health policy, region, municipalities, state and municipal programs, efficiency.

Главной целью государственной политики является сбережение и укрепление здоровья нации. Достижение поставленной цели в области здравоохранения в субъектах РФ зависит от успешного решения широкого круга задач социально-экономического развития всей страны, включая обеспечение стабильного экономического роста и роста благосостояния населения, интенсивное развитие человеческого капитала, улучшение санитарно-эпидемиологической обстановки и т.д.

Для достижения запланированных в госпрограмме «Развитие здравоохранения» показателей предусматривается увеличить долю государственных расходов на систему здравоохранения в валовом внутреннем продукте с 3,8 % в 2017 г. до 5,2–5,5 % к 2020 г. [1]. Госпрограмма «Развитие здравоохранения» и реализация приоритетного национального проекта «Здоровье» определяют развитие системы здравоохранения в России до 2020 г. Для эффективной реализации целевых программ и национальных проектов в сфере здравоохранения недостает объемов финансирования. Ежегодный рейтинг по эффективности национальных систем здравоохранения определил Россию в 2019 году на последнее – 51 место.

За 2017–2019 гг. резко возросла естественная убыль населения края. Коэффициент естественного прироста впервые за почти 20-летний период имел положительное значение 0,3 промилле в 2013 г., достиг максимального значения 0,6 промилле в 2014 г. С 2015 г. начал снижаться (0,5 промилле). И резкое падение коэффициента естественного прироста (убыли) населения (до минус 0,8 промилле) наблюдалось в 2017–2019 гг. При этом коэффициент смертности населения края в 2019 г. составил 12,3 промилле, при целевом показателе в 11,1 промилле [2]. Этот показатель в крае немного лучше, чем среднее значение по Южному Федеральному округу (12,9 промилле) и по России (12,4 промилле). Показатель младенческой смертности в 2019 году также возрос (4,9 промилле). Это выше, чем средний показатель по всему Федеральному округу (4,8 промилле) и немного лучше среднероссийского значения (5,1 промилле). Показатель рождаемости за 2019 г. сократился на 10,4 %, по сравнению с предшествующим годом [3]. Пока уровень рождаемости населения Краснодарского края на 4,3 % выше уровня РФ и на 8,1 % выше, чем по ЮФО. Во все годы наивысшее число рождений приходится на летние месяцы, а наибольшая смертность населения – на

зимние месяцы. В возрастной структуре умершего населения за 2019 г. наибольший рост смертности зафиксирован в возрастных группах старше трудоспособного возраста 70–74 года на 19,6 %, подросткового возраста 15–17 лет – на 9,1 %, трудоспособного возраста 20–24 года – на 8,2 %, по сравнению с предыдущим годом.

Из проанализированных основных 13 индикаторов выполнения государственной программы Краснодарского края «Развитие здравоохранения» не достигнуты 6. Соответственно, только 53,8 % показателей программы выполнены. Реализация государственной программы не отвечает установленным критериям, потому уровень эффективности ее реализации признается неудовлетворительным. На территории Краснодарского края пока не достигают целевых значений продолжительность жизни населения, рождаемость, естественный прирост, строительство офисов врачей общей практики, обеспеченность врачами, зарплаты врачей и остального медперсонала и многие другие показатели. При этом превышают целевые индикаторы общая смертность населения, смертность населения по отдельным группам заболеваний и другие. Проблема высокого уровня заболеваемости и смертности населения связана и с загрязнением почв, вод и атмосферного воздуха муниципальных образований края [4, 5].

В муниципальных районах, таких как Приморско-Ахтарский, Брюховецкий, Белоглинский, Ленинградский, Абинский и Ейский, большинство целевых показателей госпрограммы Краснодарского края «Развитие здравоохранения» на протяжении 2015–2019 гг. не выполняются. Сложилась неблагоприятная медико-демографическая ситуация, обусловленная низкой рождаемостью, высокой смертностью и высокими показателями естественной убыли населения. Работу местных органов власти данных территориальных единиц по реализации региональной политики в сфере здравоохранения можно считать неудовлетворительной. Намечившиеся позитивные изменения в сфере здравоохранения нашего региона по итогам 2019 г. оказались недостаточными для разрешения целого ряда проблем. Среди них: слабая доступность и низкое качество медицинской помощи; недостаток высококвалифицированных кадров; неэффективное лекарственное обеспечение; недостаточное финансирование сферы здравоохранения; неиспользование новых медицинских технологий и инновационных моделей оказания медицинской помощи. Для повышения эффективности управления реализацией региональной политики в сфере здравоохранения необходима первоочередная деятельность органов власти по направлениям:

- расширение доказательности финансирования медицинской помощи и прозрачности использования финансовых и материальных ресурсов медицинскими учреждениями, что сократит масштабы неэффективных затрат;

– принятие новых программ, предусматривающих при необходимости совместное финансирование приобретения лекарств государством и пациентом, с целью расширения возможностей помощи государства;

– пересмотр состава государственных программ лекарственного обеспечения: определение категорий граждан, имеющих право на льготное постоянное лекарственное обеспечение по наличию определенных заболеваний, и монетизация прав на льготное обеспечение по социальному статусу;

– переход к модели финансирования льготного лекарственного обеспечения на основе механизма референтных цен, определяющих максимальный размер возмещения цены препарата за счет государства;

– планирование согласованного территориального развития государственной и ведомственных систем здравоохранения с перспективой интеграции ведомственных медицинских организаций в территориальные системы здравоохранения;

– создание условий для технологического прорыва, выхода на принципиально новый технологический уровень решения задач сохранения здоровья населению.

Здравоохранение должно развиваться как индустрия здоровья, использующая новые биомедицинские и информационные технологии. Новые технологии определяют необходимость перехода к новой модели организации медицинской помощи – к «медицине 4П». Это модель с фокусировкой на выявлении предрасположенности к развитию заболеваний (предикция), предотвращении появления заболеваний (превенция), индивидуальном подходе к каждому пациенту (персонализация), мотивированном участии пациента в профилактике заболеваний (партисипативность). Разработанные рекомендации позволят повысить эффективность реализации политики в сфере здравоохранения на территории Краснодарского края, способствуя снижению заболеваемости, смертности жителей, росту производительности труда, продлению трудоспособного возраста населения, как следствие, содействуя росту ВРП и повышению благосостояния населения.

Список литературы:

1. Санникова, А. Б. Особенности региональной политики в сфере здравоохранения на примере Краснодарского края / А. Б. Санникова // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте : тр. XXVI Междунар. конф. – Новороссийск : Гос. морской ун-т им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2018. – С. 150–151.

2. Санникова, А. Б. Реализация программ демографического развития в муниципальных образованиях Краснодарского края / А. Б. Санникова // Экономическая система современного общества: экономика и управление : сб. материалов I Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск : Изд-во ЦРНС, 2017. – С. 73–79.

3. Санникова, А. Б. Эффективность управления реализацией государственной демографической политики на территории Краснодарского края / А. Б. Санникова // Фундаментальные исследования. – 2019. – № 4. – С. 103–107. – DOI 10.17513/fr.42446.

4. Санникова, А. Б. Экология: количественная оценка геохимических систем биосферы : практикум : учеб. пособие (гриф УМО) / А. Б. Санникова. – Краснодар : КубГТУ, 2011. – 125 с.

5. Алексеенко, В. А. Количественная оценка накопления химических элементов в почвах техногенных ландшафтов Западного Кавказа / В. А. Алексеенко, А. Б. Бофанова // Известия ТРТУ. – 2001. – № 2 (20). – С. 85–89.

Реализация государственной демографической политики в Краснодарском крае

А. Б. Санникова

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, *anna.san@bk.ru*

Рассмотрены результаты реализации государственных и муниципальных программ, влияющих на демографическую ситуацию в Краснодарском крае. Дана оценка динамики основных демографических показателей как результата управления реализацией демографической политики в регионе. Представлен анализ демографической ситуации в Краснодарском крае, который позволил определить ряд негативных тенденций, связанных с проблемами местного самоуправления в отдельных муниципальных образованиях и влияющих на их экономическое развитие. Разработаны предложения для повышения эффективности реализации демографической политики, которые могут быть использованы соответствующими органами власти Краснодарского края и исполнительными органами местного самоуправления при планировании мероприятий в рамках различных государственных и муниципальных программ. Отмечено, что демографическое развитие территории приведет к увеличению трудовых ресурсов, что является базовым условием экономического роста.

Ключевые слова: демографическая политика, регион, муниципальные образования, государственные и муниципальные программы, эффективность.

The article is devoted to the results of the implementation of state and municipal programs affecting the demographic situation in the Krasnodar region. The dynamics of the main demographic indicators is estimated as a result of the management of the implementation of demographic policy in the region. The analysis of the demographic situation in the Krasnodar region allowed us to identify a number of negative trends in some municipalities effecting their economic development. The proposals developed to increase the effectiveness of the demographic policy implementation in the region under study can be used by the executive authorities of the Krasnodar region and its municipalities when planning activities in the framework of state as well as municipal programs. The demographic development of the territory will the number of working population increase. This is the basic condition for the economic growth in the region.

Keywords: demographic policy, region, municipalities, state and municipal programs, efficiency.

За последние двадцать лет только с 2013 г. в Краснодарском крае рождаемость стала немного превышать смертность. Понадобилось более десятилетия, чтобы получить первые положительные результаты реализации государственных и муниципальных программ на территории края. В связи с этим эффективная реализация демографической полити-

ки является важнейшей составляющей социально-экономического развития субъектов РФ.

Стратегия социально-экономического развития Краснодарского края до 2030 года, а также разработанные в соответствии с ней региональные и муниципальные программы направлены на увеличение продолжительности жизни населения, улучшение ее качества. Достижение целевых демографических показателей данных программ необходимо для дальнейшего поступательного экономического развития региона.

Динамика численности населения региона за 2012–2020 гг. положительная. При этом миграционный прирост превышает естественный в 3–14 раз в разных муниципальных образованиях края. Прирост населения за последние 8 лет составляет более 360000 человек. В начале 2020 г. численность населения Краснодарского края составляла более 5,648 млн человек. Рост численности населения края за последние 5 лет объясняется, в основном, значительным миграционным приростом. За 2017–2019 гг. резко возросла естественная убыль населения края (до –0,8 промилле) [1, с. 103–107].

Существует множество проблем, препятствующих эффективной реализации в регионе политики в сфере здравоохранения [2, с. 150–151]. На территории Краснодарского края пока не достигают целевых значений продолжительность жизни населения, рождаемость, естественный прирост, строительство офисов врачей общей практики, обеспеченность врачами, зарплаты врачей и остального медперсонала и многие другие показатели. Проблема высокого уровня заболеваемости населения связана и с загрязнением почв, вод и атмосферного воздуха промышленно-развитых муниципальных образований края [3, 4]. Отрицательные тенденции медико-демографических показателей исследуемой территории затрагивают численность трудовых ресурсов, следовательно, отражаются на экономическом положении региона. За 2012–2019 гг. снизилась численность трудовых ресурсов в крае на 1,5 %. И, к сожалению, за этот период возрос уровень демографической нагрузки на трудоспособное население с 686 до 831 промилле [1, с. 103–107].

Для простого воспроизводства населения Краснодарского края суммарный коэффициент рождаемости должен превышать значение в 2,1 промилле. В 2018 г. данный коэффициент составил 1,75 промилле. Для решения проблемы естественной убыли населения необходим миграционный прирост с особыми льготами для высококвалифицированных специалистов. Прирост мигрантов компенсирует естественную убыль населения. Роль иммигрантов, как потенциальных трудовых ресурсов, становится все более ощутимой. Темп миграционного прироста населения края в 2019 г. составил 36,1 %, по сравнению с 2018 г. Значение показателя интенсивности миграции увеличилось на 12628 человек за счет роста числа иммигрантов на 9,7 %. Межрегиональная миграция увеличилась на 27,7 %.

А внутрирегиональный приток мигрантов снизился на 3,5 %. Приток иммигрантов из стран СНГ за 2019 г. вырос на 97,2 %.

В результате проведенного социологического исследования было выявлено, что удовлетворенность населения края эффективностью проводимой миграционной политики невысокая (26 %). Нет регулярной плановой работы по территориальному распределению и трудоустройству иммигрантов, особенно важному для муниципальных образований края с высоким коэффициентом общей убыли населения. Требуют особого контроля органов власти и специальных мероприятий для повышения воспроизводства населения муниципальные районы: Белоглинский, Тихорецкий, Приморско-Ахтарский.

Среди выявленных проблемных вопросов, требующих регулирования и контроля со стороны региональных органов власти: недостаточный контроль и нерациональное территориальное распределение потоков иммигрантов, отсутствие в крае сформировавшихся стабильных рынков труда и жилья, неэффективность существующего миграционного законодательства и узость контрольных полномочий органов местной власти, дополнительная нагрузка на инфраструктуру муниципальных образований и ряд других.

В соответствии с потребностями социально-экономического развития Краснодарского края приоритетными направлениями демографической политики должны считаться повышение естественного прироста населения и обеспечение регулируемого квалифицированного миграционного притока [1, с. 106–107]. При этом, полное воспроизводство населения возможно только при рождении в семье трёх и более наследников. В связи с этим, мероприятия проводимой демографической политики должны обеспечивать поддержку двух- и трехдетных семей. Степень поддержки и помощи должна возрасти с увеличением количества детей в семье.

Для рационального обеспечения экономики региона трудовыми ресурсами с необходимыми профессиональными навыками и уровнем квалификации, в том числе и за счет мигрантов, необходимо: предотвращать эмиграцию трудоспособного населения; разработать программы привлечения и размещения на жительство квалифицированных мигрантов с учетом перспектив экономического развития территории; усилить контроль и разработать мероприятия по предотвращению незаконной занятости иностранных мигрантов на территории Краснодарского края. Приоритетными для расселения и обустройства переселенцев могут стать демографически депрессивные муниципальные образования края, особенно, МО г. Армавир, сельские поселения муниципальных районов Белоглинский, Тихорецкий, Приморско-Ахтарский [5, с. 155–159]. Кроме того, перспективными для миграционных потоков могут стать территории реализации инвестиционных проектов и программ, города края с небольшим естественным приростом населения.

Среди наиболее эффективных и перспективных программ для демографического развития муниципальных образований Краснодарского края можно выделить три. Это программа «Материнский капитал», «Молодая семья», а также предлагаемая новая программа «Привлечение квалифицированных иммигрантов». Их финансирование с каждым годом необходимо корректировать с учетом эффективности реализации плановых мероприятий и уровнем инфляции.

Данные предложения будут полезны органам государственной и муниципальной власти Краснодарского края при планировании мероприятий в программах социально-экономического развития и как новые направления развития демографической политики в регионе. В результате уменьшится количество нелегальных мигрантов, будут контролироваться потоки трудовых мигрантов в нуждающиеся муниципальные образования, повысится качество трудовых ресурсов края. Предлагаемая перспективная программа «Привлечение квалифицированных мигрантов» будет способствовать не только демографическому, но и экономическому росту муниципальных образований Краснодарского края.

Список литературы:

1. Санникова, А. Б. Эффективность управления реализацией государственной демографической политики на территории Краснодарского края / А. Б. Санникова // *Фундаментальные исследования*. – 2019. – № 4. – С. 103–107. – DOI 10.17513/fr.42446.
2. Санникова, А. Б. Особенности региональной политики в сфере здравоохранения на примере Краснодарского края / А. Б. Санникова // *Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте* : тр. XXVI Междунар. конф. – Новороссийск : Гос. морской ун-т им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2018. – С. 150–151.
3. Санникова, А. Б. Экология: количественная оценка геохимических систем биосферы : практикум : учеб. пособие (гриф УМО) / А. Б. Санникова. – Краснодар : КубГТУ, 2011. – 125 с.
4. Алексеенко, В. А. Количественная оценка накопления химических элементов в почвах техногенных ландшафтов Западного Кавказа / В. А. Алексеенко, А. Б. Бофанова // *Известия ТРТУ*. – 2001. – № 2 (20). – С. 85–89.
5. Санникова, А. Б. Особенности регионального управления развитием сельского хозяйства в Краснодарском крае / А. Б. Санникова // *Фундаментальные исследования*. – 2020. – № 5. – С. 155–159. – DOI 10.17513/fr.42763.

Управление развитием сельского хозяйства в Краснодарском крае

А. Б. Санникова

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, anna.san@bk.ru

Дан анализ особенностей управления развитием сельского хозяйства в Краснодарском крае и разработаны предложения по его оптимизации. Рассмотрены инструменты и механизмы реализации аграрной политики в регионе. Показано, что сельское

хозяйство и базирующийся на нем агропромышленный комплекс являются основой экономического развития Краснодарского края. Регион – один из крупнейших производителей сельскохозяйственной продукции в РФ. Отмечено, что в современных конкурентных условиях развития экономики с учетом состояния мирового рынка, при антироссийских экономических санкциях недостаточная господдержка сельского хозяйства может иметь необратимые последствия. Разработаны предложения, направленные на повышение эффективности функционирования системы регионального управления развитием сельского хозяйства.

Ключевые слова: аграрная политика, регион, государственные и муниципальные программы, социально-экономическое развитие, предложения.

The article is devoted to the analysis of the management specifics in the development of agriculture in Krasnodar region and the elaboration of proposals for its optimization. The article discusses the tools and mechanisms for implementing agricultural policy in the region. Agriculture and the agro-industrial complex based on it are the basis for the economic development in Krasnodar region. The region is the largest producer of agricultural products in the Russia. Insufficient state support for agriculture may have irreversible consequences in the modern competitive conditions of the economic development and the state of the world market, as well as the anti-Russian economic sanctions. The elaborated proposals tend to improve the efficiency in the functioning of regional management system of agricultural development in Krasnodar region.

Keywords: agricultural policy, region, state and municipal programs, social and economic development, proposals.

Многоотраслевое сельское хозяйство во многом определяет экономические особенности развития Краснодарского края. Регион производит свыше 7 % валовой сельскохозяйственной продукции РФ. Краснодарский край в полном объеме обеспечивает в стране производство чая, различных субтропических и цитрусовых культур, лидирует по производству зерна. Доля продукции сельского хозяйства в ВРП на протяжении последнего десятилетия составляла 14,5–17,9 %.

Региональное управление развитием сельского хозяйства включает реализацию организационно-экономических, инвестиционных, отраслевых и инновационных задач аграрной политики. Для решения данных задач региональные органы власти используют различные механизмы и инструменты, основанные на реализации стратегии социально-экономического развития, государственных и муниципальных программ [1, с. 194–197].

В регионе реализуется «Стратегия социально-экономического развития Краснодарского края до 2030 г.». В данной стратегии Краснодарский край представляется как регион эффективного развития сельского хозяйства, основанного на использовании инноваций. А сельское хозяйство должно обеспечивать потребности населения в высококачественных и экологически чистых продуктах питания и переработки сельхозпродукции, что крайне необходимо для здоровья жителей, обеспечения продовольственной безопасности и региона, и всей страны [2, с. 150–151].

Производимая на территории Краснодарского края сельскохозяйственная продукция в настоящее время недостаточно конкурентоспо-

собна. Это связано с отсутствием современного научно-ориентированного инновационного подхода в растениеводстве и животноводстве, с использованием ретротехнологий, с недостаточной мотивацией товаропроизводителей к высокому качеству сельхозпродукции. В связи с этим в рамках реализуемой политики импортозамещения для обеспечения национальной безопасности крайне необходима господдержка развития сельского хозяйства в регионе [3, с. 155–158].

Государственная поддержка развития сельского хозяйства и импортозамещающих производств на территории Краснодарского края проводится в рамках выполнения федеральной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельхозпродукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 гг. Для отрасли растениеводства в крае наблюдаются положительные тенденции роста объемов государственной финансовой поддержки с 2013 г. по настоящее время. Объемы финансовой поддержки предприятий растениеводства края на приобретение элитных посевных семян, развитие регионального садоводства и виноградарства из федерального бюджета выросли за 2016–2018 гг. в 4,3 раза, из регионального бюджета – в 3,1 раза. Рост объемов господдержки аграриев Краснодарского края после введения санкционного режима способствует поэтапному снижению импортной зависимости региона на продукцию растениеводства.

Господдержка развития сельского хозяйства Краснодарского края, связанная технологической модернизацией и выполнением инновационных проектов предприятиями началась только в 2017 г. Всего суммарно из федерального и регионального бюджетов выделяется на год около 900 млн руб.

С целью социально-экономического развития на территории Краснодарского края в 2019 г. выполнялось 26 государственных программ, в том числе программа «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия», реализуемая с 2016 г. Координатором программы является Министерство сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Краснодарского края. В 2018 г. были достигнуты значения 8 из 13 целевых показателей программы. Так, показатель «Среднемесячная заработная плата работников сельского хозяйства» составил 31627,6 руб. (план 29854,0 руб.). В настоящее время заработная плата в сельской местности в среднем в 3,6 раза ниже, чем у работников кредитно-финансовой сферы и в 1,7 раза меньше, чем в промышленном производстве. Инфраструктура сельских территорий требует реноваций. Региональные и муниципальные власти должны в обязательном порядке осуществлять мероприятия, направленные на повышение качества жизни сельского населения и развитие сельских территорий [4, с. 103–107]. Распределение субсидий на поддержку устойчивого развития сельских территорий должно осуществляться с учетом имеющихся лимитов средств, численности постоянного населения, «коэффициента

выравнивания», отражающего уровень соцобеспеченности населения муниципального образования, по сравнению со среднекраевым значением.

По данным Краснодарстата, большую часть посевов (66 %) в Краснодарском крае в 2018 г. осуществили сельхозорганизации. На их долю приходится свыше 82 % всех сельскохозяйственных угодий. В их обязанности должно входить не только эффективное использование земель, но и бережное отношение к земельным ресурсам, предполагающее сохранение плодородия почв [5, с. 6–7].

По сравнению с периодом до реализации госпрограммы, увеличилась урожайность большинства выращиваемых сельхозкультур, кроме озимой ржи (снизилась в 1,9 раза), гречихи (1,3 раза). При этом, за 2010–2018 гг. изменилось соотношение посевных площадей под разными культурами. Увеличились на 24,8 % территории посевов зерновых. А для остальных сельхозкультур площади посевов сократились, и больше других – для картофеля (на 43 %). При эффективном управлении сельским хозяйством залежи, подходящие под выращивание сельхозкультур, нужно постепенно переводить в пашню, а непригодные – использовать под сенокосы, выпас скота и другое [6, с. 85–89].

Рассматривая эффективность регионального управления сельским хозяйством, необходимо производить комплексную всестороннюю оценку результатов экономической деятельности, учитывающей не только полученную продукцию и ее стоимость, но и нанесенный сопутствующий техногенный вред почвам, грунтовым водам и другим объектам окружающей среды. Анализ особенностей функционирования системы регионального управления развитием сельского хозяйства в Краснодарском крае показал, что как приоритетные должны быть скорректированы следующие направления её совершенствования: оптимизация господдержки и регулирования аграрной сферы, с первенством импортозамещающих и экспортирующих производств и особыми программами для фермерских хозяйств; ускоренная модернизация сельского хозяйства на основе инноваций; максимально-рациональное использование природного многообразия ресурсных возможностей региона.

Для повышения эффективности функционирования системы регионального управления развитием сельского хозяйства в Краснодарском крае рекомендуется расширение мероприятий государственных программ по оптимизации системы кредитования и страхования урожая, по реструктуризации задолженностей агропроизводителей, возникших из-за макроэкономических причин, по снижению стоимости лизинга, развитию рынка сбыта, по созданию благоприятных условий для активизации инвестиционной и инновационной деятельности сельхозпроизводителей. Данные предложения будут способствовать росту урожайности сельхозкультур, повышению качества продукции растениеводства и животноводства, обеспечению продовольственной безопасности в регионе.

Список литературы:

1. Камбарова, Е. А. Анализ социально-экономического развития сельских территорий Краснодарского края / Е. А. Камбарова // Аграрная география в современном мире : сб. ст. к 90-летию юбилею Виктора Николаевича Тюрина. – Краснодар : КубГУ, 2014. – С. 194–197.
2. Санникова, А. Б. Особенности региональной политики в сфере здравоохранения на примере Краснодарского края / А. Б. Санникова // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте : тр. XXVI Междунар. конф. – Новороссийск : Гос. морской ун-т им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2018. – С. 150–151.
3. Санникова, А. Б. Особенности регионального управления развитием сельского хозяйства в Краснодарском крае / А. Б. Санникова // Фундаментальные исследования. – 2020. – № 5. – С. 155–159. – DOI 10.17513/fr.42763.
4. Санникова, А. Б. Эффективность управления реализацией государственной демографической политики на территории Краснодарского края / А. Б. Санникова // Фундаментальные исследования. – 2019. – № 4. – С. 103–107. – DOI 10.17513/fr.42446.
5. Санникова, А. Б. Экология: количественная оценка геохимических систем биосферы : практикум : учеб. пособие (гриф УМО) / А. Б. Санникова. – Краснодар : КубГУ, 2011. – 125 с.
6. Алексеенко, В. А. Количественная оценка накопления химических элементов в почвах техногенных ландшафтов Западного Кавказа / В. А. Алексеенко, А. Б. Бофанова // Известия ТРТУ. – 2001. – № 2 (20). – С. 85–89.

Техносферная безопасность: пути оценки

М. Н. Чура, Н. Н. Чура

Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск, nmchura@mail.ru

Рассмотрено социальное и профессиональное значение категории и термина «безопасность». Приведены пути и способы оценки, обоснования и обеспечения безопасности объектов, вытекающие из законодательных формулировок. Для решения образовательных задач проанализированы аспекты экологической безопасности.

Ключевые слова: техносферная безопасность, законодательство, анализ формулировок, пути достижения.

The social and professional meaning of the category and the term "safety" is considered. The ways and means of assessing, substantiating and ensuring the safety of facilities, arising from the legislative wording, are presented. To solve educational problems, aspects of environmental safety were analyzed.

Keywords: technosphere safety, legislation, analysis of wording, ways to achieve.

Практически полное отсутствие значения понятия «Техносферная безопасность» (ТБ) во всех нормативных документах, кроме образовательных, способствует появлению множества трактовок этого термина. При этом его ключевые компоненты «техносфера» и «безопасность» на практике также трактуются неоднозначно. Однако, если первый – техносфера фигурирует, в основном, в работах философского и общественного характера, и не претендует, по нашему мнению, на строгое толкование, то безопасность в своём значении играет совсем другую роль.

Во всех сферах жизни и деятельности категория «безопасность» обретает или уже обрела первостепенное значение. Не имея универсальности в виде общей трактовки, данная категория включена в современное законодательство в форме понятийного аппарата основных (базовых) законов, относящихся к отдельным видам безопасности, например, промышленной, пожарной, экологической и т.д. Соблюдение законодательства, напомним, является обязательным, что автоматически решает вопрос с трактовками термина «безопасность» также в пользу обязательности. Вместе с тем, правила трактовки термина здесь не является самоцелью; в вопросах безопасности она играет более важную роль.

В сфере образования, а тем более профильного в данном случае направления подготовки – «ТБ», существуют свои особенности. С одной стороны, ещё на уровне ОБЖ и БЖД известны основные аксиомы безопасности: «Окружающий мир (и любая деятельность) потенциально опасны». С другой – наш выпускник – это специалист в области безопасности, в некоторой степени – универсал, т.к. обучен основам нескольких видов безопасности. Его прямая задача – оценка, обоснование и/или обеспечение безопасности технологий, материалов, помещений, т.е. объектов. Несмотря на постоянную относительность категории «безопасность» (она не может быть абсолютной, хотя бы в силу приведённых выше аксиом), поиск грани опасное/безопасное для специалиста не представляет сложности. По крайней мере, в своём схемном решении. Для этого следует вспомнить трактовку ключевого термина для конкретного вида безопасности из базового закона (он обязателен).

