

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

ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ– 2022

**Труды XXX Международной Конференции
г. Новороссийск, Краснодарский край
12–17 сентября 2022 г.**

Под редакцией профессора В.Е. Привалова

**Новороссийск
2022**

УДК 62+66

ББК 30

Л 175

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 -
«Безопасность в Техносфере» и «Фотоника»

Л 175 ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: труды XXX
Международной научной конференции 12-17 сентября 2022 г.; г.
Новороссийск Краснодарский край/ под редакцией профессора В.Е.
Привалова. – Новороссийск: НФ ФГБОУ ВО «Белгородский
государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», 2022. –
188 с.

ISBN 978-5-6046875-3-6

В сборник включены тезисы докладов, представленные на XXIX Международной
научной конференции «ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ –
2022». Сборник рассчитан на преподавателей, научных сотрудников, инженеров,
аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

УДК 62+66

ISBN 978-5-6046875-3-6



ISBN 978-5-6046875-3-6

© НФ ФГОУ ВО «БГТУ», 2022

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ КОНФЕРЕНЦИИ

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

ОРГКОМИТЕТ

Э.И. Акопов, ФИАН, Москва
В.М. Арпишкин, ООР, С.-Петербург
А.В. 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, 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
В.А. Лопота, СПбПУ, С.-Петербург
О.В. Мкртычев, НФ БГТУ, Новороссийск
В.В. Осипов, ИЭФ УрО РАН, Екатеринбург
В.Я. Панченко, ИПЛИТ РАН, Шатура Московской обл.
В.Е. Привалов (председатель), СПбПУ, С.-Петербург
И.В. Пучков, НИЦ "Репер", С.-Петербург
И.В. Самохвалов, ТГУ, Томск
А.Н. Солдатов, ТГУ, Томск
В.А. Степанов, РГПУ, Рязань,
В.А. Туркин, ГМУ, Новороссийск
В.В. Тучин, СаратовГУ, Саратов
А.Э. Фотиади, СПбПУ, С.-Петербург
Г.Д. Чеботарев, ЮФУ, Ростов-на-Дону
Ю.В. Чербачи (ученый секретарь), НФ БГТУ, Новороссийск
И. В. Чистяков (зам. председателя), НФ БГТУ, Новороссийск
Ю.В. Чугуй, КТИ СО РАН, Новосибирск
В. Г. Шеманин(зам. председателя), НФ БГТУ, Новороссийск
И.А. Щербаков, ИОФ РАН, Москва

СОДЕРЖАНИЕ

От редактора..... 12

Секция А-1 – ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА И ТЕХНИКА

Осипов В.В., Максимов Р.Н., Шитов В.А., Платонов В.В.

Активные элементы лазеров на основе нанопорошков, приготовленных методом лазерного синтеза..... 14

Исследование возможности создания широкополосного измерительного источника излучения в ИК спектральном диапазоне 15

Кожевников В.А., Привалов В.Е.

Уточненная модель расчета мощности He-Ne лазера с прямоугольным сечением трубки 16

Кожевников В.А., Привалов В.Е.

Уточненная модель расчета мощности He-Ne лазера с эллиптическим сечением трубки 18

Кожевников В.А., Привалов В.Е.

О поиске поперечного сечения He-Ne лазера, дающего максимальное усиление 20

Куценко С.А.

Лазерная спектроскопия комбинационного рассеяния для определения типа изомера метионина 21

Татур В.В., Тихомиров А.А.

Влияние примесных газов (бензола и толуола) на измерение концентрации паров ртути в анализаторе на основе поперечного эффекта Зеемана... 22

Тихомиров А.А., Кальчихин В.В., Кобзев А.А., Филатов Д.Е.

Повышение точности измерений, производимых лазерным дисдрометром на базе линейного многоэлементного оптического сенсора 23

Тимченко П.Е., Тимченко Е. В., Фролов О. О., Бажутова И.В.,

Волова Л. Т., Ионов А.Ю.

Спектральный анализ цемента зубов после лечения пародонтита 25

Тимченко Е.В., Тимченко П.Е., Фролов О.О., Магсумова О.А.,

Волова Л. Т., Постников М.А., Козлова Т.В.