К примеру, если в сфере промышленной безопасности (№ 116-ФЗ) безопасность определена как состояние защищенности..., то для обоснования и утверждения о безопасности какого-либо объекта (в законе речь идет об опасных производственных объектах) следует убедиться в соответствии указанного объекта действующим нормам, правилам, стандартам, положениям и т.д., в части, касающейся вопросов безопасности. Таким образом, речь идет о способности специалиста ориентироваться в нормативной документации указанного профиля, а это могут быть десятки и сотни различных документов (в основном, нормативно правовых и нормативно технических). Здесь, как правило, уже необходим практический опыт.

Принципиально иное определение установил другой базовый закон (184-ФЗ): безопасность – состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни... . Здесь впервые в законодательстве используется термин «риск», количественная величина которого либо качественная оценка являются мерой уровня безопасности. Задача обоснования/обеспечения безопасности выполняется в этом случае по схеме: оценка риска объекта – сравнение величины риска с критериями допустимых значений – вывод об обеспечении (или отсутствии) безопасности объекта [1]. Эта схема выглядит более простой, но требует от специалиста владения методами и методиками оценки риска. Таковы пути оценки уровня безопасности, не просто соответствующие законодательству, а вытекающие из понятийного аппарата основных профильных законов.

Важность обычной законодательной терминологии подчеркнем на основе краткого анализа формулировки из основного закона экологической направленности (№7-ФЗ), наиболее близкого нашим студентам: «экологическая безопасность – состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий». Любой вид безопасности в своем названии (и понимании) имеет (должен иметь) объект защиты и источник опасности. Иначе сложно вообще говорить о безопасности. Таким образом, объект защиты здесь – часть окружающей среды – природная среда (поэтому термин «окружающая природная среда» потерял актуальность). Жизненно важными для человека являются:

- компоненты природной среды (земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и т.д.);

- природные объекты – естественные экосистемы, природные ландшафты;

- природно-антропогенные объекты, имеющие рекреационное и защитное значение; т.е. всё то, что согласно закону (№ 7-ФЗ), входит в понятие «природная среда (природа)». При этом сам человек здесь не является объектом защиты.

К источникам опасностей, которые следует учитывать при рассмотрении вопросов экологической безопасности, основной закон относит практически всю существующую ноосферу (сферу опасностей). За исключением, пожалуй, ближнего космоса при воздействии каких-либо внешних сил. Этим подчеркивается уязвимость природной среды, возможность воздействия на неё всего спектра самых различных опасностей. Отсюда, из уникальной уязвимости природы вытекают особые профессиональные задачи, стоящие перед нашими выпускниками.

Список литературы:

1. Чура, М. Н. Техносферная безопасность: допустимый и фоновый риск / М. Н. Чура, Н. Н. Чура // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте : тр. XXVII Междунар. конф. (9–14 сентября 2019 г.). – Краснодар : КубГТУ, 2019. – С. 136–138.

Многолетние эколого-фитоценотические изменения макрофитобентоса памятника природы «Суджукская лагуна» (Новороссийская бухта, Чёрное море)

Н. С. Березенко

Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск, *n-berezenko6753@rambler.ru*

Приведены данные о многолетних изменениях донной растительности Суджукской лагуны – комплексного памятника природы регионального значения Крас-

нодарского края. Показано, что за последние 100 лет количество макрофитов увеличилось с 16 до 27, обнаружено шесть новых видов, типичных для эвтрофных акваторий, более 13 видов исчезло. Отмечено практически полное исчезновение фитоценоза харовых водорослей *Lamprothamnium papulosum* + *Chara vulgaris* и доминирование фитоценоза лагунного типа *Ruppia cirrosa* – *Lophosiphonia obscura* – *Cladophora aldidia*. Показано, что последние годы происходит интенсивное зарастание лагуны сообществами высшей водной растительности с доминированием *Stuckenia pectinata* и *Phragmites australis*, а на загрязненных участках с высокой антропогенной нагрузкой наблюдается заболачивание. Сделан вывод, что отсутствие эффективных мер по охране памятника природы «Суджукская лагуна» может привести к потере этого уникального водоема.

Ключевые слова: видовой состав, макрофитобентос, многолетняя динамика, памятник природы, Суджукская лагуна, Черное море.

The data on long-term changes in the bottom vegetation of the Sudzhuk lagoon, a complex natural monument of regional significance in the Krasnodar Territory, are presented. It is shown that over the past 100 years the number of macrophytes has increased from 16 to 27, 6 new species, typical of eutrophic waters, have been discovered, more than 13 species have disappeared. The almost complete disappearance of the phytocenosis of the chara algae *Lamprothamnium papulosum* + *Chara vulgaris* and the dominance of the phytocenosis of the lagoon type *Ruppia cirrosa* – *Lophosiphonia obscura* – *Cladophora aldidia* are indicated. In recent years, the lagoon has been intensively overgrown with communities of higher aquatic vegetation dominated by *Stuckenia pectinata* and *Phragmites australis*, and waterlogging is observed in polluted areas with a high anthropogenic load. The lack of effective measures to protect the natural monument "Sudzhuk Lagoon" can lead to the loss of this unique reservoir.

Keywords: species composition, macrophytobenthos, long-term dynamics, natural monument, Sudzhuk lagoon, Black Sea.

Суджукская лагуна, образующая с Суджукской косой и о. Суджук единый природный комплекс, отнесена к памятникам природы регионального значения и представляет один из уникальных приморских объектов сети ООПТ Краснодарского края. Прилегающая к лагуне территория суши является природной достопримечательностью рекреационного профиля «Прилагунье», созданная как ООПТ в 2016 г. Природоохранное значение памятника природы: водоем для нагула и нереста промысловых видов рыб, сохранения местообитаний водоплавающих птиц в период миграций и зимовки, а также биотопов прибрежной растительности [1, 2]. В начале прошлого столетия (1900 г.) лагуна также имела эколого-социальная значимость, как объект, обладающий лечебными грязями.

Первые сведения о донной растительности Суджукской лагуны опубликованы в начале XX в. [3, 4]. Более подробные сведения о видовом составе, пространственной структуре донных фитоценозов лагуны и на прилегающей с юго-запада морской акватории представлены в 70–80-е гг. XX в. в работах В. В. Громова [5], А. А. Калугиной-Гутник и др. [6].

Высокая освоенность и расширение территорий городской застройки на берегах Новороссийской бухты существенно отразились на гидроло-гидрохимическом режиме Суджукской лагуны и привели к перестройке прибрежных комплексов и экосистемы. Цель работы: по ре-

зультатам эколого-фитоценотического анализа многолетних данных мониторинга макрофитобентоса Суджукской лагуны выявить особенности его трансформации в период 1921–2019 гг. и разработать рекомендации по сохранению экосистемы ООПТ.

В работе использованы опубликованные данные и материалы съёмок, выполненных в летний период с 1978 по 2019 гг. Отбор проб макрофитобентоса проводился по общепринятой методике [7], по единой сетке станций. Макрофиты определялись до вида по [8] и с учётом последних номенклатурных изменений [9].

За период с 1921 по 2015 гг. в составе макрофитобентоса было выявлено 49 видов. Если в начале XX в. в составе донных фитоценозов не были отмечены виды *Chlorophyta* [3, 4], то в начале 80-х гг. обнаруживается 3 вида, а к 2019 г. их количество увеличилось почти в 5 раз. Значительное увеличение количества зеленых водорослей произошло в последние 20 лет [10].

Таблица – Изменение количества видов макрофитов Суджукской лагуны (1921–2019)

Таксон	Год наблюдений								
	1921	1970	1979	1985	1995	2009	2012	2015	2019
Tracheophyta	4	2	2	2	2	1	2	2	2
Charophyta	2	2	2	2	-	1	2	2	2
Chlorophyta	-	3	3	8	5	11	11	14	12
Ohrophyta (Chromista)	2	3	3	1	3	–	2	2	3
Rhodophyta	8	6	6	4	4	5	6	7	5
Общее число видов	16	16	16	17	14	18	22	26	24

Примечание. – Прочерк означает отсутствие видов.

По результатам исследований 2019 г. число видов макрофитов в лагуне уменьшилось и равно 24. Макрофиты, указанные в сводках разных лет прошлого столетия и не обнаруженные в 2015 г., также не были встречены и летом 2019 г. Помимо этого, к исчезнувшим из фитоценозов лагуны водорослям следует отнести *Polysiphonia opaca* L., *Ulva prolifera* [= *Enteromorpha prolifera*] O. F. Müller и *Enteromorpha clathrata* C. Agardh. Выявленные в последние годы изменения видового состава донных растительных сообществ лагуны связаны с изменением гидролого-гидрохимического режима вод, как следствие возросшей антропогенной нагрузки на акваторию и прилегающую территорию, что неоднократно отмечали [2, 11 и др.].

К числу видов, вновь появившихся в 2019 г., следует отнести бурю водоросль *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh., три молодые особи которой были найдены вблизи прорана. Последний раз этот вид был указан в сводках 1985 г. [6].

В настоящее время на всей площади лагуны доминирует фитоценоз *Ruppia cirrhosa* – *Lophosiphonia obscura* – *Cladophora albida*, но проек-

тивное покрытие (ОПП) его изменилось. Так, на ст. 5, 10 и 14, где в 2015 г. ОПП составляло 100 %, в 2019 г. не превышало 50–65 %.

Из числа харовых водорослей *Lamprothamnium papulosum* (K. Walther) J. Groves по-прежнему отмечается единично и только в северной части лагуны (ст. 12–14), тогда как в середине XX в. этот вид встречался повсеместно.

Анализ межгодовых изменений биомассы для ключевых и сопутствующих видов макрофитобентоса за 1985, 2015 и 2019 гг. показал в целом незначительные изменения. Если в 2015 г. общая биомасса колебалась от 168 до 1813 г/м², то в 2019 г. варьировала в интервале от 205 до 1700 г/м². В сложении фитоценоза увеличилась доля *Lophosiphonia obscura* (C. Agardh) Falkenberg с 47,6% до 53%, *Cladophora aldidia* (Nees) Kutzing – с 24,7 до 33,1% и *Ulva intestinalis* – с 0,7 до 1,6%. Средняя биомасса *R. cirrhosa* снизилась с 278,1 до 198,2 г/м². Наибольшие изменения отмечены на северном участке (ст. 11–14). Если в 1985 г. биомасса *C. vulgaris* составляла от 1,2 до 16 г/м² (ст. 6 и 11), в 2015 г. на этих же станциях 1,2–4,4 г/м², то в 2019 г. не превышала 2,0 г/м². Наименьшая общая биомасса водорослей отмечена, как и в предшествующие годы, вблизи прорана (ст. 2, 16, 17), где она изменялась с 178 и 254,6 г/м². Высокие значения показателя зарегистрированы в северо-восточном участке (ст. 5, 6, 7, 11), здесь биомасса макрофитов изменялась от 212,4 до 1444,2 г/м².

Практически повсеместно продолжается интенсивное зарастание акватории высшей водной и околотовидной растительностью с доминированием сообществ *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. и *Stuckenia pectinata* (L.) Börner.

Таким образом, с изменением видового состава макрофитов произошла значительная трансформация донной растительности, существенно изменились количественные и качественные показатели макрофитобентоса, наблюдается выраженный процесс заболачивания северного участка памятника природы «Суджукская лагуна». В этой связи, первостепенной природоохранной задачей является разработка комплекса мероприятий, направленных на сохранение экосистемы Суджукской лагуны, ее биологического и ландшафтного разнообразия, в том числе: полное прекращение сброса хозяйственно-бытовых сточных вод и застройки косы и Прилагунья, запрет на перемещение в водоём с прилегающей морской части берега выброшенных штормом водорослей, а также регламентирование рекреационной нагрузки на акваторию и берег в летний период.

Список литературы:

1. Характер Суджукской лагуны – памятника природы (по материалам гидрохимических, гидробиологических и ботанических исследований) : отчёт о НИР (заключительный). – Новороссийск : НБС, 1996. – 81 с.
2. Поворознюк, А. Т. К вопросу изменения выводного состава макрофитобентоса Суджукской лагуны за последние 40 лет (1970–2012 г.) / А. Т. Поворознюк, Н. С. Березенко // Развитие науки и образования в современном мире : сб. науч. тр.

по материалам Междунар. науч.-практ. конф. – Москва : АР-Консалт, 2014. – Ч. 1. – С. 67–72.

3. Арнольди, В. М. Водоросли Суджукской лагуны (у Новороссийска) / В. М. Арнольди // Известия Российского гидрологического института. – 1924. – № 10. – С. 42–56.

4. Арнольди, К. В. Распространение растительности в Суджукской лагуне / К. В. Арнольди // Известия Российского гидрологического института. – 1924. – № 10. – С. 61–70.

5. Громов, В. В. Эколого-фитоценотические изменения в Суджукской лагуне / В. В. Громов // Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы. Естественные науки. – 1982. – № 4 (37). – С. 45–48.

6. Калугина-Гутник, А. А. Современное состояние фитобентоса Суджукской лагуны / А. А. Калугина-Гутник, М. Р. Халилова, Н. В. Миронова, Н. С. Березенко // Экология моря. – 1988. – № 30. – С. 29–36.

7. Калугина-Гутник, А. А. Фитобентос Чёрного моря / А. А. Калугина-Гутник. – Киев : Наук. думка, 1975. – 247 с.

8. Зинова, А. Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР / А. Д. Зинова. – Ленинград : Наука, 1967. – 400 с.

9. Guiry, M. D. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway / M. D. Guiry, G. M. Guiry. – 2020. – URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 30.07.2020).

10. Berezenko, N. S. Long-term changes of macrophytobenthos of "Sudzhuk lagoon" natural monument (Black sea). – Nature Conservation Research / N. S. Berezenko, N. A. Milchakova // Заповедная наука. – 2018. – Т. 3, № 4. – С. 59–67.

11. Афанасьев, Д. Ф. Научные записки природного заповедника «Мыс Мартыян» / Д. Ф. Афанасьев, М. М. Середя, Н. С. Березенко, Я. И. Мартынов. – Вып. 3. – Ялта, 2012. – С. 166–176.

Ихтиопланктон Геленджикской бухты в весенний и летний периоды 2020 г.

Н. П. Студиград

Новороссийский учебный и научно-исследовательский морской биологический
центр – филиал Кубанского государственного университета, Новороссийск,
biozentr@yandex.ru

Рассмотрены качественные и количественные характеристики ихтиопланктона Геленджикской бухты в весенний и летний периоды 2020 г. Кратко изложены основные экологические проблемы бухты в летний период. Изучен состав доминантов, представленных видами-мигрантами средиземноморского происхождения. Проведено сравнение данных между собой и с более ранними исследованиями. Оценена динамика основных характеристик в наиболее продуктивный период для размножения рыб.

Ключевые слова: Геленджикская бухта, ихтиопланктон, качественный состав, количественный состав.

Qualitative and quantitative characteristics of the Ichthyoplankton in the port of Gelengzhik in the summer period of 2020 year have been considered. The main ecological issues of the harbour at the summer period have been briefly considered. Composition of dominant species represented by migrating species of Mediterranean origin has been researched. The comparison of data with each other and with earlier studies was carried out. The dynamic at the most productive period for breeding of fishes has been assessed.

Keywords: Gelendzhik harbour, Ichthyoplankton, qualitative composition, quantitative composition.

Геленджикская бухта – один из наиболее известных, но не самых крупных, рекреационных объектов черноморского побережья, до недавнего времени не задействованный в перевалке крупных грузов. Объем Геленджикской бухты составляет 75 x 106 м³, время полной смены воды в бухте от 0,6 до 6 суток [1]. Основной экологической проблемой данного района является аварийное состояние ливневой канализации, к которой нелегально подключена значительная часть частного сектора. Содержимое стоков во время дождей поступает в море, что приводит к повышению уровня загрязняющих веществ и микрофлоры, особенно остро данная проблема встаёт в летний период [2, 3]. Также, с окружающих город виноградников и сельхозугодий, много лет обрабатываемых пестицидами и медьсодержащими веществами, в море смываются данные соединения [4]. До определённого периода, благодаря высокой самоочищающей способности, экологическое состояние Геленджикской бухты считалось благополучным [1]. Но, согласно исследованиям, проведённым в 2017 г., не смотря на то, что средние величины загрязняющих веществ не имеют устойчивого превышения ПДК (за исключением марганца), часто наблюдаются локальные максимумы концентраций, превышающие ПДК (для железа, марганца, свинца и ртути). Кроме того, в сравнении с другими прибрежными водами, для Геленджикской бухты отмечен стабильно повышенный фон содержания практически всех загрязняющих веществ [4].

Геленджикская бухта в составе всего кавказского побережья Чёрного моря считалась районом благоприятным для нереста и нагула, чему способствовало отсутствие крупнотоннажного флота. Наиболее продуктивный период для размножения рыб совпадает со временем ежегодно возрастающей рекреационной нагрузки. В связи с чем, целью данной работы является исследование ихтиопланктона (икры и личинок рыб), как важного компонента пелагического сообщества и объекта, характеризующего развитие региональной ихтиофауны.

Видовой состав ихтиопланктона, зафиксированного в Геленджикской бухты в мае 2020 г., насчитывал 10 таксономических единиц (табл. 1). Из них 6 отмечены на стадии икринки (морская мышь, барабуля, гребенчатый губан, арноглоссус, хамса и тёмный горбыль), 4 – на личиночной стадии (бурая морская собачка, рулена, носатый губан, бычок-лысун) [5].

В июне в материалах насчитывалось 13 видов ихтиопланктона (9 – пелагофильные, 4 вида с придонной икрой). Качественный состав пополнился рябчиком, морским карасём, чёрным бычком, морским языком, каменным окунем и ставридой. Не отмечены в пробах редко встречаемые морская мышь и носатый губан. По различным данным в весенне-летний период у побережья Черного моря размножается 27–34 вида рыб [6–8]. Но Геленджикская бухта – относительно небольшая, несколько изолированная акватория. Массовые теплолюбивые виды (хам-

са, ставрида, морской карась, барабуля) предпочитают нереститься на больших глубинах у открытого побережья. В литературных источниках отмечается также перераспределение и сокращение численности икры массовых видов рыб в течение последних лет по предположительной причине сравнительно высоких температурных показателей воды [9].

Таблица 1. – Видовой состав ихтиопланктона Геленджикской бухты в весенне-летний период 2020 г.

Вид	май	июнь
<i>Callionymus pusillus</i> (D.) – морская мышь	×	
<i>Mullus barbatus ponticus</i> (E.) – барабуля	×	×
<i>Ctenolabrus rupestris</i> (L.) – гребенчатый губан	×	×
<i>Arnoglossus kessleri</i> (S.) – арноглоссус	×	×
<i>Engraulis encrasicolus</i> (L.) – хамса	×	×
<i>Crenilabrus tinca</i> (L.) – рулена	×	
<i>Crenilabrus griseus</i> (L.) – рябчик		×
<i>Symphodus scina</i> (F.) – носатый губан	×	
<i>Parablennius zvonimiri</i> (K.) – бурая морская собачка	×	×
<i>Pomatoschistus microps</i> – бычок- лысун	×	×
<i>Sciaena umbra</i> (L.) – тёмный горбыль	×	×
<i>Diplodus annularis</i> – морской карась		×
<i>Gobius niger</i> – чёрный бычок		×
<i>Solea lascaris nasuta</i> (P.) – морской язык		×
<i>Serranus scriba</i> – каменный окунь		×
<i>Trachurus mediterraneus ponticus</i> – ставрида		×

В весенний период общая численность составляла $30,4 \pm 1,5$ экз./100 м³, в анализируемых материалах преобладала икра гребенчатого губана (40 %). Средняя численность его составляла $12 \pm 0,3$ экз./100 м³.

Реже встречались морская мышь (19 %) и барабуля (13 %). Первый вид насчитывал в среднем $5,7 \pm 0,5$ экз./100 м³, второй – $4,1 \pm 0,5$ экз./100 м³.

Далее, в ряду сокращения численности, следовала икра тёмного горбыля и арноглоссуса, на долю данных видов приходилось по 7 % ($2 \pm 0,5$ и $2,3 \pm 0,3$ экз./100 м³ соответственно). На долю прочих видов приходилось 14 %. В данную группу входили виды, численность которых на станции не превышала 1,3 экз./100 м³. Сюда относились хамса, рулена, носатый губан, морская собачка и бычок.

В июне общая численность возросла на порядок – $255,2 \pm 4,5$ экз./100 м³. Доминирующий вид сменился, в летних обловах преобладал морской карась, на его долю приходилось 69 % улова, что соответствовало $175 \pm 4,7$ экз./100 м³.

Хамсы и гребенчатого губана выловлено на порядок меньше, доля в общем улове составляла 10 и 6 %. Вклад прочих видов не превышал 15 %.

В более ранних исследованиях, проведённых в летний период 2012–2013 гг., описаны икринки и личинки сходного количества видов – 14 таксономических форм (6 – мигрирующих, 8 – оседлых), доминировала, как и в наших пробах, икра морского карася (73,6 %). Общая численность в первый год более чем вдвое превышала показатели представленных исследований и составляла 505,5 экз./100³, в 2013 г. – увеличилась до 778 экз./100³ [10].

Таким образом, ихтиопланктонное сообщество Геленджикской бухты развивается в соответствии с календарными сроками, качественные показатели удовлетворительны для данного района, наблюдается сокращение количественных характеристик, в сообществе, как и в период 2012–2013 гг., преобладает икра морского карася.

Список литературы:

1. Привалова, Н. М. Экологическая ситуация Геленджикской бухты / Н. М. Привалова, Е. С. Пеструилова, А. А. Процай // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 9. – С. 96–97.
2. Загрязнение Геленджика // ECOPORTAL: сетевой журн. – 2018. – 24 августа. – URL: <https://ecoportal.info/zagryaznenie-gelendzhika/> (дата обращения: 29.08.2020).
3. Никифоров, Д. А. Загрязнение Геленджикской бухты сточными водами / Д. А. Никифоров // Всероссийский журнал научных публикаций. – 2011. – Май. – С. 88–89.
4. Часовников, В. К. Анализ концентрации загрязняющих веществ (нефтепродуктов, фенолов, СПАВ, ХОП, ПАУ, тяжёлых металлов и др.) в водной толще и донных осадках Геленджикской и Голубой бухт / В. К. Часовников, В. П. Чжу, О. А. Очередник // Некоторые результаты комплексной прибрежной экспедиции «Чёрное море-2017» на МНИС «Ашамба». – Москва : Научный мир, 2018. – С. 67–78.
5. Круглякова, Р. П. Краткая физико-географическая характеристика прибрежной зоны большого Геленджика и Геленджикской бухты / Р. П. Круглякова // Геоэкологические исследования и охрана недр : науч.-техн. информ. сб. – Вып. 4. – Москва : Геоинформцентр. – 2003. – С. 3–7.
6. Болтачёв, А. Р. Морские рыбы Крымского полуострова / А. Р. Болтачёв, Е. П. Карпова. – Симферополь : Бизнес Информ, 2012. – 200 с.
7. Дехник, Т. В. Ихтиопланктон Чёрного моря / Т. В. Дехник. – Киев : Наукова думка, 1973. – 225 с.
8. Емтыль, М. Х. Рыбы юго-запада России : учеб. пособие / М. Х. Емтыль, А. М. Иваненко. – Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 2002. – 340 с.
9. Надолинский, В. П. Изменения в видовом составе и численности ихтиопланктона Азовского и северо-восточной части Чёрного морей за период 2006–2017 под воздействием природных и антропогенных факторов / В. П. Надолинский, Р. В. Надолинский // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2018. – Т. 1, № 1. – С. 51–66.
10. Селифонова, Ж. П. Структурно-функциональная организация экосистем заливов и бухт Чёрного и Азовского морей (Российский сектор) : автореф. дис. ... докт. биол. наук / Селифонова Ж. П. – Мурманск, 2015. – 23 с.

Концентрация гумуса в почвах биогенных ландшафтов Черноморского побережья России

И. Ю. Матасова

Новороссийский учебный и научно-исследовательский морской биологический
центр – филиал Кубанского государственного университета,
Новороссийск, *biozentr@yandex.ru*

Рассмотрены некоторые результаты изучения особенностей ландшафтно-геохимической структуры (дифференциации) Черноморского побережья России. Показано влияние внешних факторов миграции и концентрации вещества на содержание гумуса в верхнем почвенном горизонте биогенных (природных) ландшафтов изучаемой территории. Приведены данные о связи концентрации гумуса в почвах биогенных ландшафтов Черноморского побережья России с концентрацией некоторых тяжелых металлов.

Ключевые слова: ландшафтно-геохимическая структура, геохимические ландшафты, почвы, миграция, концентрация, гумус

Some results of studying the features of the landscape-geochemical structure (differentiation) of the black sea coast of Russia are considered. The influence of external factors of migration and substance concentration on the humus content in the upper soil horizon of biogenic (natural) landscapes of the studied territory is shown. Data on the relationship of humus concentration in the soils of biogenic landscapes of the black sea coast of Russia with the concentration of some heavy metals are presented.

Keywords: landscape-geochemical structure, geochemical landscapes, soils, migration, concentration, humus

Ландшафтно-геохимическая структура Черноморского побережья России определялась в соответствии с принципами и классификационными признаками, разработанные А. И. Перельманом, М. А. Глазовской, Н. С. Касимовым, Б. Ф. Мильковым, В. А. Алексеенко [1–3].

В гумусовом горизонте почв большинства биогенных ландшафтов Черноморского побережья России развита окислительная обстановка, а в почвенном растворе отмечен гидрокарбонатно-кальциевый класс [4, 5]. В связи с этим процессы миграции и концентрации химических элементов (определяющиеся именно этими факторами) в почвах ландшафтов будут аналогичны.

Содержание гумусового вещества в верхнем горизонте почв является важным фактором, определяющим процессы миграции и концентрации химических элементов. Исследования показали, что в биогенных ландшафтах Черноморского побережья содержание гумуса в верхнем почвенном горизонте колеблется от 5,3 % до 7,5 %.

Как видно из таблицы 1, составленной по данным результатов определения содержания гумуса в 72 пробах, в верхнем горизонте почв ландшафтов лиственных лесов концентрация гумуса выше, чем в аналогичных ландшафтах смешанных лесов и альпийских лугов.

Такое различие в концентрации гумуса может быть связано с условиями гумусообразования и гумусонакопления в пределах отдельных биогенных ландшафтов. В ландшафтах альпийских лугов (при их интенсив-

ном техногенном использовании, характерном для региона) основным источником образования гумуса являются корни, масса которых в метровом слое может накапливаться от 6 до 12 т на 1 га. В почвах лесов источником формирования гумуса является подстилка, корни древесных растений, многолетние побеги, и их участие в образовании гумуса невелико. Остатки трав, богатые белками, разлагаются легко. Однако в условиях альпийского пояса, характеризующегося высокой влажностью (60–80 %) и благоприятной температурой, наряду с интенсивным разложением органических остатков идет и энергичная минерализация гумусовых веществ. Это приводит к накоплению малого количества гумуса в почвах. В ландшафтах смешанных лесов наряду с лиственными деревьями произрастают хвойные. Здесь опад составляют не только листья, но и хвоя. Разложение хвои, бедной белками, содержащей мало зольных элементов, но зато богатой лигнином, восками и смолами, идет медленно.