Хеометрический анализ состава эмали зубов после отбеливания 26

Тимченко П.Е., Тимченко Е. В., Писарева Е.В., Власов М. Ю.,

Фролов О. О., Волова Л. Т., Самигуллин Р.Т.,Гнедова А.А.

Детальная оценка донорского ксеноматериала с помощью метода Рамановской спектроскопии 28

Тимченко Е.В., Тимченко П.Е., Волова Л.Т., Фролов О.О.,

Власов М.Ю., Бажутова И.В., Шипко С.С.

Сравнительный спектральный анализ биоматериалов, полученных из ювенильных зубов и костной ткани 30

Привалов В.Е., Шеманин В.Г.

О поиске новых возможностей в лазерных информационно - измерительных технологиях 32

Казанцев С.Ю., Музыка А.Ю., Пчелкина Н.В., Кузьмин М.С., Смольский А.А.	
Конфигурируемый датчик волнового фронта на эффекте Тальбота.....	33
Орёл Н. М., Лисенкова А. М., Братченя А. М., Жолудева Д. А.	
Состояние антиоксидантной активности и процессов перекисного окисления липидов в печени крыс при действии лазерного излучения в сочетании с фенолами растительного происхождения в опытах <i>invitro</i>	35
Прокопьев В.Е., Соковиков В. Г., Солдатов А.Н., Матвиенко Г.Г., Ошлаков В.К., Васильева А.В., Иглакова А.Н., Чаусова Л.Н.	
Сверхизлучение на переходах в основное электронное состояние атомов, ионов и молекул при оптической и газоразрядной накачке.....	37
Худяков Д.В., Семиренченков А.А.	
Конфигурация импульсных волоконных лазерных источников для использования в системах лазерной связи, навигации и зондирования атмосферы.....	39
Усольцев В.П.	
Использование оптоэлектронных приборов для контроля сбросов техногенного и антропогенного происхождения в пределах урбанизированных территорий	40
Усольцева А.В.	
Лазерная абляция комбинированных биоматериалов.....	41
Алексеев В.А., Юран С.И., Усольцев В.П.	
Система обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте с лазерной подсветкой	43
Алексеев В.А., Штин А.А., Юран С.И., Усольцев В.П.	
Фотоплетизмограф с устройством для настройки оптоэлектронных датчиков.	44
Воеводин В.И.	
Исследование эффективности генерации терагерцового излучения методом оптического выпрямления в кристаллах $ZnGeP_2$ различной толщины.....	46
Вальшин А.М., Зайнуллин А.А., Инсапов А.Р.	
Высокочастотный разряд в технической воде	49
Вальшин А.М.	
Измерение импеданса плазмы непосредственно после высокочастотного пробоя.....	51
Вальшин А.М.	
Импульсно-периодический высокочастотный пробой в импульсных лампах	52
Вальшин А.М., Валишин А.Р., Ахняпов Э.Ш.	
Импульсный блок питания с комбинированной накачкой для твердотельного лазера.....	53
Азарова В.В., Мануйлович И.С., Сагитов Г.М., Сидорюк О.Е.	
Исследование кинематических особенностей процесса полировки подложек прецизионных лазерных зеркал.	55
Зайцев А.И., Ерохин К.Ю., Зубилевич А.Л., Шульга М.И.	
Экспериментальное исследование реализации двух квантовых каналов связи через многосердцевидное волокно	55