Таблица 1. Среднее содержание гумуса (в %) в почвах основных биогенных ландшафтов Черноморского побережья России

№ л-та	Характеристика ландшафта	Содержание гумуса, %
8	Элювиально-трансэлювиальный ландшафт лиственных лесов над карбонатно-терригенными отложениями мела-палеогена	6,9
14	Трансэлювиальный ландшафт лиственных лесов над карбонатно-терригенными отложениями мела-палеогена	5,9
17	Трансупераквальный ландшафт лиственных лесов над карбонатно-терригенными отложениями мела-палеогена	5,5
36	Элювиально-трансэлювиальный ландшафт смешанных лесов над карбонатно-терригенными отложениями мела-палеогена	5,4
9	Элювиально-трансэлювиальный ландшафт лиственных лесов над терригенными отложениями юры-мела	5,9
15	Трансэлювиальный ландшафт лиственных лесов над терригенными отложениями юры-мела	5,9
35	Элювиально-трансэлювиальный ландшафт смешанных лесов над терригенными отложениями юры-мела	4,9
54	Элювиально-трансэлювиальный ландшафт альпийских лугов над терригенными отложениями юры-мела	4,2

По-разному протекают процессы накопления гумуса в ландшафтах лиственных лесов, расположенных в различных геоморфологических условиях (таблица 1). Наибольшее содержание гумуса отмечается в элювиально-трансэлювиальных ландшафтах (№ 8 и № 9), приуроченных к верхним частям склонов, а также в трансэлювиальных ландшафтах (№ 14 и № 15), приуроченных к средней части склона. Самая низкая концентрация гумуса среди рассмотренных ландшафтов лиственных лесов отмечена в почвах пойменного ландшафта № 17 (6,17 %).

Благоприятные условия для процессов гумусообразования и гумусонакопления в верхнем горизонте почв отмечены в ландшафтах лиственных лесов, развитых над карбонатно-терригенными породами мел-палеогенового возраста (№ 8 и № 14) – в них концентрация гумуса

в 1,1–1,2 раза выше, чем в почвах аналогичных ландшафтов с терригенными породами мелового-юрского возраста (№ 9 и № 15). В ряде случаев это может быть связано с геохимическими особенностями горных пород, на которых развиты ландшафты. В почвах, развивающихся на карбонатных породах, кальция содержится больше. Такие почвы имеют нейтральную реакцию, благоприятную для развития микроорганизмов и закрепления гумусовых веществ в почве за счет образования нерастворимых в воде гуматов кальция.

Исследования показали, что в прямой зависимости (коэффициент корреляции $r = 0,87$) от содержания гумуса в почвах биогенных ландшафтов находится величина рН почвенного раствора. Связано это может быть, во-первых, с процессами образования солей вследствие реакций обмена между катионом металла и ионами водорода карбоксильных (-COOH) и фенолгидроксильных (-OH) групп гумусовых кислот, и, во-вторых, с составом горных пород. Величина рН почвенного раствора в ландшафтах лиственных лесов с карбонатно-терригенными отложениями мел-палеогенового возраста № 8 (рН = 6,97) и № 14 (рН = 7,3) выше, чем в аналогичных ландшафтах с терригенными породами юрского-мелового возраста № 9 (рН = 6,57) и № 15 (рН = 6,8). В верхнем почвенном горизонте почв ландшафтов лиственных лесов над карбонатно-терригенными отложениями мел-палеогенового возраста (№ 8 и № 14) в водных вытяжках содержится больше ионов Ca^{2+} и HCO_3^- , чем в почвах аналогичных ландшафтов лиственных лесов с терригенными отложениями юрского-мелового возраста (№ 9 и № 15) (таблица 2). Бикарбонат кальция, в состав которого входят эти ионы, – гидролитически щелочная соль:



По такой же схеме подвергаются гидролизу соли кальция и органических кислот, входящих в состав гумуса, увеличивая рН почвенного раствора.

Коэффициенты корреляции показали слабую положительную связь между средним содержанием Ni в верхнем почвенном горизонте большинства биогенных ландшафтов и средним содержанием гумуса. Содержание Mn в гумусовом горизонте почв ряда биогенных ландшафтов региона находится в обратной зависимости от среднего содержания гумуса в почвах этих ландшафтов.

Таблица 2 – Содержание типоморфных ионов (в %) в водных вытяжках из гумусового горизонта почв ландшафтов лиственных лесов Черноморского побережья России [6]

№ л-та	Число проб	Катионы			Анионы		
		$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}
8	32	11,23	27,15	8,24	31,05	11,20	9,56
9	10	21,70	18,50	8,33	26,91	16,95	6,21
14	23	11,61	29,11	6,04	33,55	10,67	5,62
15	2	32,6	11,20	6,2	11,4	37,5	0,90

Список литературы:

1. Дьяченко, В. В. Картографирование геохимических ландшафтов юга России (аспекты практического использования) / В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова, Л. Г. Дьяченко // География и природные ресурсы. – 2019. – № 3. – С. 16–25.
2. Дьяченко, В. В. Карта геохимических ландшафтов юга РФ / В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова // Геохимия ландшафта и география почв : материалы конф. – Москва : Изд-во Моск. ун-та, 2012. – С. 324–332.
3. Дьяченко, В. В. Ландшафтно-геохимическая дифференциация юга России / В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А. И. Перельмана) : докл. Всерос. науч. конф. – Москва : Изд-во Ин-та геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, 2016. – С. 355–358.
4. Карта геохимических ландшафтов Краснодарского края и Республики Адыгея. М – 1:500000 / В. А. Алексеенко, И. Ю. Матасова, Р. В. Аникеенко, А. Б. Бофанова, П. Л. Головинский [и др.]. – Пятигорск : СКАГП, 2000 г.
5. Матасова, И. Ю. Геохимические особенности природных и техногенных ландшафтов Черноморского побережья России : дис. ... канд. геол.-мин. наук / Матасова И. Ю. – Москва : Моск. гос. ун-т, 2003.
6. Матасова, И. Ю. Особенности распределения ряда элементов в почвах ландшафтов Черноморского побережья России / И. Ю. Матасова // Технологии, экономика и управление: анализ мировых и отечественных тенденций и перспектив развития : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. – Новороссийск, 2018. – С. 31–39.

Оценка взрывоопасности зерновой пыли при проведении перегрузочных работ методами лазерного зондирования

И. А. Сарычев¹, Е. В. Хекерт¹, П. В. Чартий², В. Г. Шеманин²

¹ Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск, vshemanin@mail.ru,

² Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, pvc-60@yandex.ru

Обоснована необходимость лазерного зондирования аэродисперсных потоков зерновой пыли при проведении перегрузочных работ для предотвращения ее взрывов. Выбраны методы и поставлены задачи для решения проблемы автоматического непрерывного контроля концентрации и дисперсности зерновой пыли.

Ключевые слова: зерновая пыль, взрываемость, дисперсность части, лазерные методы зондирования.

The necessity of laser sensing of aerodisperse grain dust flows during reloading operations to prevent grain dust explosions is substantiated. Methods are selected and tasks are set to solve the problem of automatic continuous monitoring of grain dust concentration and dispersion.

Keywords: grain dust, explosive properties, particle dispersion, laser sensing methods.

В последние несколько лет Россия становится одним из мировых лидеров по экспорту зерновых. Основная доля товарного потока осуществляется через портовые перегрузочные терминалы. Только в одном Новороссийском морском порту одновременно осуществляют перевалку зерна три независимых друг от друга зерновых терминалов. Общий объем

годового экспорта составляет более 5 млн. тонн. Доставка зерна на терминал осуществляется автомобильным и железнодорожным транспортом, с последующей его технологической транспортировкой и временным хранением перед погрузкой в судно. Транспортировка зерна от места сбора урожая до погрузки в судно осуществляется автомобильным и железнодорожным транспортом, сопровождается его технологической транспортировкой и временным хранением. В процессе этих технологических операций в результате трения зерна между собой, а также с оборудованием, образуются пылевые частицы, которые создают аэродисперсные потоки. Так как состав частиц зерновой пыли в основном представляет собой органические составляющие, концентрация частиц в аэродисперсных потоках может достигать взрывоопасных значений. Зерновая пыль становится взрывоопасной тогда, когда выделяющаяся тепловая энергия при возгорании частиц достаточна для нагревания контактирующей с воздухом поверхности частиц до температуры воспламенения. Возникновение взрыва при перегрузочных работах с зерном приводит, как минимум, к остановке процесса погрузки на время устранения последствий взрыва. При этом происходит простой судна и связанные с этим экономические потери.

Тонкая пыль более взрывоопасна и воспламеняется легче. Так, результаты экспериментальных исследований, представленные в [1], на примере угольной пыли показывают, что снижение максимального размера частиц пыли с 212 мкм до 25 мкм приводит к пятикратному уменьшению нижнего порога взрываемости пыли, что делает необходимость оценки дисперсности пыли весьма актуальной.

Для предотвращения взрывов зерновой пыли осуществляется ряд мероприятий. Одним из наиболее распространённых из них является орошение зерна рафинированным растительным или минеральным маслом, что приводит к значительному уменьшению её концентрации в воздухе [2]. Распыление масла осуществляется из расчёта удельных затрат массы масла на тонну зерна, а не по фактическому оцениванию взрывоопасности оставшейся зерновой пыли.

Для предотвращения взрывоопасных ситуаций предлагается осуществлять непрерывный автоматический контроль концентрации и дисперсности зерновой пыли. Наиболее предпочтительными являются методы дистанционного лазерного зондирования, которые нашли применение для контроля концентрации и дисперсности различных видов пыли [3]. В основе этих методов лежит теория Ми рассеяния монохроматического электромагнитного излучения сферическими однородными частицами [3, 4]. При определенном сочетании размера частиц и длины волны зондирующего излучения наблюдается сильная спектральная зависимость ослабления и рассеяния излучения частицам, которые и позволяют решать обратную задачу лазерного зондирования, выбирая наиболее оптимальные методы. Зерновая пыль является полидисперсной.

При этом её концентрация может варьироваться в широких пределах. В этих условиях оптимальными становятся интегральные методы лазерного зондирования, при реализации которых измерительный объём содержит представительное множество пылевых частиц [5–7]. К таким методам относятся метод спектральной прозрачности (МСП), метод полной индикатрисы рассеяния, метод малого угла индикатрисы рассеяния.

Метод спектральной прозрачности основан на измерении спектрального коэффициента пропускания двухфазного потока в некотором диапазоне волн. При прохождении зондирующего излучения с длиной волны λ через слой толщиной l , состоящей из равномерно распределённых в измерительном объёме монодисперсных частиц с диаметром a со счетной концентрацией C_n , происходит его ослабление за счет рассеяния и поглощения [3, 4, 8]. Интенсивность прошедшего света в этом случае определяется в соответствии с законом Бугера – Ламберта – Бера

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp(-\tau_\lambda) = I_0(\lambda) \exp(-K_\lambda l), \quad (1)$$

где I_0 – интенсивность падающего излучения, τ_λ – оптическая толщина слоя, K_λ – показатель ослабления слоя с концентрацией частиц C_n .

Наибольший интерес представляет применение МСП в области, где зависимость фактора эффективности ослабления Q от λ наиболее сильно выражена (в области до первого максимума функции Q). При этом наилучшие результаты получаются, когда многократным рассеянием лазерного излучения частицами можно пренебречь, но при этом оптическая плотность не ниже 0,1, а диапазон измеряемых радиусов находится в пределах от 0,05 мкм до 5 мкм) [8].

Этот метод используется для определения функции распределения частиц по размерам, но иногда достаточно знать средний размер и концентрацию частиц. К таким случаям относится и контроль взрывоопасности зерновой пыли. В этом случае можно воспользоваться модифицированным методом спектральной прозрачности. Он основан на измерении спектрального коэффициента пропускания τ_λ для двух фиксированных длин волн λ_1 и λ_2 излучения зондирующего лазера и расчету усреднённых факторов эффективности ослабления для этих же длин волн.

Отношение экспериментально измеренных оптических толщ на двух длинах волн равно отношению усреднённых факторов эффективности ослабления и представляет собой функцию среднего размера частиц:

$$\frac{\tau_{\lambda i}}{\tau_{\lambda j}} = \frac{\overline{Q}(a_{32}, \lambda_i, m)}{\overline{Q}(a_{32}, \lambda_j, m)} = F_{ij}(a_{32}), \quad (2)$$

где усреднённый фактор эффективности ослабления и средний объемно-поверхностный диаметр a_{32} определяются согласно [5]. По экспериментально измеренным $\tau_{\lambda i}$ и расчетным значениям $F_{ij}(a_{32})$ можно определить a_{32} . Концентрация частиц в зоне измерений определяется по формуле

$$C_m = \frac{\tau_\lambda \rho a_{32}}{1,5l\overline{Q}(a_{32}, \lambda, m)}. \quad (3)$$

Данный метод используется, если нет необходимости восстанавливать функцию распределения. Увеличение числа длин волн лазерного зондирования позволяет оценивать более точно параметры распределения частиц по размерам и восстанавливать саму функцию распределения.

Целью планируемых исследований является разработка методов и средств измерения концентрации и дисперсного состава зерновой пыли и создание аппаратно-программного комплекса на основе методов многочастотного лазерного зондирования, что позволит по результатам мониторинга предупреждать возникновение взрывоопасных ситуаций.

Для достижения поставленной цели планируется решить следующие задачи: оценить диапазоны возможных значений концентрации и функций распределения частиц зерновой пыли по размерам; оценить микрофизические и оптические характеристики частиц зерновой пыли; обосновать выбор и выбрать оптимальные длины волн лазерного излучения и сами лазеры для решения поставленных задач; выполнить теоретическую оценку ожидаемых результатов; создать лабораторный стенд для моделирования аэродисперсных потоков зерновой пыли; провести метрологические исследования для оценки возможности использования получаемых результатов для разработки соответствующих средств измерения; разработать и создать экспериментальный образец прибора для измерения концентрации и дисперсного состава зерновой пыли и провести его испытания в лабораторных и натурных условиях; получить научно-практические результаты, позволяющие их внедрение в соответствующих технологических местах процесса погрузочно-разгрузочных работ в портовых комплексах.

Список литературы:

1. Романченко, С. Б. Влияние дисперсного состава угольной пыли на показатели взрывоопасности / С. Б. Романченко, М. О. Девликанов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2019. – № 2. – С. 16–23.
2. Туриф, Я. Снижение органической пыли аппликацией минеральным маслом / Я. Туриф // Хлебопродукты. – 2006. – № 2. – С. 64–65.
3. Зуев, В. Е. Обратные задачи оптики атмосферы / В. Е. Зуев, И. Э. Наац. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1990. – 287 с.
4. Райст, П. Аэрозоли. Введение в теорию / П. Райст. – Москва : Мир, 1987. – 280 с.
5. Половченко, С. В. Восстановление функции распределения частиц по размерам на основе данных многоволнового лазерного зондирования / С. В. Половченко, В. Е. Привалов, П. В. Чартий, В. Г. Шеманин // Оптический журнал. – 2016. – Т. 83, № 5. – С. 43–49.
6. Привалов, В. Е. Экспериментальное зондирование промышленных аэродисперсных потоков / В. Е. Привалов, С. В. Половченко, П. В. Чартий // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2014. – № 4 (206). – С. 64–73.

7. Чартий, П. В. Восстановление функции распределения частиц по размерам с использованием методов лазерного зондирования / П. В. Чартий, С. В. Половченко // Безопасность в техносфере. – 2014. – Т. 3, № 6. – С. 37–42.

8. Архипов, В. А. Лазерные методы диагностики гетерогенных потоков / В. А. Архипов. – Томск : Изд-во Томск. ун-та, 1987. – 140 с.

Экспериментальное исследование особенностей световых параметров различных источников света

И. В. Калинина, В. Н. Храмов

Волгоградский государственный университет, Волгоград,
vladimir.khramov@volsu.ru

Исследованы особенности световых характеристик различных источников света, включая лазерные (лампы накаливания, люминесцентные, светодиодные, RGB-лазеры («белые» лазеры)). Проведено сравнение результатов измерений с данными производителей. Приведены результаты измерений других параметров источников света (спектров, диаграмм направленности, коэффициентов мощности и др.).

Ключевые слова: источники света, световые характеристики, лазеры.

The paper investigates the features of the light characteristics of various light sources, including laser (incandescent, fluorescent, LED lamps, RGB lasers ("white" lasers)). Comparison of the measurement results with manufacturers' data. The results of measurements of additional parameters of light sources (spectra, radiation patterns, power factors, etc.).

Keywords: light sources, light characteristics, lasers.

В работе были исследованы как бытовые лампы различного типа от нескольких производителей (лампы накаливания, светодиодные (LED) лампы, люминесцентные лампы), а также полупроводниковые лазеры, входящие в состав RGB-лазера: ($\lambda = 660$ нм; $\lambda = 405$ нм); $\lambda = 535$ нм. На рисунок 1. и 2. представлены типичные спектры для исследованных источников света, измеренные с помощью монохроматора МДР-23.

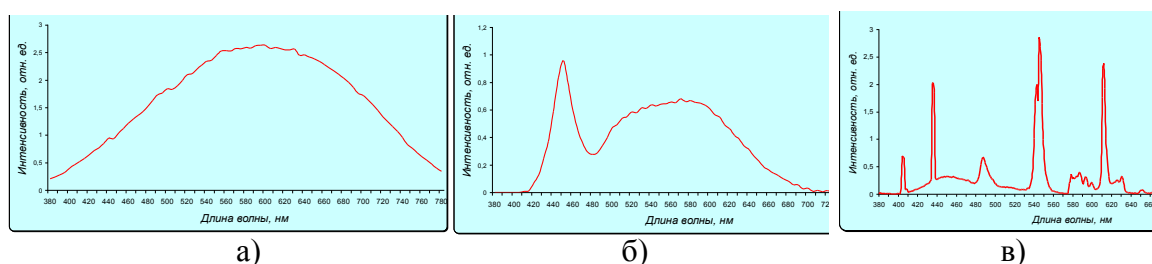


Рисунок 1 – Типичные спектры излучения: а) лампы накаливания; б) светодиодной (LED) лампы; в) люминесцентной лампы.

Видно, что у ламп накаливания сплошные спектры с максимумом в жёлтой области. У светодиодных ламп спектр состоит из 2-х частей: синяя область соответствует самому излучающему диоду, более широкая область соответствует свечению люминофора. В спектре люминесцентной лампы видны пики просвечивающей ртути и сплошной спектр люминофора.

Спектры полупроводниковых лазеров, представленные на рисунок 2 соответствуют длинам волн, на которых они излучают. Спектр «белого» (RGB) лазера представляет собой комбинацию трёх цветов – синего, зелёного и красного, на которые и приходятся спектральные максимумы.

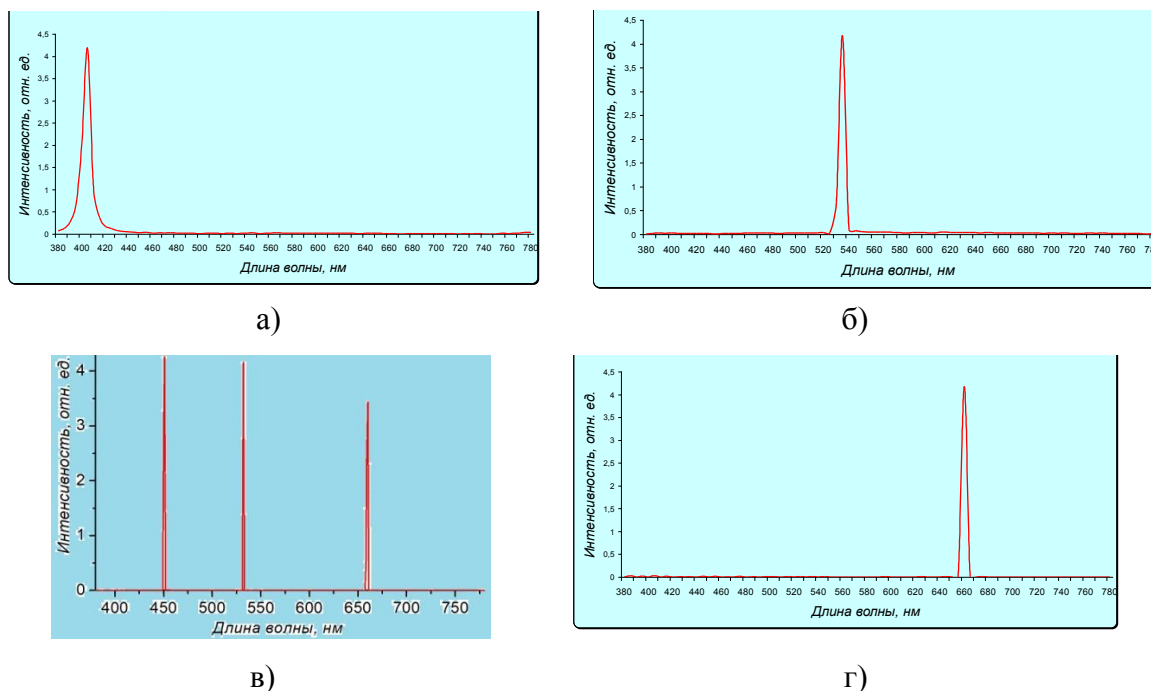


Рисунок 2 – Спектры излучения: а) фиолетового лазера (405 нм); б) зеленого лазера (535 нм); в) красного лазера (660 нм); г) RGB-лазера («белого» лазера)

Измерения световых и энергетических параметров проведены на разработанном гониофотометрическом стенде с использованием сертифицированного люксметра еЛайт03 КЕО и ваттметра PZ9800. Все исследованные нелазерные источники можно считать точечными изотропными источниками света, начиная с расстояния двух метров и более, поэтому при расчетах световых параметров на основе экспериментальных измерений использованы стандартные формулы.

Поскольку измерения проведены не в абсолютно черном помещении, то неизбежен учет величины отражательной засветки в полученных результатах. Тем не менее, можно с большой долей вероятности утверждать, что производители ламп чаще всего завышают значения световых параметров.

По полученным данным построены диаграммы направленности излучения, представленные на рисунок 3. Для ламп накаливания характерно неравномерное распределение освещённости. Вероятнее всего это связано со стеклянными колбами, толщина которых может быть неодинаковой в разных местах. Помимо этого, вольфрамовая спираль – сама по себе асимметричный излучатель. Исследованные светодиодные и люминесцентные лампы имеют типичное распределение освещённости, как показано на рисунок 3,в.

Из исследованных светодиодных ламп выделяется лампа с особенностью анизотропных пульсаций (рисунок 3,б). Одна из сторон лампы

выдаёт равномерное распределение освещённости с относительной погрешностью, не превышающей 8 %. Другая же сторона лампы при проведении измерений мерцала. Относительная погрешность измерений на этом промежутке оказалась порядка 20 %. Несимметричное мерцание (пульсация) может говорить о том, что часть светодиодов (расположенных дискретно) в скором времени выйдут из строя.

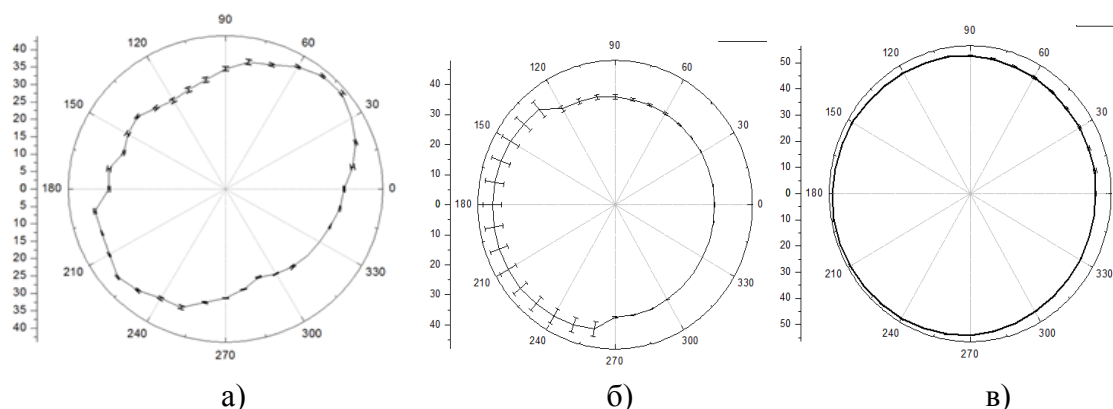


Рисунок 3 – Диаграммы направленности: а) лампа накаливания; б) светодиодная лампа с анизотропными пульсациями; в) светодиодная лампа

Вторая часть исследования заключалась в измерении электрических и энергетических параметров. Как оказалось, все исследованные лампы потребляют энергии больше, чем указано на упаковке. На основании полученных данных была рассчитана световая отдача источников тремя способами. Первый способ – использованы величины светового потока и потребляемой мощности, указанные производителем ($\eta_{\text{п}}$). Второй способ – рассчитанные значения по экспериментальным данным ($\eta_{\text{р}}$). И третий способ – расчёт с учётом коэффициента мощности ($\eta_{\text{кр}}$). В таблице 2 представлены основные результаты.

Таблица 2 – Результаты измерений электрических и энергетических параметров

Исследуемый источник света	Номинал, Вт	$\eta_{\text{п}}$, лм/Вт	Потребляемая мощность $P_{\text{р}}$, Вт	$\eta_{\text{р}}$, лм/Вт	$\eta_{\text{кр}}$, лм/Вт	Типичные значения η , лм/Вт
1).Лампа накаливания OSRAM	40	10,4	43	10,7	10,7	10
2).Лампа накаливания OSRAM	75	12,5	78,6	16,6	16,6	12
3).Лампа светодиодная LED	8	80	16,3	37,4	68	80
4).Лампа светодиодная BELLIGHT	8	82,5	16,5	43,3	84,9	80
5).Лампа светодиодная IEK	11	90	18,8	42,6	81,9	85
6).Лампа светодиодная ЭРА	15	80	25,7	42,2	71,5	90
7).Лампа светодиодная СТАРТ	20	80	35,6	51,4	98,8	95
8).Лампа люминесцентная ЭКОНОМКА	35	75	44,6	49,1	79,2	60

Таким образом, если рассчитывать световую отдачу с учётом полной мощности, то результат окажется практически в 2 раза меньше заявленного (исключение – лампы накаливания, у которых в цепях питания отсутствуют индуктивные и емкостные составляющие). Для светодиодных и люминесцентной ламп производители при указании световой отдачи учитывают коэффициент мощности.

Лазеры являются особым видом источников света, кардинально отличающимися от бытовых ламп. Стандартные формулы для расчёта световых параметров рассчитаны на то, что источник является изотропным и точечным. В случае лазерного источника, необходимо проверить можно ли его считать таковым. Было проверено выполнение второго закона освещённости для полупроводниковых лазеров, входящих в состав RGB-лазера (лазерного проектора).

На рисунок 4 представлены результаты проверки. Регрессионный анализ показал сильное отклонение экспериментальных данных от аппроксимирующей косинусоидальной кривой. Причина заключается в сложной поперечной структуре лазерного пучка, не обладающего изотропностью.

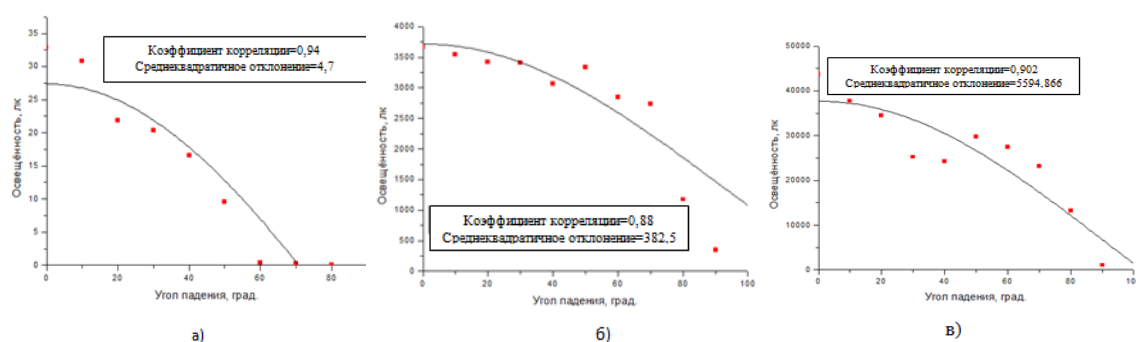


Рисунок 1 – Проверка 2-го закона освещённости для лазерных источников:
а – красный лазер; б – синий; в – зелёный

Поэтому для определения световых параметров лазера необходимы другие методы, связанные с энергетическими измерениями лазерных источников, а не стандартными измерениями источников освещения.

Возможности квадрокоптеров малых размеров для низковысотного зондирования турбулентных вихревых образований

*А. П. Шелехов, А. Л. Афанасьев, А. А. Кобзев, А. Е. Тельминов,
А. Н. Молчунов, Е. А. Шелехова, О. Н. Поплевина*

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, Томск, ash@imces.ru

Экспериментально показано, что турбулентные частотные спектры продольной и поперечной компонент флуктуаций скорости ветра совпадают с их оценками, полученными с помощью квадрокоптера *DJI Mavic Mini* в режиме парения.

Ключевые слова: турбулентность, спектр, квадрокоптер, низковысотное зондирование.

It is experimentally shown that the turbulent frequency spectra of the longitudinal and transverse components of wind speed fluctuations coincide with their estimates obtained using a DJI Mavic Mini quadcopter in hover mode.

Keywords: turbulence, spectrum, quadrocopter, low-altitude sensing.

Турбулентный атмосферный пограничный слой – это ближайшая к поверхности Земли область атмосферы. Поведение этого слоя влияет на критически важные процессы, связанные с вихревыми образованиями, сопутствующие движению беспилотного транспортного средства при транспортировке груза в «умном городе». В настоящее время мониторинг опасных турбулентных вихревых образований является одной из актуальных проблем безопасности в техносфере «умного города».

Основными традиционными средствами, которые используют для диагностики турбулентных вихревых образований, являются привязные аэростаты и метеорологические мачты с измерительными приборами. В последнее время в научных исследованиях и на практике стали применяться приборы, основанные на активных методах, используя сигнал обратного рассеяния радио-, звукового и лазерного излучения (радары, содары и лидары). Так, например, в работе [1] приводятся технические и метрологические характеристики двух отечественных серийных когерентных доплеровских лидаров, предназначенных для непрерывного круглосуточного мониторинга атмосферной турбулентности на малых и средних высотах.

К основным недостаткам перечисленных выше методов относят высокую стоимость, а также большую массу и габариты. Также существенным недостатком является то, что радары, содары и лидары не являются приборами *in situ*; они позволяют измерять состояние турбулентных вихревых образований, усредненное по достаточно большому рассеивающему объему.

Эти ограничения существующих методов зондирования привели к необходимости поиска новых технологий, исключающих перечисленные выше недостатки. К одним из таких технологий относят использование квадрокоптера, как с сенсором, так и без сенсора на летательном аппарате для изучения атмосферы на низких высотах [2, 3]. Основными достоинствами этих технологий являются: возможность квадрокоптера зависать в заданной точке пространства в течение продолжительного времени; малый вес и габариты; низкая стоимость.

Главной характеристикой турбулентности является спектр корреляционного тензора флуктуаций поля скорости ветра. В работе [3] для квадрокоптера *DJI Phantom 4 Pro* исследованы турбулентные спектры флуктуаций углов Эйлера и проведено их сравнение со спектром корреляционного тензора флуктуаций поля скорости ветра. Показано, что спектры флуктуаций углов Эйлера и корреляционного тензора совпада-

ют за исключением высокочастотной области. Частотный спектр случайных флуктуаций углов Эйлера в высокочастотной области затухает с ростом частоты сильнее, чем спектр корреляционного тензора. Более быстрое затухание спектра случайных флуктуаций углов Эйлера объясняется большими размерами и весом квадрокоптера *DJI Phantom 4 Pro*, поэтому в настоящей работе использовался квадрокоптер *DJI Mavic Mini*, который является более легким и малого размера.

Основываясь на динамических уравнениях для центра тяжести квадрокоптера, в работе [3] получены уравнения на оценки компонент скорости ветра для идеального парения при ориентации БПЛА в произвольном направлении. Для линейной зависимости силы сопротивления от скорости горизонтального ветра данные уравнения имеют вид

$$\hat{w}_x \sim \alpha_x = -(\varphi \sin \psi + \theta \cos \psi), \quad (1)$$

$$\hat{w}_y \sim \alpha_y = -(-\varphi \cos \psi + \theta \sin \psi) \quad (2)$$

где $\hat{w}_x$, $\hat{w}_y$ – оценки компонент горизонтальной скорости ветра; φ – угол крена; θ – угол тангажа; ψ – угол рысканья. В турбулентной атмосфере углы Эйлера являются суммой регулярной и флуктуационной частей. Следовательно, оценки компонент горизонтальной скорости ветра можно представить в виде суммы регулярной и флуктуационной частей $\hat{w}_x \sim \langle \alpha_x \rangle + \alpha'_x$ и $\hat{w}_y \sim \langle \alpha_y \rangle + \alpha'_y$.

В случае преобладания горизонтального переноса воздушных масс над вертикальным движением, продольная компонента и поперечная компонента, лежащая в плоскости горизонта, имеют вид

$$w'_r(\mathbf{r}, t) = n_x w'_x(\mathbf{r}, t) + n_y w'_y(\mathbf{r}, t), \quad (3)$$

$$w'_{\eta}(\mathbf{r}, t) = -n_y w'_x(\mathbf{r}, t) + n_x w'_y(\mathbf{r}, t), \quad (4)$$

где $w'_x(\mathbf{r}, t)$ и $w'_y(\mathbf{r}, t)$ – компоненты флуктуаций скорости горизонтального ветра по осям X и Y, $\mathbf{n} = \{n_x, n_y, 0\}$ – направление горизонтального ветра.

Для изотропных флуктуаций поля скорости турбулентного потока в инерционном интервале волновых чисел выполняется закон «пяти третей» Колмогорова-Обухова [4], который для спектральной плотности средней кинетической энергии единицы массы воздуха имеет вид $E(k) \sim \varepsilon \cdot k^{-5/3}$, где ε – скорость диссипации кинетической энергии турбулентности.

Основываясь на гипотезе Тейлора о «замороженности» турбулентных флуктуаций в работе [4] получена формула, связывающая частотный спектр случайного поля с его пространственным спектром. Используя эту связь можно получить выражение для частотного спектра в случае закона «пяти третей» Колмогорова-Обухова [4], которое имеет вид $F(f) \sim f^{-5/3}$. Видно, в случае закона «пяти третей» Колмогорова-

Обухова частотный спектр случайного поля скорости ветра затухает с ростом частоты пропорционально степени $-5/3$.

По аналогии с теорией турбулентности можно ввести понятия продольной и поперечной компоненты для оценок горизонтального ветра

$$\alpha'_r = \hat{n}_x \alpha'_x + \hat{n}_y \alpha'_y, \quad (5)$$

$$\alpha'_{t_{\parallel}} = -\hat{n}_x \alpha'_y + \hat{n}_y \alpha'_x, \quad (6)$$

где $\hat{\mathbf{n}} = \{\hat{n}_x, \hat{n}_y, 0\}$ – оценка направления горизонтального ветра. Также по аналогии с теорией турбулентности можно ввести понятия оценки спектральной плотности средней кинетической энергии единицы массы воздуха и частотного спектра.

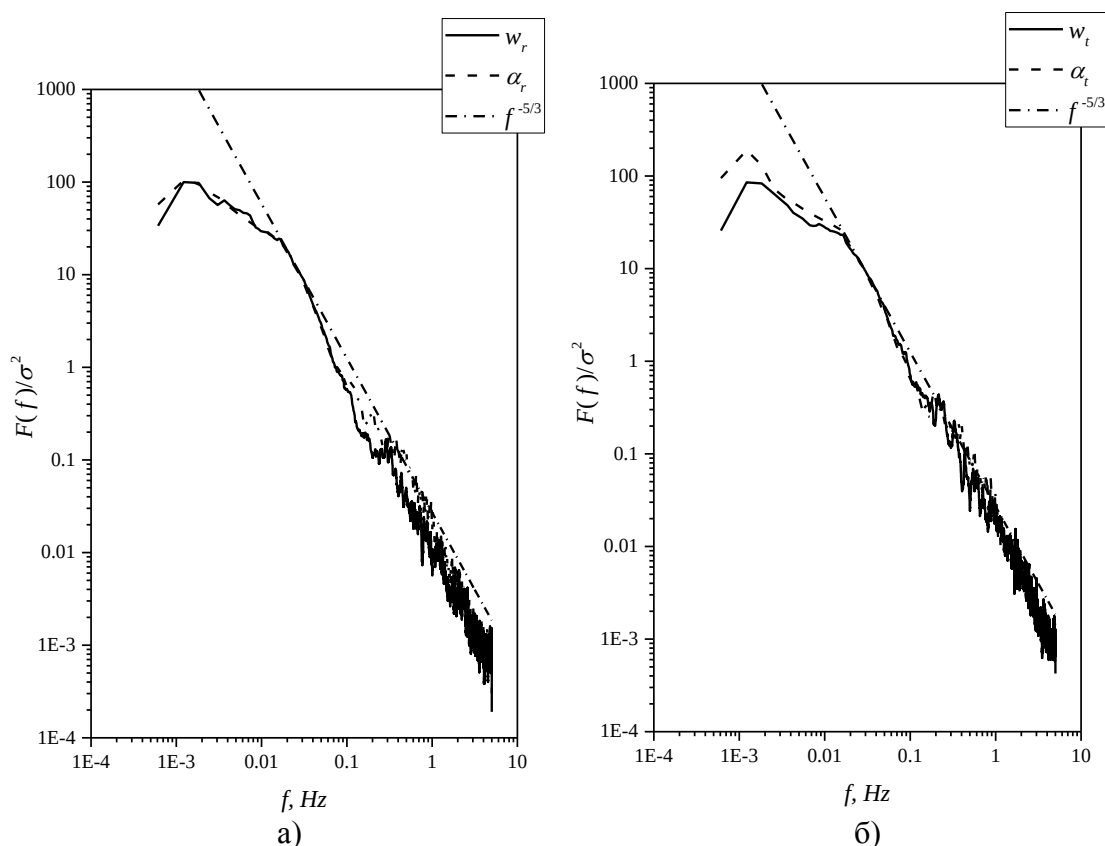


Рисунок 1 – Турбулентные частотные спектры продольной (а) и поперечной (б) компонент флуктуаций скорости ветра (сплошная кривая) и их оценка, полученная с помощью квадрокоптера *DJI Mavic Mini* в режиме парения (пунктир).

Таким образом, формулы (5) и (6) позволяют нам рассчитать оценки частотных спектров продольной и поперечной компонент флуктуаций скорости ветра по данным телеметрии углов Эйлера. Контроль состояния атмосферной турбулентности с использованием уравнений (3) и (4) дает возможность сравнить оценку частотного спектра с его реальным значением.

Экспериментальные исследования проводились на базе Базового экспериментального комплекса ИОА им. В. Е. Зуева СО РАН 24 июля 2020, время начала исследований 05:01 UTC, а время их окончания 05:24 UTC. Точка старта квадрокоптера *DJI Mavic Mini* находилась в

непосредственной близости от тридцатиметровой метеомачты. После взлета БПЛА поднялся на высоту 10 м и подлетел к автоматизированному метеорологическому комплексу АМК-03, расположенному на мачте. Квадрокоптер находился в режиме удержания высоты вблизи АМК-03 более 20 минут, после чего вернулся на точку старта. Данные о ветре фиксировались АМК-03 с частотой 80 Гц, а регистрация данных состояния квадрокоптера осуществлялась с частотой 10 Гц.

На рисунке 1 показаны результаты сравнения частотных спектров продольной и поперечной компонент с их оценкой, полученного с помощью квадрокоптера *DJI Mavic Mini* в режиме парения Пунктир и точка на рисунке 1 демонстрирует частотный спектр, который соответствует закону «пяти третей» Колмогорова-Обухова, а σ^2 – коэффициент нормировки. Из рисунка 1 видно, что спектры в целом совпадают, и не наблюдаются существенные различия в высокочастотной области спектра.

Таким образом, полученные результаты являются научной основой для создания методов низковысотного дистанционного зондирования спектров атмосферной турбулентности с использованием квадрокоптеров малых размеров.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-06066 мк.

Список литературы:

1. Когерентные доплеровские лидары для мониторинга ветровой обстановки / М. Андреев, Д. Васильев, М. Пенкин, С. Смоленцев, А. Борейшо, Д. Ключков, М. Коняев, А. Орлов, А. Чугреев // Фотоника. – 2014. – № 6. – С. 20–29.
2. Wind estimation in the lower atmosphere using multirotor aircraft / R. T. Palomaki, N. T. Rose, M. van den Bossche, , T. J. Sherman, S. F. J. De Wekker // J. Atmos. Ocean. Technol. – 2017. – Vol. 34. – P. 1183–1190.
3. Spectra of turbulent fluctuations of Euler angles of unmanned aerial vehicles in the altitude holding mode / A. P. Shelekhov, A. L. Afanasiev, A. A. Kobzev, O. S. Chupina., A. E. Tel'minov, E. A. Shelekhova // Proc. SPIE International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics (AOO20). – 2020. In print.
4. Монин, А. С. Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности / А. С. Монин, А. М. Яглом. – Москва : Наука, 1967. – Ч. 2. – 720 с.

Обеспечение экологической безопасности в регионе

А. Д. Хованский¹, В. В. Дьяченко²

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, khovansk@yandex.ru

²Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, v-v-d@mail.ru

Разработана система мер по обеспечению экологической безопасности в регионе, включающая выявление и оценку источников экологической опасности, меро-

приятия по охране окружающей среды в процессе повседневной хозяйственной деятельности, мероприятия по обеспечению промышленной безопасности опасных производственных объектов, мероприятия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Отмечено, что для повышения эффективности и координации деятельности органов власти и предприятий по обеспечению экологической безопасности в регионе должны быть разработаны нормативные документы, определяющие полномочия и ответственность, а также порядок взаимодействия всех участников этого процесса.

Ключевые слова: экологическая безопасность, техносфера, нормирование, взаимодействие, риск, опасные производственные объекты, мониторинг.

A system of measures to ensure environmental safety in the region has been developed, which includes: identification and assessment of environmental hazards, measures to protect the environment in the course of daily economic activities, measures to ensure industrial safety of hazardous production facilities, measures to prevent and eliminate natural and man-made emergencies. In order to improve the efficiency and coordination of the activities of authorities and enterprises to ensure environmental safety in the region, regulatory documents should be developed that determine powers and responsibilities, as well as the procedure for interaction of all participants in this process.

Keywords: environmental safety, technosphere, rationing, interaction, risk, hazardous production facilities, monitoring.

На экологическую безопасность в регионе значительное влияние оказывает природные условия, сложившаяся экологическая ситуация, промышленные предприятия и опасные производственные объекты, сельское хозяйство, транспорт и другие факторы. Поэтому при разработке мероприятий по обеспечению экологической безопасности необходимо производить экологическую оценку хозяйственной деятельности региона и учитывать его природные условия, степень опасности существующей экологической ситуации, наличие и характер действующих и потенциальных источников техносферной опасности [1].

В регионе на основании государственной экологической политики и стратегии экологической безопасности Российской Федерации [2, 3] с учетом его природных и социально-экономических особенностей должны быть сформированы основные направления и комплекс мероприятий по обеспечению экологической безопасности.

Для снижения негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду и повышения экологической безопасности региона предлагается комплекс мероприятий по следующим наиболее важным направлениям.

1. Выявление и анализ источников экологической опасности, оценка экологического риска [4].

2. Оценка степени опасности экологической ситуации на основе комплексной оценки состояния окружающей среды [4].

3. Формирование нормативно-правовой основы обеспечения экологической безопасности региона. В том числе разработка экологических нормативов актуальных для данного региона и компенсирующих недостатки федеральных показателей (главным образом для почв, илов) [5–8].

4. Тесная координация деятельности федеральных и региональных органов власти, предприятий и организаций по обеспечению промышленной и экологической безопасности.

5. Разработка и внедрение региональной системы управления промышленной и экологической безопасностью на основе международных стандартов ISO 14001 -2015 и ИСО 45001–2018 [9].

6. Создание комплексной региональной системы мониторинга промышленной и экологической безопасности с использованием схем природно-функционального зонирования и региональных показателей состояния геосистем [5–8].

7. Разработка и реализация комплекса программных мероприятий по охране окружающей среды, рациональному использованию природных ресурсов, обеспечению промышленной и экологической безопасности.

8. Разработка и реализация региональной программы по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

9. Экологизация хозяйственной деятельности, обеспечивающая снижение воздействия на окружающую среду за счет уменьшения энерго- и ресурсоемкости производственных процессов, совершенствования существующих и внедрение новых природоохранных технологий, учета экологических факторов в общей системе управления производством.

10. Осуществление активного информационного взаимодействия со всеми заинтересованными сторонами для развития кооперативных связей, оптимизации ресурсных потоков, минимизации отходов.

Детальный комплекс мероприятий по обеспечению экологической безопасности региона разрабатывается на основании результатов экологической оценки хозяйственной деятельности региона, выявленных действующих и потенциальных источников экологической опасности, а также степени опасности существующей экологической ситуации. Мероприятия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера осуществляются МЧС России, его региональными центрами и органами по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям, комиссиями по чрезвычайным ситуациям. Мероприятия по обеспечению техносферной безопасности на предприятиях осуществляют сами предприятия, имеющие опасные производственные объекты и представляют мероприятия в Планах действий, в которых рассматриваются также возможные экологические последствия: выбросы в атмосферу, сбросы в водные объекты или землю, специфические воздействия на окружающую среду [10].

Для пространственного отражения внешних источников экологической опасности составляются схемы зонирования территории по степени потенциальной экологической опасности, на которых учитываются: наличие источников экологической опасности, степень их потенциальной опасности и значимости, опасность сложившейся экологической ситуации. В обеспечении экологической безопасности региона принимают

участие разные органы власти: природоохранные органы Администрации региона, территориальные управления МЧС, Минприроды РФ, Ростехнадзора, а также предприятия, относящиеся к опасным производствам.

Степень экологической безопасности региона зависит от совместных усилий участников этого процесса. Для повышения эффективности совместных усилий по обеспечению экологической безопасности необходима разработка нормативно-методической основы обеспечения экологической безопасности региона, координация деятельности органов власти и предприятий в области промышленной и экологической безопасности.

Основными документами, регулирующим деятельность по обеспечению экологической безопасности на региональном уровне, могут быть постановления Администрации региона, разработанные на основе действующего законодательства и согласованные с соответствующими министерствами и ведомствами. Эти постановления должны определять полномочия и ответственность органов власти и предприятий в обеспечении промышленной и экологической безопасности региона, а также порядок взаимодействия между региональными органами власти по обеспечению промышленной и экологической безопасности. Учитывая важность проблемы, для координации деятельности федеральных и региональных органов власти и предприятий по обеспечению промышленной и экологической безопасности на региональном уровне должен быть создан Координационный комитет во главе с Заместителем руководителя региона.

Для выявления и пресечения нарушений требований, установленных законодательством Российской Федерации в области охраны окружающей среды, промышленной и экологической безопасности производится государственный экологический надзор, государственный надзор в области промышленной безопасности, радиационной безопасности, безопасности гидротехнических сооружений, а также проверки других опасных видов деятельности. Государственный надзор осуществляется посредством организации и проведения проверок и принятия мер по пресечению и устранению выявленных нарушений.

Список литературы:

1. Хованский, А. Комплексная оценка экологической опасности предприятий и территорий / А. Хованский, И. Богачев, Е. Баян // Экология и промышленность России. – 2016. – № 20 (10). – С. 58–63. – URL: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-10-58-63>
2. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждены Указом Президента Российской Федерации от 30 апреля 2012 г. // СПС «Гарант».
3. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 г. № 176 // СПС «Гарант».
4. Хованский, А. Д. Экологическая безопасность (методы оценки и обеспечения) : учеб. пособие / А. Д. Хованский, И. В. Богачев, Е. М. Баян. – Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2015. – 162 с.

5. Дьяченко, В. В. Разработка региональных и локальных показателей состояния почв для экологического нормирования на ландшафтно-геохимической основе / В. В. Дьяченко // Экологические системы и приборы. – 2001. – № 8. – С 3–6.
6. Дьяченко, В. В. Определение региональных нормирующих содержаний химических элементов в почвах на ландшафтно-геохимической основе / В. В. Дьяченко // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2001. – № 4. – С 109–112.
7. Дьяченко, В. В. Проблемы экологического нормирования почв юга России / В. В. Дьяченко, Е. А. Ляшенко, Д. Ю. Бургонский // Безопасность в техносфере. – № 6. – 2008. – С. 28–36.
8. Меринова, Ю. Ю. О состоянии и использовании водных ресурсов в Ростовской агломерации / Ю. Ю. Меринова, А. Д. Хаванский // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2014. – № 3 (181). – С. 96–101.
9. Хованский, А. Д. Управление промышленной и экологической безопасностью / А. Д. Хаванский, Е. М. Баян, И. В. Богачев // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21, № 7. – С. 52–57.
10. Хованский, А. Д. Обеспечение экологической безопасности на предприятии / А. Д. Хованский, В. В. Дьяченко // Безопасность в техносфере. – 2018. – № 4. – С. 55–60.

Исследование влияния механической вибрации на оптические свойства при передаче инфракрасного излучения по галогенидсеребряным световодам

А. Тураби, А. С. Корсаков, Л. В. Жукова, Б. Д. Жилкин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, l.v.zhukova@urfu.ru

Экспериментально установлено, что после воздействия вибрации в течение 22 ч с частотой $F = 50$ Гц и амплитудой $a = 1,1$ мм с помощью виброзащиты спектральный диапазон прозрачности расширяется в сторону более коротких длин волн, а также происходит увеличение оптической прозрачности относительно исходной на 60–10 %, в диапазоне 3–5 мкм соответственно, при отсутствии изменений в длинноволновой области прозрачности ИК-волокна (7–20 мкм). Этот эффект в исследованных ИК-волокон объясняется превращением под действием вибрации поликристаллической структуры в нанокристаллическую.

Ключевые слова: инфракрасные волокна, твердые растворы галогенидов серебра, оптическая передача, механическая вибрация.

It is experimentally established that after exposure to vibration for 22 hours with a frequency of $F = 50$ Hz, and an amplitude $a = 1.1$ mm using vibration protection, the spectral range of transparency is expanded towards shorter wavelengths, as well as an increase in optical transparency relative to the initial on the 60–10 %, in the range of 3–5 μm , respectively, in the absence of changes in the longer-wavelength region of transparency of the IR fiber 7–20 μm . This effect in the studied IR fibers is explained by the conversion under the action of vibration of a polycrystalline structure into a nano-subcrystalline one.

Keywords: infrared fibers, solid solutions of silver halides, optical transmission, mechanical vibrations.

Инфракрасные (ИК) волокна на основе кристаллов твердых растворов галогенидов серебра, в т.ч. медифицированных, могут применяться для проведения тепловизионной диагностики труднодоступных объектов [1–4], таких как внутренние узлы и детали газотурбинных установок (ГТУ). При этом на передачу теплового излучения по ИК световодам будут влиять, в первую очередь, установленный виброзащитный режим при работе ГТУ с частотой 50 Гц и амплитудой 0,1. Поэтому важным аспектом практического применения ИК волокон является изучение влияния эффекта механической вибрации на их оптические свойства. Проведенные нами первичные исследования показали, что механическая вибрация приводит к снижению оптического пропускания световодов в ИК диапазоне.

О необходимости защиты от вибрации галогенидсеребряных световодов на основе кристаллов системы AgCl-AgBr также говорилось в работе [5–6]. Следовательно, поиск и исследование специальных защитных оболочек для ИК волокон от «жёсткой» механической вибрации, создаваемой при работе ГТУ является необходимым. Также необходимо выявить природу преобразования микрокристаллической структуры волокон в нанокристаллической при вибрации и установить влияние измененной структуры на оптическую прозрачность в спектральном диапазоне от 2,0 до 18,0 мкм.

На основе спектрального анализа было установлено, что после воздействия механических колебаний наблюдается: во-первых, расширение спектрального диапазона прозрачности в направлении более коротких длин волн – до 2 мкм, во-вторых, повышение оптической прозрачности относительно начальной в 60–10 % в диапазоне 3–5 мкм соответственно; в-третьих, отсутствие изменений в области прозрачности ИК-волокна 7–20 мкм.

Этот факт указывает, во-первых, на высокую защиту инфракрасных волокон от агрессивных механических колебаний, и, во-вторых, на положительное влияние вибрации на оптическую прозрачность световодов в области более коротких длин волн. Для объяснения этого эффекта мы использовали электронную микроскопию для сканирования поликристаллической структуры инфракрасного волокна перед испытанием виброустойчивости и после воздействия вибрации.

Увеличение прозрачности и расширение диапазона пропускания ИК-волокон объясняются превращением под действием вибрации поликристаллической структуры в нанокристаллическую структуру. Мы назвали этот эффект "вибрационным отжигом". Следует отметить, что эксперименты проводились в режимах механических колебаний, соответствующих критической работе газотурбинных установок.

Таким образом, установлено, что двухслойные ИК световоды на основе твердых растворов галогенидов серебра в специальных защитных оболочках, таких как вакуумная резиновая оболочка, могут эффективно использоваться для тепловизионной диагностики ГТУ и других труднодоступных объектов. Также было установлено, что для улучше-

ния оптических свойств (сдвиг к более короткому диапазону поглощающей кромки и увеличение прозрачности в диапазоне 3-5 мкм) можно рекомендовать длительное агрессивное механическое воздействие на световоды галогенида серебра.

Список литературы:

1. Fiber optic channel based on AgBr-TlBr_{0.46}I_{0.54} fibers for receiving, transmitting and controlling infrared radiation in the range from 2.5 to 25 μm / A. Yuzhakova, D. Salimgareev, L. Zhukova, A. Lvov, A. Korsakov // Infrared Physics and Technology. – 2020. – Vol. 105. – P. 252–260.
2. Influence of geometrical parameters on transmitting thermal radiation through silver halide fibers / D. D. Salimgareev, A. A. Lashova, A. S. Shmygalev, E. A. Korsakova, B. P. Zhilkin, A. S. Korsakov, L. V. Zhukova // Results in Physics. – 2020. – Vol. 16. – P. 365–368.
3. Fiber-optic assemblies based on polycrystalline lightguides for the mid-IR / E. A. Korsakova, A. E. Lvov, I. A. Kashuba, V. S. Korsakov, D. D. Salimgareev, A. S. Korsakov, L. V. Zhukova // Journal of Optical Technology (A Translation of Opticheskii Zhurnal). – 2019. – № 5. – P. 439–445.
4. Specialty fibers for broad spectra of wavelength and power / V. Artyushenko, C. Wojciechowski, J. Ingram, V. Kononenko, V. Lobachev, T. Sakharova, J. Ludczak, A. Grzebieniak, Z. Wojciechowski // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. – 2005. – Vol. 5951. – P. 1–8.
5. The effect of mechanical vibration on optical properties of infrared light guides of composition AgCl-AgBr / A. S. Shmygalev, A. Turabi, D. A. Vasilyeva, B. P. Zhilkin, L. V. Zhukova // Technical Physics Letters. – 2020. – № 5. – P. 420–422.
6. Mechanical and optical properties of silver-halide infrared transmitting fibers / S. Shalem, A. German, N. Barkay, F. Moser, A. Katzir // Fiber and Integrated Optics. – 1997. – Vol. 16, № 1. – P. 27–54.

Коэффициент теплопроводности газовых конденсатов на псевдокритической изобаре

А. С. Магомадов, Э. К. Вайниловский

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар,
mag_as@bk.ru

Рассмотрена возможность использования зависимости коэффициента теплопроводности (λ) газовых конденсатов на псевдокритической изобаре для прогнозирования его в широкой области параметров состояния. С этой целью выполнены обобщения ранее полученных результатов экспериментальных исследований λ при различных температурах и давлениях.

Ключевые слова: газовые конденсаты, термодинамическое подобие, псевдокритические температура и давление.

Applicability of dependence of heat conductivity factor (λ) of gas condensates at pseudocritical isobar for its predicting in wide area of status parameters is examined in this article. In view of this results' summation of earlier investigational studies at various temperature and pressure is fulfilled.