Зайцев А.И., Егорова О.Н., Ерохин К.Ю., Журавлев С.Г., Казанцев С.Ю., Колесников О.В., Миронов Ю.Б., Семенов С.Л., Шульга М.И. Квантовое распределение ключей в волокнах с пространственным уплотнением каналов	56
Кузнецов А.Г., Бабин С.А., Керносов М.Ю., Кузнецов С.Н. Разработка и исследование многомодового ErYb оптического усилителя слабого сигнала	57
Приходько К.И., Кузнецов С.Н., Поляков С.Ю. Алгоритм поиска, захвата и удержания сигнала маяка удалённого терминала в беспроводных оптических линиях связи	58
Кузнецов С.Н., Огнев Б.И., Пителин Н.О. Зарубежный опыт создания систем лазерной космической связи	60
Горячев А.А., Огнев Б.И., Кузнецов С.Н. Решение задачи построения транспортной инфраструктуры сетей 5G с помощью атмосферной лазерной связи	61
Воробей С.С., Казанцев С.Ю., Колесников О.В., Кузнецов С.Н., Миронов Ю.Б., Приютов А.А., Рабенандрасана Ж. Уникальная научная установка для исследований технологии КРК в проводных и беспроводных системах связи	62
Реутов А.А., Воробей С.С., Катанский А.П., Балакирев В.А. Машинное обучение для задачи оптической стабилизации спутниковой связи	63
Боев А.А., Болотов Д.В., Воробей С.С., Казанцев С.Ю., Керносов М.Ю., Колесников О.В., Кузнецов С.Н., Паршин А.А., Пчелкина Н.В. Особенности реализации технологии квантового распределения ключей в атмосферных оптических линиях связи	65
Керносов М. Ю., Кузнецов С.Н. Анализ влияния турбулентности атмосферы на канал квантового распределения ключей и на канал передачи данных в атмосферной оптической линии связи	66
Широбакин С.Е., Баскакова А.В., Кузнецов С.Н. Конструирование атермальных оптических систем для беспроводной лазерной связи	67
Боев А.А., Кузнецов С.Н., Паршин А.А. Алгоритм работы абсолютного одностороннего энкодера и его реализация в системах наведения оборудования беспроводной лазерной связи	68
Воеводин Д.Д., Григорович С.В., Лажинцев Б.В., Мокеев А.С., Писецкая А.В., Ройз И.М., Стародубцев В.А., Сунгатуллин Р.Р. Стенд для отработки технологии лазерной космической связи	69
Ананьин Д.О., Акбулатов Р.Р., Воеводин Д.Д., Кузнецов С.Н., Лозов Р.К., Поляков С.Ю., Ройз И.М., Румянцев А.А., Стародубцев В.А., Сунгатуллин Р.Р., Широбакин С.Е. Проработка облика и ТТХ терминалов космической лазерной связи, входящих в состав системы низкоорбитальной группировки	70
Кулагин А.Е., Торгаев С.Н., Мусоров И.С., Евтушенко Г.С. Высокочастотный усилитель яркости на парах металлов	71

Чеботарев Г.Д. Моделирование процессов формирования инверсии на переходах SrII в рекомбинационном режиме накачки	72
Чеботарев Г.Д. Моделирование процессов формирования инверсии на переходах SrII в ионизационном режиме накачки.....	73
Иванов И.Г. Ионный лазер с РПК на парах теллура с одновременным многоцветным излучением	74
Баалбаки Х.А., Юдин Н.А., Юдин Н. Н. Перспективы повышения энергетических характеристик лазера на парах меди	75
Васнев Н.А., Тригуб М.В. Теоретическая и экспериментальная оценка чувствительности квантового усилителя на парах бромида меди.	77
Гембух П.И., Васнев Н.А., Шиянов Д.В., Тригуб М.В. Исследование усилительных характеристик активной среды на парах хлорида марганца.....	78
Карасев Н.В., Суханов В.Б., Тригуб М.В. Активный элемент на переходах атома натрия с индукционным нагревателем.....	80
Семенов К.Ю., Гембух П.И., Тригуб М.В. CuBr-лазер с источником многоступенчатого заряда накопительного конденсатора	81
Васнев Н.А., Гембух П.И., Тригуб М.В. Активная среда на парах хлорида марганца для визуализации в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра.	82
Тригуб М.В., Васнев Н.А., Троицкий В.О. Система возбуждения активных сред на парах галогенидов металлов с расширенными функциональными возможностями	84
Соколов В.Г., Куряк А.Н., Карасев Н.В., Тригуб М.В., Шиянов Д.В. Исследование фотодиссоционного способа генерации вынужденного излучения на первых резонансных переходах атомов Na и K.....	85
Филонов А.Г., Шиянов Д.В. Масштабирование накачки лазера на парах европия.....	87
Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С. Лазеры на парах галогенидов металлов с внутренним реактором.	88
Торгаев С.Н., Кулагин А.Е. Моделирование высокочастотных усилителей яркости с пониженным энерговыделением в разряд.....	89
Торгаев С.Н., Каширский Д.Е., Громов М.Л., Чашин И.А. Защищенная методами квантовой криптографии телекоммуникационная система	91