Keywords: gas condensates, thermodynamic similarity, pseudocritical temperature and pressure.

Раннее нами в работе [1] были выполнены экспериментальные исследования коэффициента теплопроводности λ стабильных газовых конденсатов различных месторождений России. Там же представлены физико-химические свойства изученных конденсатов, измеренные в соответствии существующими в нефтехимии ГОСТами.

Измерения λ были выполнены на установке в которой был реализован метод нагретой нити. Опыты проводились в интервале температуры от минус 40 до 200 °С и давлений до 60 МПа. Температура в опытах измерялась образцовым платиновым термометром сопротивления типа ПТС-10. Измерительная ячейка помещалась в пьезометр высокого давления, который термостатировался в термостате с погрешностью $\pm 0,05$ °С. Все электрические измерения выполнялись на потенциометре Р-348 класса точности 0,001.

Давление в пьезометре создавалось и измерялось грузопоршневым манометром типа МП – 600 класса точности 0,05. Средняя относительная погрешность измерения λ газовых конденсатов оценивается в пределах до $\pm 1,5\%$.

Экспериментальная установка апробировалась на измерениях λ толуола. Полученные результаты по λ толуола в пределах погрешности совпадают с наиболее точными данными других авторов.

Для обобщения опытных данных λ газовых конденсатов в широких интервалах температуры и давления методами теории термодинамического подобия нами были использованы псевдокритическая температура T_{pc} и давления p_{pc} . Указанные величины рассчитывались по методике, приведенной в работе [2]. Кроме того, была показана эффективность использования в качестве опорных при обобщении опытных данных λ газовых конденсатов на псевдокритических изобарах.

Таким образом, приведенное значение коэффициента теплопроводности конденсатов на псевдокритической изобаре описывается уравнением вида

$$\lambda^* = 2,389 - 2,597\tau + 0,869\tau^2, \quad (1)$$

где $\lambda^* = \lambda_{\pi=1; \tau} / (\lambda_{\pi=1; \tau=0,7})$; $\lambda_{\pi=1; \tau}$ – коэффициент теплопроводности на псевдокритической изобаре в зависимости от температуры; $\tau = T/T_{pc}$ – приведенная температура; $\pi = p/p_{pc}$ – приведенное давление; $\lambda_{\pi=1; \tau=0,7}$ – коэффициент теплопроводности на псевдокритической изобаре при $T = 0,7T_{pc}$.

Значение последнего описывается уравнением вида

$$\lambda_{\pi=1; \tau=0,7} = 0,368 T_{pc}^{-0,277} p_{pc}^{0,03} M^{-0,167}, \quad (2)$$

где M – средняя молярная масса газового конденсата.

Средняя относительная погрешность расчета λ на псевдокритической изобаре полученных на основе уравнений (1) и (2) составляет $\pm 2,3 \%$.

Список литературы:

1. Магомадов, А. С. Изучение коэффициента теплопроводности газовых конденсатов в широкой области температур и давлений / А. С. Магомадов, Э. К. Вайниловский, В. В. Герасимова // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте – 2017 : тр. XXV Междунар. конф. – Новороссийск : Гос. морской ун-т им. адмирала Ф. Ф. Ушакова, 2017. – С. 158–159.
2. Филиппов, Л. П. Методы расчета и прогнозирования свойств веществ / Л. П. Филиппов. – Москва : Изд-во МГУ, 1988. – 252.

Геоэкологическая трактовка англоязычного термина «геоинжиниринг» в российской научной литературе

В. В. Вишневецкая

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского
государственного технологического университета, Новороссийск,
stas_14@rambler.ru

Новый словарь современного английского языка «Лонгман» интерпретирует «геоинженерия» (геоинжиниринг) – как практическое применение научных и математических принципов и означает, как правило, искусство проектирования, конструирования или использования на практике механизмов или инструментов. Тем не менее, сейчас этот термин применяется в более широком геоэкологическом смысле. Он применяется также к искусству выполнения таких работ, как объекты гражданского и военного строительства, производство химических веществ, разработка средств производства, воспроизводство генов и многое другое, где используются двигатели или другие механические и электронные приспособления. Век технической революции и великих изобретений в области электротехники, атомной энергии и других областях науки привел к дифференциации термина геоинженерия (геоинжиниринг) в различные многочисленные направления науки и особенно в геоэкологию.

Ключевые слова геоинженерия, практическое применение, термин.

The new dictionary of modern English "Longman" explains the word "geoengineering" – as a practical application of scientific and mathematical principle and usually refers to the art of designing, constructing, or using mechanisms. However, the term is now used in a broader geoecological sense. It is also applied to the art of performing works such as civil and military construction, the production of new chemicals, the development of modern means of production or the reproduction of genes, and much more that use engines or other mechanical tools. The Age of technical revolution and remarkable inventions, great discoveries in electrical engineering, atomic energy, and other fields of science led to the term differentiation "geoengineering" into numerous areas of science and especially into geoecology.

Keywords: geoengineering, the practical application, the term.

В данной статье термин «geoengineering» рассматривается как объект исследования и как направление деятельности с лексико-семантической точки зрения, а также представляется его трактовка в современной научной литературе. Установлено, что любой термин в ходе его применения подвергается определенным изменениям. Так что же мы понимаем под словом «термин»? Термины – это просто особые лекси-

ческие единицы, обладающие свойствами именовать и давать определение чему-то. У терминов есть свои особенности, например, многозначность, омонимность, синонимность, антонимность. Это отличительные черты терминов, свойственные семантическому процессу в терминологической лексике, имеющие свои отличительные черты, которые отсутствуют в общелитературной лексике.

Одной из важных семантических особенностей лексических единиц является их многозначность и омонимность [1]. Многозначность и омонимность представляется нам как наиболее интересная трактовка. Сама система терминов, т.е. терминология определенной отрасли науки, развивается одновременно с процессом развития познания человека. Чтобы точно отразить систему понятий в научной сфере, необходимо соблюдать полное соответствие терминов – знаков с научными понятиями. Поэтому стремление терминов к моносемантичности является важнейшим условием их существования.

Итак, английское слово «**Geoengineering**» рассматривается в разных научных ракурсах. Оно вошло в нашу жизнь более пятидесяти лет назад и довольно крепко закрепилось благодаря исследованиям экологических изменений на нашей планете. В настоящее время геоинжиниринг представляет собой технологии контролируемого и целенаправленного управления глобальными геопроцессами и явлениями (климатом, местной погодой, прозрачностью атмосферы, альбедо земной поверхности, направлением и скоростью течения рек, образованием крупных водохранилищ – искусственных «морей» и т.д.), т.е. довольно масштабные контролируемые манипуляции природными геосистемами Земли [2]. В современном звучании основной целью геоинжиниринга является попытка стабилизации климатической системы Земли, путем целенаправленного и контролируемого регулирования ее энергетического баланса. Но наряду с геоинжинирингом, в русскоязычной и переводной литературе, как наравне, так и в другом контексте часто используется термин геоинженерия, что далеко не всегда оправдано [3].

Дело в том, что лингвистическая особенность перевода слова «**geoengineering**» дает возможность интерпретировать его на русский язык, как существительное – геоинженерия и как глагол, геоинжиниринг [4, 5]. Тогда, **geoengineering**, с одной стороны может выступать, как комплексное учение, наука – геоинженерия, объединяющая в себе знания из различных дисциплин: научных (химия атмосферы, экология, метеорология и пр.) [6]; инженерных (аэрокосмическая инженерия, судостроение, баллистика и пр.); управленческих (риск-менеджмент, операционные исследования). А с другой стороны, как геоинжиниринг – процесс деятельности в различных областях, процесс управления внешней средой на глобальном уровне. Оба перевода могут затрагивать одну и ту же область деятельности и направлены на один и тот же результат, а значит понятие и применение «**geoengineering**» имеет единую структуру перевода, но в русском языке использовать их следует в различном контексте [7].

В научных кругах термин «geoengineering» имеет две интерпретации. Первая из них – геоинженерия, используется как обозначение научного направления, связанного непосредственно с мониторингом текущего состояния климата на нашей планете, в то время как второй – геоинжиниринг является практическим применением полученных знаний. Использование в слове “engineering” приставки «geo» придает ясность термину, так как данная приставка переводится как «технически относительно Земли или ее поверхности», и как: geography, geology, geophysics имеют непосредственное отношение к нашей планете [8].

В конце XX и начале XXI веков термин «geoengineering» стал употребим благодаря научным исследованиям советского климатолога Михаила Будыко, который занимался разработкой климатической зональности и классификации климатов, также были заложены основы совершенно невиданной отрасли знания, способной не только предсказывать изменения климата, но и заставить климат изменяться в заданном направлении – как потеплении, так и похолодании [9].

В данном понимании термин «геоинженерия» относится к преднамеренным, часто глобальным, манипуляциям климатической системой. Целью геоинженерии является противодействие выбросам парниковых газов или их последствий на планете, которые могли бы привести к парниковому эффекту и последующему исчезновению жизни на Земле. На практике, геоинженерия занята разработкой проектов и технологий, предназначенных для непосредственного устранения последствий изменения климата, обычно путем извлечения большого количества CO₂ из воздуха или ограничения количества солнечного света, достигающего поверхности планеты. Но работа идет в разных направлениях: от высадки огромного числа зеленых насаждений, до ограничений работы промышленных предприятий [2, 3].

Сопоставительный перевод, взятый из разных источников (словарей) поясняет термин geoengineering как преднамеренное и крупномасштабное вмешательство в систему Земли учеными всего мира для того, чтобы смягчить или избежать неблагоприятных последствий глобального потепления, которые могут стать последствием человеческой деятельности. В этой связи применение словосочетания «геоинженерные технологии» разъясняет их классификацию по различным подходам (управление солнечной радиацией, удаление CO₂, изменение погоды) или по тому, где они стремятся вмешаться в планетарную геосистему нашей планеты. Это могут быть земная кора, океан или атмосфера.

Появились статьи о том, что геоинженерия рассматривается как последний вариант предотвращения изменения климата на планете, но в ряде исследований утверждается, что осуществлению любого предложения в области геоинженерии должно предшествовать строгое тестирование, с тем чтобы избежать непреднамеренных последствий [10].

Анализируя истоки, перевод и применение терминов геоинженерия и геоинжиниринг, с уверенностью можно отметить, что оба термина активно используются учеными всего мира в борьбе против последствий

деятельности человека, которые вредят будущему не только человечества, но и планете в целом. А смысловая интерпретация данных слов направлена на решение глобальных проблем, связанных с будущим нашей планеты, проживанием на ней людей и всего живого. Оба перевода затрагивают одну и ту же область деятельности и направлены на один и тот же результат, а значит понятие и применение «geoengineering» имеет единую структуру перевода. Сопоставительный анализ показывает, что в современной практике, зачастую, по-разному употребляется перевод для того, чтобы обособить данное направление человеческой деятельности с научной точки зрения, и тем самым придать процессу деятельности больше важности и смысла [11].

Список литературы:

1. Лотте, Д. С. Краткие формы научно-технических терминов / Д. С. Лотте. – Москва : Наука, 1971. – 82 с.
2. Дьяченко, В. В. Динамика концентраций микроэлементов в почвах ландшафтов юга России / В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова, О. И. Пономарева // *Universal Journal of Geoscience*. – 2014. – Т. 2 (1). – С. 28–34.
3. Дьяченко, В. В. Проблемы загрязнения ландшафтов Краснодарского края и здоровье населения / В. В. Дьяченко, Л. Г. Дьяченко, Ю. А. Малыхин // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2014. – № 07 (101). – С. 1217–1228.
4. Лонгман : словарь современного английского языка. – 7-е междунар. студ. изд. – Longman MFK Information Services Limited, 2018.
5. Большой англо-русский словарь. В новой ред. Мюллер В. – Москва : Рипол классик : Цитадель-Трейд, 2004. – 831 с.
6. Лонгман : словарь современного английского языка. Издание для иностранных студентов. – Longman MFK Information Services Limited, 2010.
7. Англо-русский словарь. – Москва : Русский язык, 1992.
8. Oxford English – Russian / русско-английский словарь. – Оксфорд Новый Йорк : Изд-во Оксфордского ун-та, 1994.
9. Воловецкий, А. В. Большая энциклопедия науки / А. В. Воловецкий. – Москва : Эксмо, 2017. – 232 с.
10. Мусихина, О. Н. Английский язык. Интенсивный курс подготовки к ЕГЭ. / О. Н. Мусихина, Е. В. Домашек, В. В. Вишневецкая. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2011. – 286 с.
11. Мусихина, О. Н. Английский язык. Тесты к ЕГЭ / О. Н. Мусихина, В. В. Вишневецкая. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2012. – 222 с.

География и геохимия ветровой эрозии ландшафтов юга России

В. В. Дьяченко¹, А. Д. Хованский²

¹Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, v-v-d@mail.ru,

²Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, khovansk@yandex.ru

Рассмотрены основные особенности и факторы развития ветровой эрозии почв юга России. Проанализированы геохимические последствия различных проявлений

аэральной миграции и принципы разделения геохимических ландшафтов по ее особенностям. Установлено, что в районах с интенсивной ветровой эрозией аэральная миграция может приводить к значительному перераспределению элементов, в том числе к формированию как положительных, так и отрицательных аномалий в почвах и существенно влиять на оценку состояния окружающей среды.

Ключевые слова: почва, ветровая эрозия, аэральная миграция, микроэлементы, дефляция.

This article considers the main features and factors of the development of wind erosion of soils in the Southern Russia. Geochemical consequences of various manifestations of aerial migration and principles of geochemical landscapes separation according to its peculiarities are analyzed. It has been found that in areas with intense wind erosion, aerial migration can lead to a significant redistribution of elements, including the formation of both positive and negative anomalies in soils and significantly affect environmental assessment.

Keywords: soil, wind erosion, aerial migration, trace elements, deflation.

Важность химического состава аэрозолей при оценке глобального массопереноса и загрязнения окружающей среды отмечались А. П. Лисицыным, В. В. Добровольским, Н. Ф. Глазовским, Ю. Е. Саеом и др. Влияние аэральной миграции и атмосферных выпадений на формирование геохимии почв и их обогащенность микроэлементами особенно заметны в аридных районах. Большая роль атмосферных выпадений в геохимии почв и водоемов на юге России отмечались В. В. Приваленко [1], В. В. Дьяченко [2] и другими специалистами. С геохимической точки зрения необходимость учета фактора аэральной миграции при картографировании ландшафтов была обоснована ранее [3, 4]. Однако в результате более поздних исследований установлено, что недостаточно выделять три разновидности ландшафтов по особенностям аэральной миграции. Нами предложено выделять 4 разновидности ландшафтов [5–6]: ландшафты подверженные слабой ветровой эрозии, дефляционные поля (котловины выдувания, бугристые пески), транзитно-дефляционные и дефляционно-аккумулятивные.

Основное направление аэральной миграции на юге России обусловлено сильными восточными ветрами (от северо-восточных, до юго-восточных), связанными с так называемым «восточным процессом». Поэтому дефляционные поля находятся в восточной части региона (Астраханская область, Калмыкия, северный Дагестан). Западней их сменяют транзитно-дефляционные (Ставропольский край, юго-восток Ростовской и Волгоградской областей). На территории Краснодарского края и юга Ростовской области интенсивность воздушного переноса слабеет и здесь развиты дефляционно-аккумулятивные ландшафты и ландшафты подверженные слабой аэральной миграции. На размещение ландшафтов, подверженных воздушному переносу и дефляции оказывает большое влияние рельеф и растительный покров, поэтому на самом деле размещение различных ландшафтов имеет мозаичный характер и в каждом регионе имеют место ландшафты из различных групп.

Данное разделение ландшафтов в целом соответствует районированию К. С. Кальянова [7], а рассматриваемая территория находится в Северо-Кавказской провинции интенсивной ветровой эрозии. Границы развития дефляции определены с помощью почвенных и ландшафтно-геохимических карт Краснодарского и Ставропольского краев, материалов Краснодарского краевого комитета по земельным ресурсам, результатов полевых наблюдений в процессе региональных исследований [8]. Безусловно, такая граница может быть проведена лишь приблизительно. Год от года интенсивность ветровой эрозии изменяется как по климатическим, так и по техногенным причинам, кроме того, ее развитие в значительной степени зависит от ориентировки элементов рельефа, экспозиции склона и других факторов, учесть которые можно только при детальном картировании.

На основе изучения этих материалов линия, оконтуривающая районы с интенсивной дефляцией, проведена по юго-западной части Ростовской области и Краснодарского края, вдоль границы с Ростовской областью на севере (ст. Новоминская – ст. Ленинградская – г. Тихорецк) и далее вдоль границы со Ставропольским краем на востоке (Кропоткин – Армавир – ст. Вознесенская). С учетом доминирующего восточного и северо-восточного направления ветров, вызывающих дефляцию, мы имеем дело с фронтальной зоной ослабления ветровой эрозии, вдоль которой, по мере ослабления воздушных потоков, начинается постепенное отложение эолового материала, в значительной степени принесенного с территорий Ростовской, Астраханской и Волгоградской областей, Ставропольского края, Дагестана и Калмыкии.

Большой вклад дефляции в вещественный состав аэрозолей и химию почв, видимо, является главной причиной установленной ранее геохимической конвергенции почв Северного Кавказа [9]. В пользу этого свидетельствуют и слабые геохимические различия горных и равнинных, автономных и подчиненных ландшафтов, а также кларков почв Северного Кавказа и юга России в целом, что приводит к мысли, о существовании на юге России физико-географических и палеогеохимических предпосылок к повышению геохимической однородности почв [10].

В настоящее время таким фактором является большой вклад дефляционной и техногенной составляющих в минеральный состав аэрозолей и геохимия почв, что отмечено во многих работах. Учитывая близость региона к глобальным областям развеивания покровных отложений, деградацию естественной растительности и высокую долю распаханых земель – осаждение пыли может составлять десятки т/км² в год. В горах градиенты поверхности приводят к частичному выносу тонкодисперсных частиц, но аккумуляции аэрального материала способствует наличие естественной растительности.

В историческом и палеогеографическом контексте материал для воздушного переноса и формирования почвообразующих отложений

имел два основных источника. Для северных и северо-западных ветров это образования отступающих ледников, а для северо-восточных и юго-восточных ветров – афитогенные покровные отложения, формирующиеся после регрессий Каспия и частых периодов опустынивания. В результате дефляции этих образований и переноса тонкодисперсных частиц произошло формирование мощных толщ лёссов и погребенных почв на юге России, а геохимическая конвергенция характерна не только для верхнего почвенного горизонта, она хорошо заметна уже в горизонте С, при переходе от литифицированных горных пород к рыхлым образованиям в различных высотных поясах и при различных особенностях гипергенеза [4, 9].

Исследованиями на юге России установлено, что в районах с интенсивной ветровой эрозией аэральная миграция может приводить к значительному перераспределению элементов, в том числе к формированию как положительных, так и отрицательных аномалий в почвах [11, 12] и существенно влиять на оценку состояния окружающей среды [13, 14]. Основной носитель рассеянных элементов – аэрозольные частицы, а 80–90 % металлов содержится во фракции менее 1 мкм. В итоге опробования почв и картографирования ландшафтов, выявлены зоны загрязнения и геохимические аномалии в почвах Краснодарского края, идентифицированные как результат воздушного переноса загрязнения различного происхождения и деятельности специфических геохимических барьеров.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 19-42-230004, 19-45-230009.

Список литературы:

1. Приваленко, В. В. Техногенная геохимия и биогеохимия городов Нижнего Дона : дис. ... д-ра биол. наук / Приваленко В. В. – Москва, 1995. – 319 с.
2. Дьяченко, В. В. Особенности миграции химических элементов в почвах геохимических ландшафтов Центрального и Восточного Кавказа : дис. ... канд. с.-х. наук / Дьяченко В. В. – Красноярск : Красноярский гос. аграрный ун-т, 1996. – 115 с.
3. Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия / В. А. Алексеенко. – Москва : Логос, 2000. – 310 с.
4. Дьяченко, В. В. Геохимия и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа : дис. ... д-ра геогр. наук / Дьяченко В. В. – Ростов-на-Дону : Южный федер. ун-т, 2004. – 326 с.
5. Дьяченко, В. В. Ландшафтно-геохимическая дифференциация юга России / В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А. И. Перельмана) : докл. Всерос. науч. конф. (Москва, 18–20 октября 2016 г.). – Москва : Географический факультет МГУ, 2016. – С. 355–358.
6. Дьяченко, В. В. Картографирование геохимических ландшафтов юга России (аспекты практического использования) / В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова, Л. Г. Дьяченко // География и природные ресурсы. – 2019. – № 3. – С. 16–25.
7. Кальянов, К. С. Динамика процессов ветровой эрозии почв / К. С. Кальянов. – Москва : Наука, 1976. – 155 с.
8. Дьяченко, В. В. Проведение обследований территории Краснодарского края с целью выявления характера, масштаба и уровней загрязнения земель тяжелыми металлами : отчет о НИР / В. В. Дьяченко. – Новороссийск, 1996.

9. Дьяченко, В. В. Основные закономерности формирования геохимического спектра почв Северного Кавказа / В. В. Дьяченко // Известия вузов Северо-Кавказского региона. Естественные науки. – 2001. – № 3. – С. 86–88.
10. Дьяченко, В. В. Региональные кларки химических элементов в почвах юга европейской части России / В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова // Почвоведение. – 2016. – № 10. – С. 1159–1166.
11. Дьяченко, В. В. Формирование аномалий тяжелых металлов на геохимических барьерах в почвах под воздействием интенсивной ветровой эрозии / В. В. Дьяченко // Геохимические барьеры в зоне гипергенеза : тез. докл. – Москва : Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, 1999. – С. 163–166.
12. Дьяченко, В. В. Влияние механических процессов на миграцию химических элементов в почвах / В. В. Дьяченко // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр : докл. Первой Междунар. конф. – Москва : Российский ун-т дружбы народов, 2003. – С. 116–132.
13. Состояние окружающей среды в районах размещения энергоисточников / А. Д. Хованский, В. И. Седлецкий, Л. Я. Кизильштейн, В. А. Алексеев, В. А. Миноранский, О. С. Бондарева // Улучшение экологии и повышение надежности энергетики Ростовской области. – Ростов-на-Дону : Изд-во СКНЦВШ, 1995. – С. 26–44.
14. Дьяченко, В. В. Науки о земле : учебник / В. В. Дьяченко, Л. Г. Дьяченко, В. А. Девисилов ; под ред. В. А. Девисилова. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 345 с.

Экспериментальная установка для многочастотного лазерного зондирования аэродисперсных потоков в диапазоне длин волн от 0,405 до 6,45 мкм

*С. В. Половченко¹, И. А. Сарычев^{1,2}, А. Н. Солдатов³,
П. В. Чартий¹, А. С. Шумейко³*

¹Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск,
pvc-60@eandex.ru,

²Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск

³Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск

Показано, что для эффективного решения обратных задач лазерного зондирования аэродисперсных потоков необходимо проведение экспериментальных исследований рассеяния и ослабления излучения частицами. Предложена экспериментальная установка для лазерного зондирования аэродисперсных потоков в диапазоне длин волн от 405 до 6450 нм. Установлено, что выбранный диапазон позволяет проводить исследования в широких пределах значений размеров частиц и их концентраций.

Ключевые слова: аэрозоли, лазерное зондирование, поток, размер частиц, концентрация.

It is shown that to effectively solve the inverse problems of laser sensing of aerodisperse flows, it is necessary to conduct experimental studies of scattering and attenuation of radiation by particles. An experimental setup for laser sensing of aerodisperse flows in the wavelength range from 405 to 6450 nm is proposed. The selected range allows you to conduct research within a wide range of particle size values and their concentrations.

Keywords: Aerosols, laser sensing, flow, particle size, concentration.

Диагностика многокомпонентных потоков в режиме реального времени всегда является актуальной для решения различных задач в большинстве отраслей промышленности. В первую очередь, это задачи экологического мониторинга. Лазерные методы позволяют их решать как для контроля газовых примесей, так и аэрозольных частиц в воздушных потоках [1–5]. Также лазерные методы пригодны для диагностики технологических процессов, связанных с производством различных порошковых материалов, например, цемента [5, 6]. Есть все основания ожидать, что лазерные методы диагностики аэродисперсных потоков позволят более эффективно решать задачи обеспечения промышленной безопасности в отраслях, в которых возможно образование взрывоопасных пылей [7].

Основой применения лазерных методов зондирования аэродисперсных потоков в условиях, когда можно пренебречь многократным рассеянием лазерного излучения частицами является теория рассеяния Ми. Если бы все частицы аэрозолей были однородными монодисперсными сферическими с одинаковым показателем преломления, то при их зондировании лазерным излучением на одной длине волны на основе теории Ми можно было бы однозначно оценивать концентрацию частиц.

В случае геометрической однородности частиц, имеющих сферическую форму и распределённых по размерам обратная задача также решается на основе теории Ми для полидисперсного аэрозоля. Следует только иметь в виду, что при широком диапазоне возможных концентраций и размеров частиц применимы только интегральные методы лазерного зондирования аэрозолей. К этим методам относится метод спектральной прозрачности (МСП), полной индикатрисы, метод малоуглового рассеяния. Применение этих методов позволяет оценивать как концентрацию, так и параметры функции распределения частиц по размерам, позволяющим восстанавливать их и определять концентрацию частиц по размерам [8, 9].

В реальных условиях форма частиц может быть несферической, а также иметь геометрически неправильную форму. При этом может наблюдаться геометрическая неоднородность частиц разного размера, сам показатель преломления также может быть различен для разных диапазонов размеров частиц. Кроме того, могут возникать реальные ситуации, когда нельзя будет пренебречь двукратным и более рассеянием лазерного излучения аэрозольными частицами. В этих случаях недостаточно только теоретических предпосылок, а необходимы экспериментальные исследования. Основанием для таких исследований могут стать результаты, которые получаются при численном моделировании ослабления и рассеяния лазерного излучения на выбранных длинах волн частицами в области возможных диапазонов концентраций и размеров частиц по размерам. При этом принимаются следующие допущения:

- частицы являются однородными, имеют сферическую форму во всём диапазоне размеров, а двукратным и более высоким порядком рассеяния можно пренебречь. Тогда появляется возможность по результа-

там численного моделирования для различных методов лазерного зондирования определить области значений длин волн, в пределах которых будет наблюдаться достаточно сильная корреляционная связь между концентрацией частиц и их ФРЧ с сигналами ослабления и рассеяния лазерного излучения. Реальные корреляционные зависимости могут в той или иной степени отличаться от теоретически полученных. Поэтому предлагается откорректировать эти зависимости по результатам экспериментальных исследований.

С этой целью на базе пылевого стенда, описанного в [10], создана экспериментальная установка для проведения исследований по решению обратных задач многочастотного лазерного зондирования в видимой и в ближней ИК-области. В задачах экологического мониторинга актуальным является лазерное зондирование потоков на выходе пылегазоочистного оборудования [1, 4]. Функции распределения при этом смещаются в область малых размеров. Так, если образующийся аэрозоль имеет оодинимодальную ФРЧ с модой в районе 15–25 мкм, то на выходе циклона характер ФРЧ сохраняется, а мода смещается в область значений 5–10 мкм. А на выходе рукавного фильтра или электрофильтра значение моды лежит от 0,5 до 1,5 мкм. Поэтому для таких параметров аэродисперсных потоков наиболее приемлемыми методами лазерного зондирования являлись модифицированный метод спектральной прозрачности (ММСП), метод полной индикатрисы и интегрального светорассеяния (МИСР). Первый метод позволяет по зависимости ослабления лазерного излучения на двух длинах волн оценивать средний объёмно-поверхностный размер частиц (d_{32}). Второй позволяет оценивать эту величину по рассеянному аэрозольными частицами лазерного излучения при зондировании на двух длинах волн при фиксированном значении угла рассеяния лазерного излучения. Длины волн и угол рассеяния подбираются таким образом, чтобы чувствительность метода была по возможности максимальной. Измеренное значение d_{32} при аппроксимации функции распределения частиц по размерам логарифмически нормальным законом даёт возможность оценивать логарифм среднеквадратического отклонения. В случае существенного отклонения ФРЧ от логарифмически нормального необходимо увеличить число волн зондирования, что позволит оценивать параметры распределения, которые позволят более точно восстанавливать ФРЧ. В экспериментальной установке, построенной на основе пылевого стенда была реализована оптическая схема с полупроводниковыми лазерами в качестве источников излучения. Диапазон длин волн в соответствии с ФРЧ был выбран от 405 до 1064 нм. Этот диапазон значений длин волн обеспечивает решение обратных задач экологического мониторинга аэрозольных загрязнений.

В задачах диагностики технологических процессов получения порошковых материалов и задачах контроля промышленной безопасности в технологических процессах связанных с возникновением аэродисперсных

потоков взрывоопасных аэрозолей диапазон линейных размеров расширяется в область больших значений и область длин волн, применяемых при экологическом мониторинге лазеров, становится недостаточным.

Для расширения диапазона применяемых волн лазерного зондирования предложено построить экспериментальную установку, состоящую из двух автономных частей. Первая предназначена для исследований ослабления и рассеяния аэрозольными частицами лазерного излучения в области длин волн от 405 до 1064 нм и в полном объёме повторяет установку, описанную в работах [5, 8]. Вторая часть позволяет расширить спектр используемых длин волн лазерного излучения в ближнюю ИК-область. Её схема представлена на рисунке. Она построена на базе многочастотного импульсно-периодического лазера на парах стронция (ЛПС) 1.

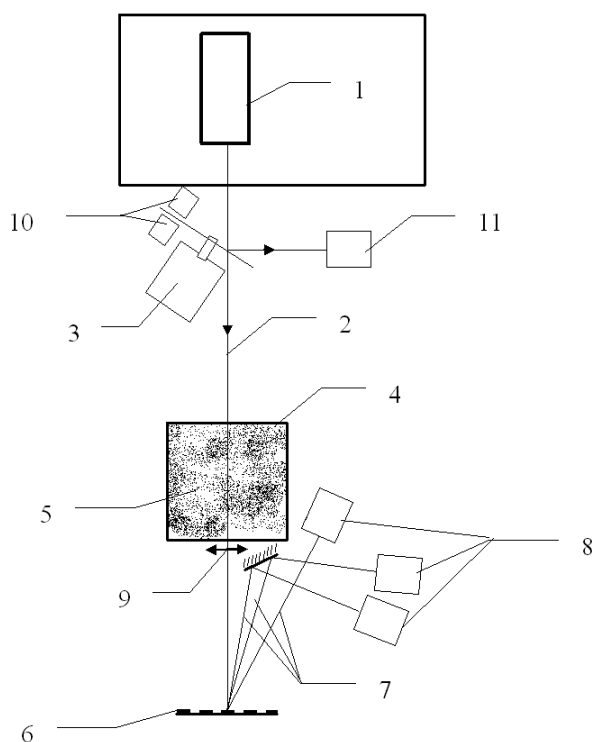


Рисунок. Схема экспериментальной установки

ЛПС одновременно генерирует излучение на нескольких длинах волн в диапазоне длин волн от 1030 до 6450 нм. Излучение 2 лазера, проходя через обтюратор 3, направляется в сечение измерительного объёма газа 4 пылевого стенда. Ослабленное частицами 5 аэрозольного потока лазерное излучение направляется на дифракционную решётку 6, отклоняющую излучение 7 с определённой длиной волны на соответствующие фотоприёмники 8. Длиннофокусная собирающая линза 9 сужает лазерные пучки в поле зрения фотоприёмников 8, что позволяет их локализовать в меньших габаритных размерах.

Для обеспечения высокой чувствительности и помехозащищённости используется двойное синхронное детектирование полезного сигнала, которая позволяет существенно повысить помехозащищённость измерений [11]. Для этого осуществляется дополнительная модуляция лазерного излучения с помощью оптопары 10. Поле зрения фотоприёмника оптопары периодически прерывается обтюратором 3, в котором прозрачные секторы чередуются с зеркальными. При этом угловые значения прозрачных и зеркальных секторов обтюратора одинаковые. Лазерный луч 2 при отражении от зеркального сектора обтюратора направляется на фотоприёмник опорного сигнала 11. Сигнал этого фо-

топриёмника используется как для исключения влияния неустойчивости лазерного излучения на результаты измерений, так и для формирования управляющего сигнала первого каскада синхронного детектора измерительного сигнала. Второй каскад синхронного детектора управляется сигналом, формируемым оптопарой 10. Частота импульсов для управления первым каскадом синхронного детектора задаётся самим ЛПС и лежит в области 15–22 кГц. Частота импульсов для управления вторым каскадом синхронного детектора задаётся частотой вращения обтюра 3 и угловым значением прозрачных и зеркальных секторов. Частота этих импульсов может задаваться в пределах от единиц до нескольких сотен Гц в зависимости от собственных частот шумов и вибраций пылевого стенда и элементов самой экспериментальной установки с целью минимизации их влияния [11]. Расширение диапазона длин волн в ближнюю ИК-область позволило увеличить верхний предел значения d_{32} с ≈ 1 мкм до ≈ 10 мкм. Это соответствует практически всем распределениям частиц по размерам реальных промышленных аэрозолей.

В настоящее время проводятся на представленной установке калибровочные эксперименты, результаты которых позволят повысить метрологическое качество экспериментальных исследований реальных промышленных аэрозолей.

Список литературы:

1. Чартий, П. В. Лазерная система предупреждения аэрозольных выбросов / П. В. Чартий, В. Г. Шеманин, Е. И. Веденин // Безопасность в техносфере. – 2014. – Т. 3, № 5. – С. 25–31.
2. Дьяченко, В. В. Экологический мониторинг аэрозолей с цементной дисперсной фазой / В. В. Дьяченко, С. В. Половченко, В. В. Роговский, П. В. Чартий // Научный диалог. – 2012. – № 7. – С. 6–18.
3. Васильев, А. О. Мониторинг выбросов углеводородов при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов / А. О. Васильев, В. Г. Шеманин, П. В. Чартий // Безопасность в техносфере. – 2011. – № 5. – С. 3–7.
4. Веденин, Е. И. Лазерная система предупреждения аварийных выбросов промышленных аэрозолей в атмосферу / Е. И. Веденин, П. В. Чартий, В. Г. Шеманин // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56, № 8–3. – С. 278–280.
5. Привалов, В. Е. Экспериментальное зондирование промышленных аэродисперсных потоков / В. Е. Привалов, С. В. Половченко, П. В. Чартий // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2014. – № 4 (206). – С. 64–73.
6. Вавилов, В. А. Лазерный контроль дисперсности цемента при его помоле по замкнутому циклу / В. А. Вавилов, С. В. Половченко, И. А. Сарычев, П. В. Чартий // Технологии, экономика и управление: анализ мировых и отечественных тенденций и перспектив развития : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. / отв. ред. Н. А. Овчаренко, Т. В. Лохова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2018. – С. 131–137.
7. Романченко, С. Б. Влияние дисперсного состава угольной пыли на показатели взрывоопасности / С. Б. Романченко, М. О. Девликанов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2019. – № 2. – С. 16–23.
8. Половченко, С. В. Восстановление функции распределения частиц по размерам на основе данных многоволнового лазерного зондирования / С. В. Половченко

ко, В. Е. Привалов, П. В. Чартий, В. Г. Шеманин // Оптический журнал. – 2016. – Т. 83, № 5. – С. 43–49.

9. Чартий, П. В. Восстановление функции распределения частиц по размерам с использованием методов лазерного зондирования / П. В. Чартий, С. В. Половченко // Безопасность в техносфере. – 2014. – Т. 3, № 6. – С. 37–42.

10. Чукардин, В. Е. Стенд для моделирования промышленного пылегазового потока / В. Е. Чукардин, П. В. Чартий // Безопасность жизнедеятельности. – 2003. – № 9. – С. 50.

11. Привалов, В. Е. Влияние шумов и вибраций оборудования на работу лазерного измерителя концентрации частиц и оптимизация его параметров / В. Е. Привалов, А. В. Рыбалко, П. В. Чартий, В. Г. Шеманин // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77, № 3. – С. 62–65.

Лазерная система мониторинга молекул углеводородов в атмосфере над акваторией морского порта

Э. К. Аблязов, А. О. Васильев, Е. И. Веденин, П. И. Сарычев, П. В. Чартий

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, *pvc-60@yandex.ru*

Предложен вариант лидарной системы мониторинга молекул углеводородов в воздушных выбросах. Разработан лидар дифференциального поглощения и рассеяния в средней области ИК спектра на длине волны 3,4 мкм для измерения суммарной концентрации предельных углеводородов. Выполнен вычислительный эксперимент для зондирования таким лидаром предельных углеводородов с концентрациями на уровне предельно допустимых. Решение лидарного уравнения показало, что за время измерения около 10 с на расстоянии зондирования до 500 м может быть измерена концентрация молекул гексана порядка 10^{15} см^{-3} .

Ключевые слова: мониторинг, молекулы углеводородов, воздушные выбросы, лидар дифференциального поглощения и рассеяния, концентрация.

The lidar system variant for hydrocarbon molecules monitoring in the air emissions has been proposed. The 3.4 μm wavelength differential absorption and scattering lidar in the mid-IR was designed to measure the total concentration of saturated hydrocarbons. A simulation experiment was performed to probe saturated hydrocarbons with concentrations at the level of maximum permissible concentrations with such a lidar. The lidar equation solution showed that for a measurement time of about 10 s at a ranging distance up to 500 m, the hexane molecules concentration value f of 10^{15} cm^{-3} can be measured.

Keywords: monitoring, hydrocarbon molecules, air emissions, differential absorption and scattering lidar, concentration.

Проблема качества атмосферного воздуха над предприятиями морского транспорта, связанного с хранением и транспортировкой нефти и нефтепродуктов, перешло в разряд таких же проблем, как и в нефтегазовой отрасли [1]. Каждый технологический процесс на таком производстве в той или иной степени выделяет химические компоненты, и в сумме они вносят ощутимый вклад в загрязнение атмосферного пограничного слоя. Основным источником воздушных выбросов на та-

ких предприятиях являются испарения нефти и нефтепродуктов во время хранения и сливно-наливных операций.

Поэтому целью настоящей работы является разработка лидарной системы мониторинга молекул углеводородов в воздушных выбросах при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов на территории морского порта.

Для измерения суммарной концентрации предельных углеводородов в воздушных выбросах при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов был разработан лидар дифференциального поглощения и рассеяния в средней области ИК спектра [1]. Этот метод измерения поглощения инфракрасного излучения в области около 3,4 мкм для определения концентрации углеводородов реализован в двух лучевой схеме с применением двух полупроводниковых лазеров. Экспериментальные измерения суммарной концентрации насыщенных паров предельных углеводородов были выполнены для различных сортов нефти на лабораторной системе и сравнивались с результатами измерений методом газовой хроматографии. Сделана оценка погрешности системы по н-гексану, а экспериментальные измерения суммарной концентрации предельных углеводородов различной нефти позволяют заключить, что предложенная система позволяет делать измерения по одному компоненту [2, 3] и получать результаты измерений суммарной концентрации легких фракций нефти в пределах установленной погрешности 25 % и диапазоне концентрации 20...60 г/м³.

Такая лидарная система предназначена для регистрации рассеянного аэрозолем и газовыми молекулами из заданной области атмосферы на расстояниях зондирования до 500 м на длине волны зондирующего лазерного излучения 3,4 мкм и опорного канала – 2,9 мкм с последующей обработкой сигналов с фотоприемников в ПК.

Для оценки потенциальных возможностей такой системы и выбора параметров лазерного излучения был выполнен вычислительный эксперимент для зондирования методом дифференциального поглощения и рассеяния молекулами предельных углеводородов с концентрациями на уровне предельно-допустимых. Лидарное уравнение для дифференциального поглощения и рассеяния типа [1, 4] в предположении однократного рассеяния в направлении назад на атмосферной трассе длиной до 500 м численно решалось для следующих параметров лидара: площадь приемного телескопа равна $A_0 = 0,037 \text{ м}^2$; шаг по расстоянию $\Delta R = 15 \text{ м}$ для времени измерения 100 нс и концентрация молекул гексана $N = 1016 \text{ см}^{-3}$. Значения сечения резонансного поглощения молекул гексана для валентного колебания $\text{CH} - \sigma_a = 1,14 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ было взято из [5, 6].

В результате получено, что за время измерения около 10 с на расстоянии зондирования до 500 м может быть измерена концентрация молекул гексана порядка 10^{15} см^{-3} [1, 3].

Поэтому применение такой системы дифференциального поглощения в средней области ИК спектра поглощения позволит выполнять автоматический непрерывный мониторинг выбросов в реальном времени с целью сокращения экологического и экономического ущерба и обес-

печение взрыво- и пожаробезопасности в области рабочей зоны, а также мониторинг эксплуатации инженерно-технических средств по сокращению потерь [4].

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ, проект № 19-42-230004 и проект № 19-45-230009.

Список литературы:

1. Привалов, В. Е. Дистанционное лазерное зондирование углеводородов в атмосфере / В. Е. Привалов, В. Г. Шеманин // Письма в Журнал технической физики. – 2001. – Т. 27, № 21. – С. 71–75.
2. Privalov, V. E. Lidar measurements of iodine molecule concentration / V. E. Privalov, V. G. Shemanin, E. I. Voronina // Proc. SPIE. – 2002. – P. 78–82.
3. Vasilyev, A. O. IR detector for hydrocarbons concentration measurement in emissions during petroleum and oil products storage and transportation / A. O. Vasilyev, P. V. Charity, V. G. Shemanin // Proc. SPIE. – 2011. – Vol. 8155. – P. 81550T-1–81550T-10.
4. Привалов, В. Е. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы / В. Е. Привалов, А. Э. Фотиади, В. Г. Шеманин. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 288 с.
5. Межерис, Р. Лазерное дистанционное зондирование / Р. Межерис. – Москва : Мир, 1987. – 550 с.
6. Лазерный контроль атмосферы / под ред. Э. Хинкли. – Москва : Мир, 1979. – 546 с.

Геохимия дефляционных и техногенных аэрозолей

В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, v-v-d@mail.ru

Проведен сравнительный эколого-геохимический анализ дефляционных, преимущественно естественных и техногенных аэрозолей. В качестве дефляционных аэрозолей использована тонкодисперсная часть почв Предкавказья (фракция менее 0,1 мм). Дисперсная часть техногенных аэрозолей собрана в аэродинамических ловушках зданий города Новороссийска. Все пробы проанализированы спектральным анализом на содержание 25 микроэлементов. В результате определены особенности аэрозолей и получены маркеры, позволяющие интерпретировать происхождение тех или иных аэрозолей.

Ключевые слова: аэрозоль, взвешенные частицы, микроэлементы, загрязнение, пыль, дефляция.

This article presents a comparative ecological and geochemical analysis of deflationary, mainly natural aerosols and technogenic ones. A finely dispersed part of the soils of the Ciscaucasia (fraction less than 0.1 mm) was used as deflation aerosols. The dispersed part of technogenic aerosols was collected in aerodynamic traps of buildings in the city of Novorossiysk. All samples were analyzed by spectral analysis for the content of 25 microelements. As a result, the features of those and other aerosols have been determined and markers have been obtained that make it possible to interpret the origin of these or those aerosols.

Key words: aerosol, suspended particles, trace elements, pollution, dust, deflation.

В связи с повышенной ролью в загрязнении окружающей среды и опасностью для здоровья людей большое значение имеет своевременное определение источников воздушного загрязнения. Для этого необходима правильная интерпретация комплекса химических соединений и материала взвешенных частиц в воздухе. Идентификация аэрозолей является непростой задачей, поскольку поставщиков взвешенных частиц в атмосферу много. Они имеют как природное, так и техногенное происхождение. Поэтому оценивая вклад различных источников в загрязнение окружающей среды нужно знать фоновые особенности атмосферного аэрозоля, геохимические и микрофизические особенности частиц различных источников загрязнения и дефляционную составляющую.

Во многих регионах именно дефляция формирует фоновые характеристики аэрозоля атмосферного пограничного слоя (АПС). В менее распаханых и менее аридных регионах доля дефляционной компоненты снижается и начинают доминировать другие факторы его формирования. Так на большей территории России фоновую матрицу аэрозолей АПС формируют выбросы теплоэлектростанций и предприятий по производству строительных материалов. Последний фактор менее важен и более локален, но где-то может играть доминирующую роль. Например, расположенные в Новороссийске и его окрестностях цементные заводы выбрасывают в атмосферу сотни тысяч тонн взвешенных частиц в год. А сколько частиц выдувается с карьеров и ползущих вниз по склону осыпей? Это громадные по площади и производительности дефляционные поля. Недаром в Новороссийске все больше доминируют превышения ПДК именно по взвешенным веществам. В целом стационарные источники загрязнения Новороссийской агломерации обеспечивают 17–25 % выбросов взвешенных частиц всего Краснодарского края.

В целом, основным природным источником аэрозолей на юге РФ, является дефляционная составляющая. Это обусловлено высокой степенью деградации природных ландшафтов и распаханностью земель (до 70 % территории некоторых регионов), лессовым характером почвообразующих грунтов, а также близостью к глобальным областям развеивания (Калмыкия, северный Дагестан и Астраханская область). Доминирующая роль дефляционного фактора в загрязнении АПС отмечалась многими авторами. Установлено влияние дефляции и на геохимический спектр почв, в том числе формирование аномальных геохимических структур [1–5].

Геохимическая оценка почв юга России показывает, что химический состав ее наиболее летучей фракции (менее 0,1 мм) существенно отличается от современных представлений о коэффициентах аэрозольной аккумуляции микроэлементов В.В. Добровольского или данных по другим регионам Н. Ф. Глазовского и др. Это свидетельствует о том, что аэрозоли АПС юга РФ очень специфичны или химический состав аэрозолей существенно трансформируется в атмосфере, а дефляционная составляющая является своеобразной матрицей, на которой осаждаются

химические элементы, находящиеся в воздухе вследствие техногенных выбросов, в состоянии рассеяния, парогазовой форме или из других природных и антропогенных источников. Микроскопический анализ свидетельствует о том, что даже кварцевые частицы мельче 0,1 мм облеплены десятками частиц мельче их в десятки и сотни раз.

Короткий период снегового покрытия на юге России усложняет сбор аэрозолей обычным способом. В связи с этим, для получения объективных данных о процессах формирования воздушного канала загрязнения, а также создания моделей массопереноса в атмосфере и идентификации аэрозолей различного генезиса, ведется сопряженное изучение почв региона (источник дефляционных аэрозолей и накопитель загрязнения), материала собранного из аэродинамических ловушек высотных зданий, а также мониторинг аэрального переноса методами дистанционного лазерного зондирования, опираясь на многолетнее изучение членами нашего коллектива наиболее активного агента аэрозольного загрязнения региона – цементной пыли [6, 7].

С целью определения геохимических особенностей потенциальных дефляционных аэрозолей были произведены гранулометрический и спектральный анализы 51 пробы почв в целом и ее наиболее «летучей» фракции (мельче 0,1 мм) [8, 9]. По соотношению микроэлементов построен ряд по уменьшению степени обогащения тонкодисперсной фракции относительно почвы в целом: Ti (1,37) > Be, Sr (1,34) > Ga (1,23) > Mn (1,2) > Ba (1,19) > Pb, Co, V, Mo (1,16) > Zn (1,08) > Cu (1,04) > Ni (0,92) > Sn (0,87) > Cr (0,79).

Данный ряд свидетельствует о существенном обогащении тонкой фракции Ti, Be, Sr и обеднении Cr, Sn, Ni. Для оценки его объективности можно использовать и соотношение микроэлементов в тонкодисперсной и крупнодисперсной частях почв. Таким образом, получен следующий ряд: Ti (19,5) > Sr (17,5) > Ga (3,86) > Be (3,56) > Mn, Ba (3,38) > Pb (2,45) > Cu (2,1) > Zn (2,0), Co (1,92), Mo (1,05) > Ni (0,48) > Cr (0,39) > Sn (0,29) > V (0,22).

Из него следует, что обогащение тонкодисперсной фракции Ti и Sr подтверждается и является устойчивым признаком, так же как обеднение V, Sn, Cr, Ni. Эти особенности можно использовать в качестве маркеров при определении соотношения дефляционного и техногенного вклада в формирование аэрозолей региона. Закономерно увеличились коэффициенты дифференциации, подтверждая значительную роль мелкой фракции в геохимическом спектре почв. Более крупные фракции обеднены многими химическими элементами за счет доминирования среди обломочного материала почв зерен кварца, солей и ослабления сорбции, вследствие увеличения размера частиц и уменьшения площади их поверхности. Это в целом соответствует ранее выявленным закономерностям для всех микроэлементов, за исключением V. Очевидно это

результат очень низкой контрастности его распределения в различных пробах, но требует дальнейшего изучения.

Таковы особенности почв Предкавказья – потенциальных источников аэрозолей. Их отличие от представлений о геохимии аэрозолей АПС других регионов обусловлено своеобразием гранулометрического, минералогического состава почв и историей региона, особенностью которой является частое афитогенное состояние покровных отложений, во время оледенений, интенсивного выпадения лессовых частиц, регрессий Каспия и периодов опустынивания. Поэтому обогащение почв Sr обусловлено аридным климатом, засолением покровных отложений и глин, часто являющихся почвообразующими (в центральной и восточной части региона). Обогащение Ti связано с высокой устойчивостью к выветриванию и твердостью (отличается самым большим отношением прочности к массе из всех элементов), образуемых им минералов (рутил, ильменит и др), многократной перевеянностью песков и лессов Восточного и Центрального Предкавказья, а также наличием его месторождений.

Кроме того, в разных частях Новороссийска, АПС которого является основным объектом исследований, на различном расстоянии от техногенных источников аэрозолей и разной высоте взято 50 проб пыли. Согласно визуальным, микроскопическим, химическим анализам, доминирующим фактором аэрозольного загрязнения во многих районах является цемент и в значительно меньшей степени уголь. Спектральный анализ показал, что относительно регионального кларка [10] техногенные аэрозоли образуют следующий ряд: $Ag (6,99) > Zn (5,19) > Pb (4,48) > Cu (2,6) > Sr (1,88) > Ba (1,78) > Sn (1,09) > Mo (0,99) > Mn (0,94) > Cr (0,86) > Co (0,78) > Ga, Ni (0,73) > Ti (0,7) > V (0,67)$. Таким образом, городские аэрозоли резко обогащены Ag, Zn, Pb и Cu – элементами полиметаллами которые совершенно не характерны для местных, преимущественно карбонатных (в основном мергелей) горных пород. связи с этим, было бы более оправданно обогащение пыли Sr и Ba.

В то же время микроэлементы тонкодисперсной части почв относительно регионального кларка образуют следующий ряд: $Ti (1,49) > Sr (1,47) > Zn, V (1,42) > Ga (1,29) > Mn (1,20) > Co (1,16) > Pb (1,12) > Cu (1,11) > Ba, Cr (1,03) > Ag, Ni (1,01) > Mo (0,095) > Sn (0,82)$. Очевидно, что два этих ряда сильно отличаются, что позволяет выделить определенные маркеры, позволяющие определять генезис аэрозолей по их химическому составу. В частности дефляционный фактор приводит к обогащению аэрозолей Ti, Sr и V, а техногенный – Ag, Pb и Cu. Что характерно ведущие элементы этих парагенетических ассоциаций - серебро с одной стороны и титан, ванадий с другой стороны, имеют пониженные содержания в другой ассоциации, что повышает объективность их использования как маркеров.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 19-42-230004, 19-45-230009.

Список литературы:

1. Приваленко, В. В. Техногенная геохимия и биогеохимия городов Нижнего Дона : дис. ... д-ра биол. наук / Приваленко В. В. – Москва, 1995. – 319 с.
2. Дьяченко, В. В. Особенности миграции химических элементов в почвах геохимических ландшафтов Центрального и Восточного Кавказа : дис. ... канд. с.-х. наук / Дьяченко В. В. – Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 1996. – 115 с.
3. Дьяченко, В. В. Формирование аномалий тяжелых металлов на геохимических барьерах в почвах под воздействием интенсивной ветровой эрозии / В. В. Дьяченко // Геохимические барьеры в зоне гипергенеза : тез. докл. – Москва : Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, 1999. – С. 163–166.
4. Дьяченко, В. В. Влияние механических процессов на миграцию химических элементов в почвах / В. В. Дьяченко // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр : докл. I Междунар. конф. – Москва : Рос. ун-т дружбы народов, 2003. – С. 116–132.
5. Дьяченко, В. В. Геохимия и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа : дис. ... д-ра геогр. наук / Дьяченко В. В. – Ростов-на-Дону : Южн. федер. ун-т, 2004. – 326 с.
6. Дьяченко, В. В. Экологический мониторинг аэрозолей с цементной дисперсной фазой / В. В. Дьяченко, С. В. Половченко, В. В. Роговский, П. В. Чартий // Научный диалог. Естествознание и экология. – 2012. – № 7 – С. 6–17.
7. Дьяченко, В. В. Контроль экологической безопасности пылегазоочистных установок модифицированным методом спектральной прозрачности / В. В. Дьяченко, В. В. Роговский, П. В. Чартий // Безопасность в техносфере. – 2014. – № 4. – С. 17–22.
8. Санникова, А. Б. Экология: количественная оценка геохимических систем биосферы : практикум : учеб. пособие (гриф УМО) / А. Б. Санникова. – Краснодар : Куб-ГТУ, 2011. – 170 с.
9. Дьяченко, В. В. Науки о земле : учебник / В. В. Дьяченко, Л. Г. Дьяченко, В. А. Девисилов ; под ред. В. А. Девисилова. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 345 с.
10. Дьяченко, В. В. Региональные кларки химических элементов в почвах юга европейской части России / В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова // Почвоведение. – 2016. – № 10. – С. 1159–1166.

Наноматериалы высоковольтных кабелей и проводов

А. Е. Воробьев, К. А. Воробьев

Российский университет дружбы народов, Москва, *fogel_al@mail.ru*

Описаны различные наноматериалы высоковольтных кабелей и проводов. Детализированы их необходимые функции. Раскрыты причины появления в наноматериалах специфических свойств и характеристик. Показаны электрические и магнитные свойства наноматериалов.

Ключевые слова: электроэнергетика, наноматериалы, свойства и характеристики.

Various nanomaterials of high-voltage cables and wires are described. The detailed their necessary functions. The emergence reasons in nanomaterials of specific properties and characteristics are opened. Electric and magnetic properties of nanomaterials are shown.

Keywords: power industry, nanomaterials, properties and characteristics.

Современные конструкции различных устройств, используемых в электроэнергетике, должны обладать такими специфическими функциями (пока еще не реализованными в реальной практике), как самодиагностика, самоочищение и самовосстановление, наделяя их важной способностью целенаправленно реагировать на все вероятные изменения внутренних и внешних факторов, с возможностью активировать различные исполнительные устройства, что может быть обеспечено, прежде всего, на основе использования наноматериалов и нанотехнологий [1–6]. Кроме того, одна из наиболее важных проблем, с которой сталкиваются электроэнергетики, представляет собой необходимость резкого снижения потерь энергии в процессе ее передачи по высоковольтным линиям потребителю.

Именно с нанотехнологиями связана принципиальная возможность формировать внутреннюю структуру материалов, используемых в электроэнергетике (прежде всего в высоковольтных кабелях и проводах [7]), в наномасштабных размерах, т.е. кардинально менять их первоначальную структуру на атомном и молекулярном уровнях.

Поэтому для применения в электроэнергетике в качестве токопроводящих жил высоковольтных кабелей и проводов рассматриваются такие наноматериалы, как [8]: углеродные нанотрубки, нанопровода, наноглины, нанопорошки, нанопены (в том числе – разбухающие), нанокерамика, нанополимеры (имеется достаточное количество промежуточных гибридных наноматериалов, например, металлополимерные или биополимерные нанокомпозиты), многослойные наноленты и др.

Необходимо отметить, что по сравнению с обычными материалами в них значительно изменены механические, химические, электрофизические, магнитные, оптические, теплофизические и другие специальные свойства и характеристики [9].

Основные физические причины таких изменений в свойствах и характеристиках наноматериалов определяется следующим [9]:

- большой долей приповерхностных атомов в наночастицах;
- увеличением объемной доли границ раздела;
- склонностью к самоорганизации и образованию кластерных структур;
- размером элементов наноструктур, как правило, соизмеримым с характерным размером некоторых фундаментальных физических величин;
- возможностью проявления квантовых эффектов.

В качестве характерного примера можно привести углеродные нанотрубки, которые представляют собой наноразмерные цилиндрические трубки, выполненные из графитированного углерода, имеющие одну, две стенки или больше стенок [8]. Они являются самыми прочными из всех известных к настоящему времени волокон, а также обладают довольно уникальными электрическими свойствами и характеристиками. При чем, в зависимости от той или иной структуры нанотрубок, они могут вести себя как металлический проводник или полупроводник.

Изменение электрических свойств наноматериалов, используемых для проводников в основном обусловлены особенностями поведения в них электронов проводимости. Когда по проводнику из традиционных металлов проходит электрический ток, то электроны сталкиваются с их примесными атомами, атомной решеткой, фононами, либо дефектами [9].

Осуществленные экспериментальные исследования показали, что границы зерен используемых в проводниках металлов носят неравно-весный характер, обычно обусловленный присутствием высокой кон-центрации зернограницных дефектов (рисунок 1). Эта неравновесность, как правило, характеризуется избыточной энергией границ зерен и наличием здесь дальнедействующих упругих напряжений [9]. В тоже время на границах таких зерен имеют кристаллографически упорядо-ченное строение. Определенная неравновесность границ таких зерен вызывает искажения кристаллической решетки материала проводника, а также изменение межатомных расстояний и появление значительных смещений атомов (вплоть до потери упорядоченности).

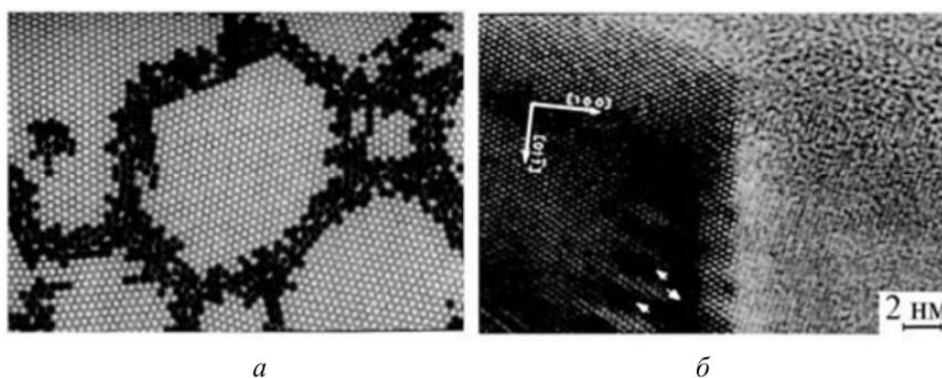


Рисунок 1 – Атомная модель наноструктурного материала [9]: черным обозначены атомы зернограницной области (а); границы зерна в наноструктурной меди (просвечивающая электронная микроскопия) (б)

Результатом этих особенностей является повышенное значение электрического сопротивления используемых традиционных материалов, что приводит к выделению электрической энергии в виде тепла, т.е. потери некоторой её части. В нанопроводниках электроны могут перемещаться без подобных столкновений и выделения тепла, т.е. максимально эффективно.

Также в электроэнергетике важными представляются магнитные наноматериалы, которые обычно разделяют по типу организации их внутренней системы и факторам, определяющим их магнитные свойства (рисунок 2) [9]:

- **тип А** – изолированные невзаимодействующие магнитные частицы (магнитные жидкости, композиты и диэлектрики, с низкой концентрацией магнитной фазы). Свойства подобной наносистемы определяются только размерным фактором;
- **тип В** – наночастицы «ядро в оболочке» (нанопорошки металлов, покрытых слоем соответствующего оксида и др.). Свойства таких нано-

систем практически полностью определяются характером взаимодействия ядра с оболочкой;

- **тип С** – магнитные частицы в магнитоактивной или неактивной матрице. Свойства этой наносистемы определяются как размерами частиц, так и характером их взаимодействия с матрицей и друг с другом;

- **тип D** – наносистемы с высокой концентрацией наночастиц (самоорганизованные наносистемы). Их свойства определяются, прежде всего, условиями и характером межчастичного взаимодействия.

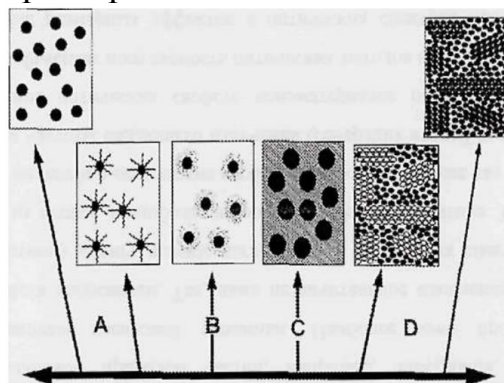


Рисунок 2. Схематический вид магнитных наноструктур с различным типом организации [9]

Список литературы:

1. Воробьев, А. Е. Наноматериалы и нанотехнологии: особенности протекания физико-химических процессов / А. Е. Воробьев, К. А. Воробьев. – Mauritius : Lambert Academic Publishing, 2018. – 104 с.
2. Воробьев, А. Е. Импортзамещающие нанотехнологии в топливно-энергетическом комплексе России / А. Е. Воробьев, А. Д. Гладуш. – Москва : РУДН, 2014. – 158 с.
3. Воробьев, А. Е. Наноинженерия топливно-энергетического комплекса / А. Е. Воробьев, А. Д. Гладуш // Нанотехнологии настоящего и будущего. – Москва : РУДН, 2019. – Т. 3. – 417 с.
4. Воробьев, А. Е. Нанотехнологии в производстве модификаторов / А. Е. Воробьев, М. Х. Ибылдаев // Механика и технологии (Казахстан). – 2015. – № 2. – С. 102–105.
5. Воробьев, А. Е. Становление современного рынка наноиндустрии : учеб. пособие / А. Е. Воробьев, З. В. Лысенкова, С. Б. Тралбесси. – Москва : Моск. техн. ун-т (МИРЭА), 2017. – 68 с.
6. Воробьев, А. Е. Возможности эффективного применения инновационных методик подготовки кадров по специальностям энергетики / А. Е. Воробьев, М. З. Мадаева, К. А. Воробьев // Актуальные вопросы подготовки кадров по специальностям энергетики : материалы республиканской науч. конф. – Сумгаит (Азербайджан) : Сумгаит. гос. ун-т, 2019. – С. 6–13.
7. Cizmic, H. Nanotechnology: how small is the nanoworld in cable industry / H. Cizmic // Wire Journal International. – 2007. – № 3. – С. 27–31.
8. Кабели и нанотехнологии. – URL: <https://mobile.ruscable.ru/article/96>
9. Бенда, А. Ф. Материалы нанотехнологий в полиграфии / А. Ф. Бенда // Наноматериалы. Проблемы безопасности, экологии и этики в применении наноматериалов. – Москва : МГУП им. И. Федорова, 2014. – Ч. 2. – 130 с.

Имидж муниципального образования – основа экономического роста и инвестиционной привлекательности территории

Т. В. Воронина, Т. В. Лохова

Новороссийский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО
«Кубанский государственный технологический университет»,
Краснодар, 324548@mail.ru

Рассматривается проблема формирования устойчивого имиджа и деловой репутации муниципального образования, особенности его развития и влияние устойчивого и надежного имиджа на рост экономического благосостояния населения региона. Исследована роль нематериальных активов в формировании инвестиционно-привлекательного имиджа муниципального образования.

Ключевые слова: муниципальное образование, имидж муниципалитета, инвестиционная привлекательность.

In the article the problem of forming a stable image and reputation of the municipality, especially its development and influence of a robust and reliable image to increase the economic welfare of the region. The role of intangible assets in the formation of an investment-attractive image of a municipality is studied.

Keywords: municipal education, the image of the municipality, attractiveness for investment.

По сути, муниципальное управление представляет собой такую организацию власти на местах, которая предполагает самостоятельное решение населением ряда вопросов местного значения и управление муниципальной собственностью, осуществляемое органами местного самоуправления, а также населением МО путем различных форм прямого волеизъявления. Именно специфика взаимодействия общества и власти и отражается в образовании имиджа и репутации МО.

Муниципальное управление подразумевает непосредственное обеспечение нормальных условий жизнедеятельности населения: благоустройство территории, содержание ЖКХ, поддержание его в нормальном состоянии, предоставление коммунальных услуг, обслуживание местного транспорта и связи, создание достойных условий для функционирования образовательных и медицинских учреждений, обеспечение торгового, бытового, культурного обслуживания населения и т.п. Данные задачи органы муниципальной власти способны решать оперативнее и эффективнее, так как имеют наиболее достоверное и адекватное представление о существующих потребностях населения и специфике местных условий [2, с. 88].

Отметим также, что муниципальное управление обусловлено необходимостью эффективного привлечения всех видов имеющихся в наличии ресурсов, таких как, географические, климатические, кадровые, материальные, финансовые и др., выявление и оптимальное использование

которых способствует не только увеличению налоговой базы, но и привлечению большего объема инвестиций, созданию новых рабочих мест, уменьшению безработицы, повышению благосостоянию населения и, как следствие, повышению конкурентоспособности территории.

Кроме того, муниципальное образование выступает в качестве медиатора в обеспечении создания и функционирования обратной связи в системе государственного управления, т.е. организует непосредственное взаимодействие государства с населением.

Имидж и репутация муниципального образования становятся основополагающим фактором продвижения местных экономических и политических проектов, так как представляют собой важнейший конкурентный ресурс для налаживания партнерских отношений между муниципальными образованиями, являются предпосылкой ускорения социально-экономического развития территории, повышения уровня и качества населения МО. Это обусловлено тем, что имидж территории способствует ускорению решения ряда социально-экономических и политических проблем и отмечается в демографической динамике муниципальных образований. Отмечая понятие «имидж муниципального образования», мы в первую очередь имеем в виду уникальный, запоминающийся образ, выделяющий особенности и подчеркивающий отличительные, порой уникальные, особенности исследуемой территории от других.

Проведение в России реформ местного самоуправления, вызвавших значительную дифференциацию форм собственности, одновременно породило важнейшую экономическую проблему – обеспечение рационального, эффективного с экономико-социальных позиций управления значительной по размерам муниципальной собственностью. Как показывали данные еще 2007 г., доходы от использования имущества, находящегося в муниципальной собственности, составляли основную долю (42,7 %) неналоговых доходов муниципальных образований Российской Федерации. В городских округах доля данного вида дохода в общей сумме неналоговых доходов составляла 42,0 %, в муниципальных районах – 39,3 %, в поселениях – 71,7 %. Практически во всех странах муниципальные власти имеют в собственности или в том или ином виде контролируют значительные объемы местных (муниципальных) активов. Однако лишь небольшое количество муниципалитетов воспринимает данные ресурсы как «портфель» активов, структура которого может изменяться в зависимости от стратегических целей развития местного общества [3].

Наличие рейтинга муниципалитета внутри региона раскрывает объективные финансовые возможности города, повышает репутацию городской власти как готовой для приема инвестиций и открытой для диалога с инвесторами. Достаточно высокий рейтинг повышает возможности города при любой коммерческой или финансовой операции. Независимо от того, используется ли рейтинг для привлечения инвести-

ций, получения кредитов, выпуска ценных бумаг, сбыта продукции или расширения деятельности, рейтинг позволяет местному органу власти, демонстрируя свою активную деловую репутацию, заключать сделки на более выгодных для себя условиях.

Согласно классическим методикам рейтинговых оценок, при установлении объективного рейтинга индикативным методом учитываются финансово-экономические и ситуационные параметры устойчивости муниципального образования. К финансово-экономическим параметрам относится устойчивость бюджетной системы, финансово-экономическая ситуация, динамика финансово-экономического развития МО. Ситуационные параметры включают устойчивость муниципальной власти, благоприятный климат для развития предпринимательства, кредитную историю МО. Всесторонний анализ устойчивости муниципального образования позволяет снизить риски потенциальных инвесторов и повысить конкурентоспособность муниципалитета. В то же время рейтинги становятся визитной карточкой местных органов власти и способствуют результативному участию МО в различных конкурсах и тендерах. Практика показывает высокую зависимость между рейтингом инвестиционной привлекательности муниципалитета и «политическим долголетием» главы местной администрации. Данная взаимосвязь очевидна: чем устойчивее МО, тем больше доверия муниципальной власти, и, одновременно, чем выше рейтинг главы администрации, тем привлекательнее для инвесторов становится территория.

Помимо объективной оценки деятельности муниципального образования, с учетом того, что эконометрические модели часто страдают сложностью обеспечения текущими источниками данных большинства независимых переменных, необходимых для анализа, целесообразно использовать и субъективный подход, учитывающий имидж муниципалитета и степень доверия органам муниципальной власти со стороны местного сообщества, представляющий взгляд изнутри на социально-экономические тенденции развития территории, несмотря на то, что в экспертных системах не всегда четко прослеживаются причинные отношения. Обратная связь от местного сообщества на протяжении последних лет поступает молниеносно в социальные сети и на официальные аккаунты главы администрации и его заместителей, которые являются публичными.

Качественный подход позволяет оценить специфику каждой конкретной ситуации. В некоторых случаях внимательное исследование различных специфических элементов, определяющих ситуацию, может быть более важным, чем проведение систематической количественной оценки. Большим недостатком этого метода является чрезмерная субъективность оценок. Старые стереотипы общества могут сыграть роковую роль в процессе оценки критериальных групп. Дж. Саймон оценил этот подход как «спорадический, основанный на селективном, неконтролируемом восприятии или идеологических и личностных пристрастиях» [3].

Перспективы социально-экономического развития муниципального образования во многом обусловлены уровнем развития инвестиционной деятельности и, в свою очередь, качеством управления нематериальными активами муниципалитета, эффективное управление которыми должно стать неотъемлемым элементом экономической и финансовой политики.

Имидж муниципального образования – очень разноплановый, иногда искусственно создаваемый образ, который складывается в сознании людей, которые в свою очередь формируют свои многообразные образы и представления о конкретной территории. Эти разные, порой полярные представления, зависят от ряда факторов: и индивидуального субъективного восприятия, и от уровня образования населения, и от способности анализировать информацию об исследуемой территории, и, наконец, у них самый разный жизненный и профессиональный опыт, да и ожидания от исполнительной активности органов муниципального управления [1].

Подводя итоги, отметим, что имидж муниципального образования в современном мире и понимании это не только результат многофакторной модели местного исторического развития, но и активный инструмент преобразований, повышения статуса и престижа данной территории, его экономическая ценность.

Список литературы:

1. Гвоздева, В. С. имидж муниципального образования как фактор повышения эффективности муниципального управления / В. С. Гвоздева // Государственное и муниципальное управление в XXI веке: теория, методология, практика. – 2011. – № 1. – С. 121–127. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20401182> (дата обращения 22.08.2020).
2. Панкрухин, А. П. Маркетинг территорий : учеб. пособие / А. П. Панкрухин. – Москва, 2012 – 146 с.
3. Пригода, Л. В. Имидж муниципального образования как составляющая инвестиционной привлекательности территории / Л. В. Пригода // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. – 2010. – № 1 (27). – С. 171–175. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15204755> (дата обращения: 20.08.2020).

К вопросу развития инновационного человеческого капитала в современной муниципальной политике

В. Е. Павлюк, Н. Ю. Настаева, Т. В. Лохова

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар,
24548@mail.ru

Рассматривается проблема превращения человеческого потенциала в ресурс муниципального управления. Поскольку конкурентные преимущества экономики в современных условиях напрямую связаны с накопленным в стране и задейство-

ванным человеческим капиталом. Авторами выявлены приоритетные источники социально-экономической динамики управленческих действий, направленные на развитие человеческого потенциала и инвестиций непосредственно в человека, т.е. кадры муниципальных образований. Выявлены причины изменений развития муниципального образования в зависимости от системы управления человеческим капиталом в социально-экономическом развитии современности.

Ключевые слова: муниципальная политика, социально-экономическое развитие, человеческий капитал, стратегия развития муниципалитета.

The article deals with the problem of turning human potential into a resource of municipal management. Since the competitive advantages of the economy in modern conditions are directly related to the accumulated and used human capital in the country. The authors identified priority sources of socio-economic dynamics of management actions aimed at the development of human potential and investment directly in the person, i.e. personnel of municipalities. The reasons for changes in the development of a municipality depending on the human capital management system in the socio-economic development of our time are revealed.

Keywords: municipal policy, socio-economic development, human capital, municipal development strategy.

Муниципальное социально-экономическое развитие в современном мире рассматривается как процесс изменений в местной экономике, стратегически направленный на улучшение качества жизни населения. Комплексное социально-экономическое развитие муниципальных образований требует определенных ресурсов, в том числе квалифицированных кадров, которые, увы, не всегда имеются в наличии. Вместе с тем самостоятельное осуществление многих полномочий на уровне муниципального управления недостаточно обеспечено ресурсами и местное самоуправление не использует всех имеющихся возможностей, хотя именно к ним относится и важное направление – налаживание эффективного управления.

Задача превращения человеческого потенциала в ресурс муниципального управления считается одной из сложнейших задач органов местного самоуправления. Конкурентные преимущества экономики в современных условиях напрямую связаны с накопленным в стране и задействованным человеческим капиталом. Следовательно, приоритетным источником социально-экономической динамики должны стать управленческие действия, направленные на развитие человеческого потенциала и инвестиции в человека. Изменения, происходящие с человеческим капиталом в процессе развития муниципального образования, представляют большой научный и практический интерес [5].

Важнейшим элементом национального богатства, определяющим конкурентные преимущества экономики, является человеческий капитал. Современными аналитическими справками и исследованиями экономистов доказано, что человеческий капитал составляет более 60 % общего объема богатства стран [2]. Преобладание вклада этого фактора особенно заметно в странах с высоким уровнем дохода. Люди, обладающие образованием, квалификацией и опытом, представляют собой

ценный производственный ресурс, который при эффективном использовании может стать основой экономического роста любой страны. Человеческий капитал как экономическая категория стал одним из общеэкономических стержневых понятий, позволяющих описать и объяснить через призму человеческих интересов и действий многие экономические процессы [1]. Нередко понятие «человеческие ресурсы» отождествляется и с понятием «человеческий капитал». Поскольку концепция управления человеческими ресурсами инкорпорирована в систему стратегического управления, то и рассматривать ее эволюцию следует в рамках эволюции этой концепции. Эффективность и конкурентоспособность организации напрямую зависит от умения адаптироваться к внешней среде и степени ее инновационности.

В системе современных мирохозяйственных связей идет концентрация усилий в сфере формирования и эффективной реализации человеческого капитала – одного из ключевых факторов, определяющих положение стран на мировой арене. Учитывая важность этого вопроса, различные международные структуры проводят расчеты по оценке этого показателя и составляют рейтинги, позволяющие сравнить позиции стран и мобилизовать в дальнейшем усилия общества в направлении его развития. Сегодня оценка человеческого капитала на межстрановом уровне проводится аналитической группой Всемирного экономического форума (ВЭФ) в сотрудничестве с Гарвардским университетом (Harvard University) и международной консалтинговой компанией Mercer Human Resource Consulting; экспертами Всемирного банка (World Bank); экспертами Программы развития ООН. Позиции России в публикуемых рейтингах достаточно высокие. Так, в глобальном рейтинге человеческого капитала Всемирного экономического форума РФ заняла в 2017 г. 16-е место из 130 стран, опередив при этом Японию, Южную Корею, Израиль, Францию и Великобританию. Индекс человеческого капитала России, по оценке ВЭФ, показывает восходящую динамику – в 2013 г. она находилась на 51 месте, в 2015 – на 26. В оценках Всемирного банка Россия находится на 34 месте среди 157 государств (страны были сгруппированы по уровню доходов по классификации Всемирного банка, где уровень доходов определялся как подушевой валовой национальный продукт) [5].

Человеческий потенциал, как шанс на будущее, источник возможностей обладает свойством системности и не может сводиться к сумме определенных качеств человека. По-видимому, его количественная оценка невозможна в принципе. Реализованный человеческий потенциал становится человеческим капиталом и приобретает стоимостную форму. «Трудовой потенциал работника – это совокупность (физических, профессиональных, мотивационных, духовных) качеств человека, определяющих возможность и границы его участия в трудовой деятельности, способность достигать в заданных условиях определенных ре-

зультатов, а также совершенствоваться в процессе труда» [3]. Человеческий потенциал и трудовой потенциал работника близки по смыслу, но шире все же понятие «человеческий потенциал».

При формировании региональной политики на уровне субъектов Российской Федерации крайне редко учитываются показатели развития человеческого капитала. При разработке стратегии устойчивого развития регионов России упор недостаточно внимания уделяется процессу формирования и использования человеческого капитала, что в итоге оказывает негативное воздействие на социально-экономическое развитие регионов и страны в целом. Необходима целостная действенная региональная политика в проведении социально-экономических реформ, ориентированных на перспективные тенденции развития, которая учитывает специфику регионов в общей структуре экономики страны и обеспечивает возможность сохранения и активизации человеческого капитала регионов России.

В настоящее время на муниципальном уровне осуществляется влияние на развитие человеческого капитала на ранних этапах его формирования: обучение, воспитание (знания, умения, жизненный опыт, развитие природных способностей); повышение заработной платы и других доходов; развитие трудового потенциала; содействие этно-культурному развитию; решение социальных вопросов (улучшение демографической ситуации и др.).

При этом можно считать целенаправленными только развитие системы общего образования и здравоохранения. Развитию профессионального образования на муниципальном уровне внимания практически не уделяется, так как эта сфера подведомственна федеральному и региональному уровням управления. Основные факторы, препятствующие развитию человеческого капитала в сложившейся системе муниципального управления: низкий уровень жизни населения, неблагоприятные климатические условия, низкий уровень обеспеченности местами детей в дошкольных учреждениях, недостаточное финансирование образования и здравоохранения (в том числе повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров управления), медленное внедрение информационных и других новых технологий.

В настоящее время для развития муниципальных образований в программах социально-экономического развития предусмотрено: улучшение жизни населения, повышение качества обслуживания населения в социальной сфере, посильное развитие муниципальной системы образования и здравоохранения, содействие занятости населения и др. Однако эти воздействия в части развития человеческого капитала не являются целенаправленными и системными, носят скорее стихийный характер. Для целенаправленного развития человеческого капитала территории необходимы: анализ потребностей территории; анализ состояния человеческого капитала; целенаправленное муниципальное управление –

разработка программы социально-экономического развития территории с учетом развития человеческого капитала; привлечение инвестиций.

При разработке программ социально-экономического развития территорий необходимо проводить анализ ресурсного потенциала с точки зрения потребностей территории, в том числе потребностей развития человеческого капитала в соответствии с задачами перспективного развития. Разработка программы развития человеческого капитала в соответствии с выявленными потребностями должна включаться в программу социально-экономического развития муниципального образования. Человеческий капитал муниципального образования – это человеческий капитал, который развивается на муниципальном уровне целенаправленно с учетом потребностей и особенностей территории на основе создания соответствующих условий (экономических, социальных, инфраструктурных, этнокультурных и др.).

Следовательно, развитие человеческого капитала муниципального образования должно выступать одним из приоритетных направлений местной политики. Накопление и развитие человеческого капитала на муниципальном уровне в значительной степени зависит от уровня развития системы образования, ее кадрового обеспечения и финансирования. Образование выступает как источник развития каждого человека и как основной фактор развития человеческого капитала территории. Для решения задач социально-экономического развития муниципального образования особенно важно развитие системы профессионального образования.

Несмотря на высокие результаты по всем ключевым позициям сохранения и развития человеческого капитала на территории МО г. Новороссийск, которые были отмечены в предыдущем параграфе, стоит остановиться на появлении некоторой угрозы поддержания на постоянно высоком уровне всех ключевых показателей индекса удовлетворенности населением МО г. Новороссийск. Администрация МО г. Новороссийск в постоянном режиме осуществляет мониторинг удовлетворенности всеми мероприятиями, направленными на реализацию муниципальной политики в сфере развития инновационного человеческого потенциала. И тем не менее выявлены некоторые противоречия в системе муниципального управления человеческими ресурсами, которые проявляются в его несоответствии потребностям развития территории.

В числе важных мер авторы предлагают механизмы влияния на развитие и качество профессионального образования посредством муниципального заказа, привлечения дополнительных инвестиций, а также создание территориальной системы независимой оценки качества образования, включая открытый доступ потребителей к информации и обновление системы аттестации муниципальных кадров. Реализация человеческого потенциала в муниципальной экономике на современном этапе происходит в пространстве действия взаимосвязанных противоречий, ко-

которые характерны всей национальной и мировой экономике современности, а именно: между постоянно усложняющимися экономическими условиями существования и неадекватным сужающимся человеческим потенциалом; между потенциально выросшими возможностями реализации человеческого потенциала в условиях экономической свободы и реальной разрушающейся материально-технической базой общества; между достижениями информационных технологий и интернационализации производительных сил общества и дезинтеграцией общества.

Политика в сфере развития человеческого капитала в МО г. Новороссийск – это комплекс мер, направленных на повышение качества человеческого капитала, повышение качества жизни и обеспечение устойчивого прироста численности населения. Развитие человеческого капитала на период до 2030 г. будет связано с системными преобразованиями по таким приоритетным направлениям, как: образование; здравоохранение; молодежная политика; культура; физическая культура и спорт [4].

В совокупности указанные направления формируют предпосылки для привлечения, удержания и развития населения на территории муниципального образования. Механизмами реализации политики в области развития человеческого капитала выступает система программ и проектов. В соответствии с приоритетами предполагается реализация муниципальных флагманских проектов: «Обучение через всю жизнь в Новороссийске»; «Новороссийск – город здоровья»; «Творческий Новороссийск»; «Новороссийск – город спорта»; «Молодежь Новороссийска» [4].

Муниципальный флагманский проект «Обучение через всю жизнь в Новороссийске» направлен на создание и реализацию системы доступного и качественного непрерывного образования, которое позволит человеку на протяжении всей жизни осваивать новые компетенции, будет способствовать ускоренному технологическому развитию города и края. В рамках проекта будет сформирована качественная современная образовательная инфраструктура, созданы условия для выявления, развития и самореализации молодых талантов Новороссийска, развито цифровое образовательное пространство через создание общедоступного информационно-образовательного портала, консолидирующего все образовательные ресурсы города Новороссийска, позволяющего проектировать индивидуальные образовательные траектории.

Муниципальный флагманский проект «Новороссийск – город здоровья» направлен на повышение качеств и доступности услуг в сфере здравоохранения, характеризующихся пространственной и финансовой доступностью для всех жителей и гостей города. Предлагаемые в проекте преобразования включают развитие детской медицины, расширение первичного звена здравоохранения, информатизацию и цифровизацию процессов управления и функционирования отрасли [4].

Муниципальный флагманский проект «Творческий Новороссийск» предполагает модернизацию и создание ряда объектов, расположенных в различных районах города: Детская музыкальная школа, Дом культуры, Концертно-выставочный зал, Новороссийский планетарий имени Ю. А. Гагарина, Историко-патриотический комплекс «Малая земля». Создание, реконструкция и модернизация указанных объектов позволит существенно расширить спектр предоставляемых услуг в сфере культуры, повысить туристическую привлекательность города, а также доступность и качество художественно-эстетического образования.

Муниципальный флагманский проект «Новороссийск – город спорта» предполагает комплекс мер (приоритетных проектов) по созданию современной спортивной инфраструктуры, популяризации физической культуры и спорта, развитию приоритетных для города видов спорта (футбол, легкая атлетика, водные виды спорта), а также развитию спортивного туризма.

Муниципальный флагманский проект «Молодежь Новороссийска» направлен на воспитание, повышение гражданской активности и социальной ответственности, а также интеллектуальное и физическое развитие молодежи и связан с созданием институциональных и организационных условий для реализации указанных направлений молодежной политики города.

Подводя итоги, отметим, что для развития человеческого капитала территории необходим принципиально новый уровень муниципального управления качеством образования, что позволит принимать адекватные управленческие решения для достижения более высоких результатов. Это обусловлено необходимостью преодоления ряда проблем существующего подхода к оценке качества образования, среди которых недостаточная объективность информации о качестве образования, не позволяющая принимать адекватные решения.

Список литературы:

1. Капелюшников, Р. И. Теория человеческого капитала / Р. И. Капелюшников. – URL: <http://www.libertarium.ru/> (дата обращения: 10.07.2020).
2. Кирьянов, А. В. Виды инвестиций в человеческий капитал и их эффективность / А. В. Кирьянов. – URL: <http://www.cfin.ru/bandurin/article/sbrn07/08.shtml> (дата обращения: 10.07.2020).
3. Матвеева, Н. С. Методы оценки и критерии экономической эффективности человеческого капитала / Н. С. Матвеева. – URL: <http://creativeconomy.ru/library/prd31.php> (дата обращения: 12.07.2020).
4. Стратегия социально-экономического развития МО г. Новороссийск до 2030 г. – URL: https://www.admnvrsk.ru/o-gorode/novosti/glavnye-novosti/news-20190516161612-147113/?sphrase_id=43569 (дата обращения: 10.07.2020).
5. Нуреев, Р. М. Человеческий капитал и проблемы его развития в современной России / Р. М. Нуреев. – URL: <http://rustemnureev.ru/wp-content/uploads/2011/01/333.pdf> (дата обращения: 10.07.2020).

Санаторно-курортный комплекс, как объект государственного регулирования

Е. Р. Лысенко

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар,
kat7chub7@yandex.ru

Рассматриваются особенности функционирования санаторно-курортных услуг. Обосновываются функции, определяющие санаторно-курортный рынок как объект государственного регулирования.

Ключевые слова: рынок санаторно-курортных услуг, государственное регулирование, функции санаторно-курортного рынка, санаторно-курортный комплекс.

The article discusses the features of the functioning of sanatorium services. The functions defining the health resort market as an object of state regulation are substantiated.

Keywords: market of sanatorium and resort services, state regulation, functions of the sanatorium and resort market, sanatorium complex.

Санаторно-курортный комплекс является неотъемлемой составляющей национального и мирового рынка и рассматривается как перспективное направление. Занимая второе место в мировой экономике после компьютерной и электронной промышленности, он опережает такие отрасли, как нефтеперерабатывающая и автомобилестроительная. Развитие санаторно-курортного комплекса стало возможным благодаря научно-техническому прогрессу общества, то есть созданию инфраструктуры рынка. Если акцентировать внимание только на рынке услуг, то этот рынок стремительно развивается и на данном этапе развития общества, является перспективным, так как государство может достичь высокого уровня экономического роста благодаря доле услуг в валовом национальном доходе [2, с. 180].

Туристический рынок, как и все другие рынки, функционирует на основе действия законов спроса и предложения. В широком аспекте рынок санаторно-курортных услуг означает место, где совершаются сделки купли-продажи санаторно-курортного продукта [1, с. 199].

Развитие санаторно-курортной сферы на принципах постоянства может быть обеспечено благодаря действию механизмов регулирования рынка в целом и каждого его элементов. Данные элементы можно рассматривать как одновременно, так и как отдельные инструменты рыночного механизма регулирования экономических отношений в определенном сегменте потребительского рынка, а также как важные условия ближнего окружения развития субъектов туристического бизнеса. Учитывая сказанное актуальна проблема, исследования особенностей функционирования рынка санаторно-курортных услуг в современных условиях.

Не стоит забывать, что экономическое содержание рынка санаторно-курортных услуг раскрывается через его функции, основными из которых являются:

- 1) регулятивная функция;
- 2) стимулирующая функция;
- 3) оптимизационная функция;
- 4) информационная функция;
- 5) saniрующая функция [4, с. 54].

Рынок санаторно-курортных услуг представляет адекватную современным экономическим и социальным условиям форму развития туризма, как общественно полезного вида человеческой деятельности. Общественная значимость санаторно-курортного комплекса заключается в том, что он резко активизирует развитие творческих способностей людей.

С этой точки зрения санаторно-курортный комплекс может быть сопоставлен с предпринимательством. Инициатива людей в данной сфере, как и в предпринимательстве, находит выражение, позволяет находить различные варианты получения выгод.

Рынок санаторно-курортных услуг представляет систему рынков различной пространственной протяженности, которые различаются по функциональному назначению, структуре и уровню развития.

Как известно, эффективное функционирование рынка санаторно-курортных услуг обеспечивают субъекты рынка, к которым следует отнести: отдыхающих, туристических операторов, туристические агентства, предприятия санаторно-курортной индустрии и др. [3, с. 64]. Их развитие зависит от уровня развития санаторно-курортной отрасли и государственной политики. Так, одним из главных субъектов туристического рынка, который устанавливает в национальных масштабах правила поведения на нем, является государство, которое в себе олицетворяют органы государственного управления.

Влияние государства на развитие рынка санаторно-курортных услуг делится на: непосредственное (законодательное регулирование санаторно-курортной деятельности и ее внешней среды, создание и благоустройство специальных туристических зон; прямое финансирование строительства объектов санаторно-курортной инфраструктуры) и опосредованное (осуществляется через регулирование всех отраслей экономики страны).

Таким образом, можно сделать вывод, что рынок санаторно-курортных услуг как рыночная система функционирует благодаря механизму постоянного взаимодействия спроса и предложения, адаптации предприятий санаторно-курортной сферы к быстро меняющейся окружающей среде, а также координации их деятельности. Развитие рынка санаторно-курортных услуг имеет важное социально-экономическое значение привлечения инвестиций в санаторно-курортную отрасль, занятость населения, использование санаторно-курортных ресурсов для развития инфраструктуры туризма. Участниками рынка санаторно-курортных услуг помимо туристических операторов, туристических агентств, являются также органы государственной власти.

Список литературы:

1. Гаврилюк, С. П. Социально-экономическая природа и особенности рынка туристических услуг / С. П. Гаврилюк // Санаторно-курортная индустрия в рыночных условиях. – 2014. – С. 199–203.
2. Гонтаржевская Л. И. Рынок туристических услуг в России : учеб. пособие / Л. И. Гонтаржевская. – гор. : Восточный издательский дом, 2013. – 180 с.
3. Школа И. М. Менеджмент туристической индустрии / И. М. Школа, Т. М. Ореховская, И. Д. Козьменко и др. ; под ред. И. М. Школы. – Черкассы : Книги XXI, 2015. – 596 с.
4. Головинец, В. Туризм России: экономические и организационные механизмы развития / В. Головинец, А. Воробей, С. Гуцал и др. ; под ред. А. Рожук. – гор. : Тернограф, 2014. – 976 с.

К вопросу о взаимодействии между лечебными учреждениями города и ведомственными учреждениями здравоохранения

Н. Ю. Настаева

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар,
ndm774@mail.ru

Рассматривается проблема взаимодействия лечебных учреждений города и ведомственных учреждений здравоохранения поскольку отсутствие отлаженного механизма оказания медицинской помощи населению лечебными учреждениями влечет за собой риск потери здоровья и жизни человека. Автором выявлены приоритетные задачи, требующие решения с целью повышения эффективности работы системы здравоохранения в целом. Выявлены причины, негативное действие которых влечет за собой снижение эффективности медицинской помощи.

Ключевые слова: взаимодействие учреждений здравоохранения, территориальное закрепление, медицинское наблюдение, противоэпидемические мероприятия.

The article deals with the problem of interaction between medical institutions of the city and departmental healthcare institutions, since the lack of a well-functioning mechanism for providing medical care to the population by medical institutions entails the risk of loss of health and human life. The author identified priority tasks that need to be addressed in order to improve the efficiency of the health care system as a whole. The reasons are identified, the negative effect of which entails a decrease in the effectiveness of medical care.

Keywords: interaction of healthcare institutions, territorial consolidation, medical supervision, anti-epidemic measures.

В современных условиях главной задачей, которую призваны решать медицинские организации в своей деятельности, является обеспечение конституционного права граждан на охрану здоровья, что выражается в оказании своевременной, доступной, высококачественной медицинской помощи [1]. Сегодня в условиях пандемии новой коронавирусной инфек-

ции наиболее остро встает проблема взаимодействия между лечебными учреждениями города и ведомственными учреждениями здравоохранения.

Взаимодействие между федеральным органом исполнительной власти в области здравоохранения, органами исполнительной власти в области здравоохранения субъектов Российской Федерации и органами местного самоуправления в области здравоохранения определяется законодательством Российской Федерации, нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, а также соглашениями и договорами [2]. Однако такая нормативная база отсутствует при взаимодействии муниципальных учреждений здравоохранения и ведомственных. Во многих регионах налажено тесное межведомственное взаимодействие с различными организациями и учреждениями района и города, что позволяет оказывать комплексную многоплановую социальную помощь получателям услуг – гражданам пожилого возраста, инвалидам, многодетным и неполным семьям. Так, например, активно развивается взаимодействие с учреждениями здравоохранения, МВД и ГУФСИН в г. Екатеринбурге. Такое межведомственное взаимодействие позволяет оказывать лицам, находящимся в трудной жизненной ситуации, комплексную социальную помощь. На совещаниях администрации проходят обсуждения с анализом ситуации в районе, с обсуждением участия специалистов разных ведомств в рейдах мобильной бригады. Одним из примеров может служить акция по предотвращению распространения инфекционно-опасных заболеваний среди лиц, находящихся в ТЖС. Сотрудники Екатеринбургского противотуберкулезного диспансера, которые берут у бездомных анализ на выявление палочки КОХА для лабораторных исследований, а представители Свердловского областного центра по профилактике и лечению ВИЧ-инфекции проводят беседы и отвечают на волнующие вопросы по вопросам профилактики и распространения ВИЧ-инфекции. Все выше перечисленные мероприятия способствуют формированию среди населения района здорового образа жизни, профилактике вредных привычек и снижению социальной напряженности. Считаем, что необходимо, чтобы такая модель взаимодействия присутствовала не только между организациями здравоохранения и социальной защиты населения, образования, МВД, но и внутри самой системы здравоохранения.

Как же сегодня происходит внутреннее взаимодействие в здравоохранении? Рассмотрим на примере оказания медицинской помощи пациентам с актуальной во всем мире инфекцией – COVID-19. При выявлении случая новой коронавирусной инфекции лечебные учреждения муниципального образования города передают экстренные извещения в территориальный отдел ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии». Далее при поступлении необходимой информации о контактных лицах всем контактным оформляется постановление главного государственного санитарного врача (заместителя) об изоляции лица, контактировавшего с лицом, больным COVID-19.

Специалистами территориального отдела Управления Роспотребнадзора проводится эпидемиологическое расследование. Совместно с руководителем организованного коллектива (либо ответственным лицом) определяют круг контактных лиц. Направляют в поликлинику предписание о проведении дополнительных противоэпидемических мероприятий и список установленных контактных лиц. Медицинский работник поликлиники по месту жительства оформляет контактным лицам лист временной нетрудоспособности, устанавливает медицинское наблюдение, лабораторное обследование в установленные сроки (при отсутствии клинических проявлений на 8–10 календарный день медицинского наблюдения со дня контакта с больным COVID-19; при появлении симптомов заболевания, не исключающих COVID-19, — незамедлительно). Всем контактным лицам оформляется постановление главного государственного санитарного врача (заместителя) об изоляции лица, контактировавшего с лицом, больным COVID-19 [3]. Такая схема существует только до момента, когда заболевшим оказывается работник, находящийся на обслуживании ведомственного лечебного учреждения. Медицинский работник, выявивший заболевание, направляет все сведения в ведомственное учреждение, и все мероприятия разворачиваются по линии ведомственной службы. Однако, на этом этапе зачастую происходит разделение потоков информации и возникают проблемы дальнейшего учета и ведения пациента. Территориальное закрепление у ведомственных структур отсутствует и заболевший, поступает под наблюдение поликлиники по месту жительства. Информация о пациенте отсутствует в территориальных органах и как следствие этого происходит задержка в оказании помощи заболевшему и наблюдении, обследовании контактных. Зачастую упускаются сроки начала лечения, что увеличивает риск развития осложнений у пациента. В отношении контактных несвоевременное отстранение от работы и перевод на изоляцию способствует дальнейшему распространению инфекции.

Таким образом, возникшая пандемия коронавирусной инфекции выявила слабые звенья в работе муниципальных, ведомственных органов здравоохранения и органов, уполномоченных осуществлять федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор, а, следовательно, необходимость в их устранении. Представляется очевидным, что в настоящее время существующая система здравоохранения способна и имеет все возможности для эффективного выполнения поставленных задач по охране здоровья.

Подводя итог, стоит отметить, что оценка эффективности здравоохранения включает в себя совокупность показателей социальных, экономических и медицинских аспектов. Качество и доступность проведения лечебно-профилактических работ характеризует медицинскую эффективность — медицинский результат.

Список литературы:

1. Конституция Российской Федерации // СПС «КонсультантПлюс». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399/ (дата обращения: 11.08.2020).
2. Санитарно-эпидемиологические правила СП 3.1.3597-20 «Профилактика новой коронавирусной инфекции (COVID-19)». – URL: <http://docs.cntd.ru/document/564979137> (дата обращения: 14.08.2020).
3. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации : комментарий к Федеральному закону № 323-ФЗ от 21 ноября 2011 г. / Ю. В. Белянинова, Т. С. Гусева, Н. А. Захарова, Л. В. Савина, Н. А. Соколова, Ю. В. Хлистун // КСП Консультант Плюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LA_28441/ (дата обращения: 11.08.2020).
4. Каменская, Н. А. Правовые позиции органов государственной власти по вопросам предоставления платных медицинских услуг в государственных и муниципальных учреждениях здравоохранения / Н. А. Каменская // Научные труды IV Всероссийского съезда (Национального конгресса) по медицинскому праву» // СПС «КонсультантПлюс». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_AA_31051/ (дата обращения: 16.08.2020).

Цифровые технологии и их роль в развитии некоммерческого сектора муниципального образования город Новороссийск

В. Е. Павлюк

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар,
vep1979@bk.ru

Рассмотрено использование цифровых инновационных технологий и их влияние на развитие некоммерческого сектора на примере города Новороссийска. Активное использование цифровых технологий оказывает беспрецедентное влияние на все сферы нашей жизни. Внедрение подобного рода инноваций не могло обойти некоммерческие организации в Российской Федерации, которые нуждаются не только в постоянном финансовом, обеспечении, своевременном информационном сопровождении, но и в обратной связи с населением и органами разных уровней управления.

Ключевые слова: некоммерческие организации, цифровые технологии, цифровые платформы, цифровизация, цифровая трансформация, информационно-коммуникационные технологии (ИКТ).

This paper examines the use of digital innovation technologies and their impact on the development of the non-profit sector on the example of the city of Novorossiysk. The active use of digital technologies has an unprecedented impact on all areas of our lives. The introduction of such innovations could not bypass non-profit organizations in the Russian Federation, which need not only constant financial support, timely information support, but also feedback from the population and authorities at different levels of government.

Keywords: Keywords: non-profit organizations, digital technologies, digital platforms, digitalization, digital transformation, information and communication technologies (ICT).

Сегодня наиболее динамично развивающейся сегментом рынка являются цифровые технологии. Финансовые учреждения становятся ИТ-корпорациями, промышленность роботизируется, бизнес независимо от объемов выручки активно осваивает интернет-продажи. Последние несколько лет не только экономические форумы разных масштабов, но и управленческие ресурсы внедряют на практике новый маркетинговый термин «Цифровая трансформация» (ЦТ) [3, с.150]. Надо отметить, что на рельсы ЦТ становится и некоммерческий сектор. Новороссийские НКО не исключение.

В исследовании, проведенном МКУ «Городской общественный центр» муниципального образования Новороссийск, приняли участие 149 городских некоммерческих организаций. 42 % НКО Новороссийска используют в работе цифровые инструменты и технологии, 20 % приступили к цифровой трансформации, но пока этим занимаются только руководство или отдельные сотрудники. Большинство используют сайты и социальные сети. Только 10 % задумывается о создании стратегии цифровой трансформации.

У 62 % НКО уже есть свой сайт и страницы в социальных. 34 % из них внедрили в сайты платежные системы. Однако организации совершенно не используют возможности фандрайзинга с платежными системами и банковскими сервисами.

Готовность организации внедрять digital-технологии зависит от ее размера. 70 % НКО имеют штат не более 3 человек, в связи с чем могут позволить себе использовать только базовые цифровые инструменты. Организации, где в штате достаточно сотрудников, где активно работают волонтерские центры активнее стремятся к цифровой трансформации. И только крупные корпоративные фонды или общественные организации (как правило, это отделения российских фондов или краевых общественных организаций) успешно осуществляют цифровую трансформацию.

Несмотря на то, что большинство организаций, в том числе и тех, кто давно использует ИТ, не планируют использовать технологии для фандрайзинга. Не хватает знаний, а порой и финансов, для того, чтобы нанять специалистов, которые создадут нужную платформу под ключ. Каждая пятая организация задумывается о создании стратегии цифровой трансформации. При этом основная часть руководителей НКО понимает, что за счет digital-инструментов можно, а порядок повысить качество управленческих процессов.

65 % НКО уверены, что без получения целевых грантов им не удастся внедрить те digital-технологии, которые необходимы для развития их НКО. Кроме того, 48 % полагает, что государство могло бы помочь в организации бесплатного обучения цифровым навыкам сотрудников некоммерческого сектора. Две трети опрошенных хотели бы получить цифровые инструменты, ориентированные исключительно на НКО. То есть некая база данных, например, лучших практик НКО.

38 % НКО не используют цифровые технологии по нескольким причинам: отсутствие навыков и кадров, нехватка финансирования, «серебряный» возраст целевых групп (людям старшего поколения сложно идти в ногу с современными технологиями, скорость развития рынка цифровых технологий слишком велика для них). Поэтому в цифровой эре выживут далеко не все некоммерческие организации.

Основная проблема с НКО состоит в том, что все ресурсы организации привыкли тратить исключительно на «благие дела», внутриорганизационные инновации не являются приоритетными. Поэтому некоммерческому сектору не свойственна своевременная трансформация [1, с. 44].

Однако в случае с цифровой трансформацией – это не просто возможность удаленной работы, это прежде всего, возможность доступа к участию в грантовых конкурсах различных уровней, в том числе муниципальных. Активно используемые цифровые технологии позволяют оперативно подавать заявки, отслеживать этапы конкурсов, отправлять отчетность и т.п.

Процесс цифровой трансформации некоммерческой организации можно разделить на три этапа:

- непосредственное использование сервисов и инструментов;
- то, как инструменты и сервисы используются, практики совместной работы в организации;
- то, как благополучатели взаимодействуют с некоммерческой организацией с помощью сайтов, рассылок, электронного делового оборота, собственных многопользовательских платформ и др.

Цифровая трансформация позволяет НКО выстраивать свою работу аналогично бизнес-технологиям, а также дает возможность оценить даже в реальном времени, свой социальный эффект [2, с. 28]. Позволит расширить географию проектов и наладить взаимодействие между НКО независимо от его территориальной принадлежности.

Работа по цифровизации внутренних процессов НКО позволяет и бизнесу, государственным и частным донорам лучше понимать результаты деятельности НКО, определять проекты, которым действительно необходима грантовая поддержка, пожертвования и пр. Объективно оценивать технологическую грамотность, умение управлять командой в условиях, когда нет общего физического пространства или четкой иерархической системы подчинения, умение формулировать свои мысли письменно, аналитические способности и навыки работы с данными тех, кто профессионально занимается благотворительностью.

Сегодняшняя реальность такова, что государство все чаще принимает участие в работе некоммерческого сектора [5]. С одной стороны, государство является нормативно-правовым регулятором и устанавливает формы ответственности для НКО. С другой стороны, государство предоставляет различные возможности для взаимодействия, включая

помощь в реализации проектов НКО посредством участия в грантовых конкурсах на местном, муниципальном уровне, а также финансирование через конкурсы, которые проводит Фонд президентских грантов. Государство, объединяя все виды ресурсов, включая муниципальные, задает в данном секторе определенные тренды.

Например, в Новороссийске разрабатывается алгоритм проведения конкурса муниципальных грантов, который позволит местным НКО попробовать свои силы и получить не только денежные средства, но и помещения, земельные участки для ведения своей текущей деятельности. В данном случае предоставление муниципальных грантов станет источником дополнительной поддержки НКО.

Предполагается, что вся процедура подачи заявок, экспертного отбора заявок и последующая оценка проектов будет проходить в электронном формате в онлайн-акселераторе NOVSMART в рамках реализации проекта «Умный город» [4]. Для того, чтобы все местные НКО могли успешно участвовать в грантовых конкурсах различного уровня, заниматься сбором средств в Интернете или работать в социальных медиа, МКУ «Новороссийский городской общественный центр», выступающий в качестве ресурсного центра для НКО оказывает информационную, методическую помощь тем организациям, у которых отсутствует цифровой фундамент: вебсайт, страница для пожертвований, маркетинговая стратегия электронных рассылок, регистрация в социальных сетях и др.

Кроме того, для того, чтобы успешно перевести все реально действующие НКО Новороссийска в новый цифровой формат, нами предложены следующие мероприятия:

- вместо привлечения сторонних специалистов в сфере информационно-коммуникационных технологий, которые не имеют отчетливого представления о целях конкретной НКО наиболее перспективным с точки зрения развития НКО будет обучение ИКТ сотрудников организации или волонтеров;

- оценивать компетенции сотрудников. Даже в тех НКО, которые только начали работу с ИКТ, всегда найдутся люди, которые будут лучше «подкованы» в данном вопросе, являются активными пользователями социальных сетей. Как правило, такие сотрудники действуют на всех организационных уровнях. Таких сотрудников можно назначить кураторами для своих коллег;

- изучать и по возможности использовать в работе различные цифровые платформы, мобильные приложения, модули и прочее;

- выступить с инициативой в органы местного самоуправления о разработке единой платформы, действующих на территории Новороссийска НКО для взаимодействия между собой, обмена опытом; создания базы НКО, в том числе содержащей цифровые паспорта НКО, которые будут своеобразной карточкой организации со всеми контактными данными,

описанием проектов (реализуемых и уже выполненных) на отдельном плагине официального сайта администрации и городской Думы города.

Подводя итоги, отметим, что все НКО могут создавать цифровой продукт, наиболее подходящий для достижения собственных целей. Надевать этот продукт добавочной стоимостью, улучшать финансовые показатели, оплачивать налоги. Активно работая в сети «Интернет» быстро увеличивается информационный охват целевой аудитории, пространственная локализация исчезает, появляется возможность адресного общения с донорами и благополучателями. Кроме того, через социальные сети подобные коммуникации можно начать, не имея бюджета, сокращается время проведения хозяйственных операций. Повышается транспарентность НКО в сфере благотворительности, особенно это касается фондов. Становится доступным участие в грантовых конкурсах. Повышается занятость на рынке труда, появляются новые специальности, например, специалист по работе с краудфандинговыми платформами.

Список литературы:

1. Горячева, В. Р. Теоретические обоснования функционирования некоммерческого сектора / В. Горячева // Вестник Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова. – 2018. – № 1 (97). – С. 44–52.

2. Махаматов, Т. М. Перспективы демократии и роль гражданского общества в цифровом пространстве / Т. М. Махаматов // Философское образование. – 2018. – № 1 (37). – С. 28–32.

3. Экономическая дипломатия: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры : в 2 ч. / отв. и науч. ред. Р. И. Хасбулатов ; ред. Г. В. Кузнецова. – Москва : Юрайт, 2017. – Ч. II. – 265 с.

4. Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы. – URL: <https://sudact.ru/law/ukaz-prezidenta-rf-ot-09052017-n-203/strategiia-razvitiia-informatsionnogo-obshchestva-v/> (дата обращения: 21.09.2020).

5. Стратегия социально-экономического развития МО г. Новороссийск до 2030 г. – URL: https://www.admnvrsk.ru/o-gorode/novosti/glavnye-novosti/news-20190516161612-147113/?sphrase_id=43569 (дата обращения: 21.09.2020).

ПРЕДСТАВЛЯЕМ ЖУРНАЛ

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» посвящен оптическим системам любого типа (электрооптическим, оптоволоконным, лазерным, полностью оптическим), их элементам и технологиям. Журнал включен 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>

ISSN 1998-071X

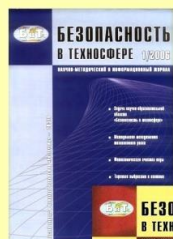
Научно-издательский центр «ИНФРА-М»

БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

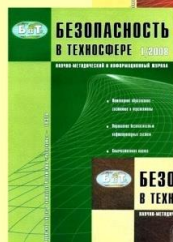
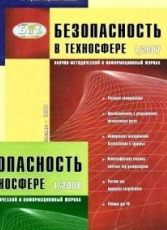
Всероссийский научно-методический и информационный журнал

2006 г.

Издается с июля 2006 года



2007 г.



2008 г.



2009 г.



2010 г.



2011 г.



2012 г.

Включён в Перечень ведущих научных журналов, рекомендованных ВАК России для публикации результатов докторских и кандидатских диссертаций, индекс научного цитирования (РИНЦ), научную электронную библиотеку

Содержание журнала ориентировано на рассмотрение комплекса вопросов, связанных с обеспечением безопасности в техносфере, в частности промышленной и экологической безопасности, защите в чрезвычайных ситуациях, безопасности труда, методам и средствам обеспечения безопасности, образованию по безопасности

Издается при организационной поддержке:

- МГТУ им. Н.Э. Баумана;
- научно-методического совета по безопасности жизнедеятельности Минобрнауки России;
- учебно-методического объединения вузов по университетскому политехническому образованию.

Предназначен для:

- научных работников;
- практиков;
- преподавателей;
- аспирантов;
- студентов;
- риск-менеджеров;
- конструкторов и проектантов систем безопасности

Подписной индекс Агентства «Роспечать» - 18316

Подписаться можно также в альтернативных агентствах и в Научно-издательском центре «ИНФРА-М»

Координаты Издательства и редакции журнала можно узнать на сайте журнала www.magbvt.ru;

E-MAIL: bvt@magbvt.ru, magbvt@list.ru

Адрес: 127282, Москва, ул. Полярная 31В, стр. 1

Тел: (495)380-05-41, (495)363-42-70 (доб.390)

Факс: (495) 363-92-12; www.infra-m.ru

Подписка: тел: (495) 380-05-40 (доб.249),

E-MAIL: poster1@infra-m.ru

Научное издание

**ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В МЕДИЦИНЕ, БИОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ
И НА ТРАНСПОРТЕ – 2020**

Труды XXVIII Международной конференции

г. Новороссийск, 7–12 сентября 2020 г.

Материалы печатаются в авторской редакции

Научный редактор **Привалов** Вадим Евгеньевич

Компьютерная верстка *Р. Б. Бердниковой*
Дизайн обложки *А. А. Стаценко*

Подписано в печать 14.10.2020.
Формат 60×84¹/₁₆. Усл. печ. л. 19,18.
Тираж 100. Заказ № 335.

Издательство ПГУ.
440026, Пенза, Красная, 40.
Тел./факс: (8412) 56-47-33; e-mail: iic@pnzgu.ru