Секции Б-2 – НАНОТЕХНОЛОГИИ.....	93
Бойченко А.П., Лифиренко В.А., Овеченко Д.С., Стоядинович С.	
Электрорлюминесценция оксида алюминия, формируемого в химически чистой воде на термомодифицированном металле.....	93
Бойченко А.П., Клевцов О.В.	
Рост, наноструктура и электрорлюминесценция оксида тантала, анодируемого в химически чистой воде	94
Суворин А.В., Близнюк О.Н., Суворин В.А., Масалитина Н.Ю.	
Восстановление нанопористой структуры катализатора РПК-1 при реактивации с наложением ультразвуковых и акустических полей	96
Шеманин В.Г., Мкртычев О.В.	
Исследования лазерной абляции кристаллов для оптических волноводов ИК-спектра	98
Кривонос Е.А., Колпакова Е.В.	
Исследование изнашивания инструментальных материалов при трении в условиях резания	99
Богданов А.В.	
Обработка поверхности структур варикапов	101
Богданов А.В.	
Выпрямление на границе окисной плёнки с кремнием	102
Богданов А.В.	
Способ самосовмещения элементов инъекционной логики.....	104
Захаров К.С., Волкова Л.В., Казанцев С.Ю., Николаев В.Г.	
Поляризационные характеристики полимерных материалов, применяемых в датчиках волнового фронта	105
Щукина А.А., Барыкина С.Е., Воробьева Д.А., Львов А.Е., Салимгареев Д.Д., Южакова А.А., Корсаков А.С., Жукова Л.В.	
Инфракрасные световоды на основе монокристаллов системы $AgCl_{0,25}Br_{0,75} - AgI$	106
Кондрашин В.М., Львов А.Е., Салимгареев Д.Д., Южакова А.А., Корсаков А.С., Жукова Л.В.	
Исследование радиационной стойкости оптических материалов на основе твердых растворов $TlCl_{0,74}Br_{0,26} - AgI$	107
Южакова А.А., Шатунова Д.В., Южаков И.В., Салимгареев Д.Д., Львов А.Е., Корсаков А.С., Жукова Л.В.	
Подбор граничных условий для моделирования микроструктурированных и многосердцевидных оптических волокон.....	108
Шатунова Д.В., Львов А.Е., Салимгареев Д.Д., Пестерева П.В., Жукова Л.В.	
Исследование фазовой диаграммы системы $AgCl_{0,25}Br_{0,75} - AgI$ для получения инфракрасной оптики.....	110
Белоусов Д.В., Шатунова Д.В., Пестерева П.В., Львов А.Е., Салимгареев Д.Д., Жукова Л.В.	
Исследование прозрачности в ТГц диапазоне материалов системы $AgBr-AgI$	111

Тураби А., Акифьева Н.Н., Южакова А.А., Львов А.Е., Салимгареев Д.Д., Корсаков А.С., Жукова Л.В.	
Инфракрасная волоконно-оптическая система для контроля температуры электро- и энергооборудования.....	112
Тураби А., Акифьева Н.Н., Корсаков А.С., Жукова Л.В., Южакова А.А., Салимгареев Д.Д., Зеленкова Ю.О.	
Исследование электрических характеристик кристаллических материалов на основе системы $\text{AgBr} - \text{AgI}$	114
Львов А.Е., Салимгареев Д.Д., Южакова А.А., Жукова Л.В.	
Исследование фазовой диаграммы систем $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ и $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ для получения инфракрасной оптики.....	115
Пестерева П.В., Львов А.Е., Салимгареев Д.Д., Южакова А.А., Южаков И.В., Жукова Л.В.	
Исследование фотостойкости оптической керамики и кристаллов на основе систем $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54} - \text{AgI}$, $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$	116
Алексеев Е.Е., Болотов Д.В., Казанцев С.Ю., Машковцева Л.С., Рабенандрасана Ж.	
Анализ перспектив применения неоднородных профилей легирования в лазерных кристаллах на основе ZnSe:Fe и ZnS:Fe	118
Ермаков Л.К.	
Плотность электронных состояний в системе YAG ..	119
Секция В-3 – КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ И СИГНАЛОВ	121
Казанцев С.Ю., Мирошникова Н.Е., Титовец П.А., Смольский А.А., Федюк М.О.	
Аппаратно-программный комплекс оценки основных технических характеристик оборудования беспроводной подводной лазерной связи.....	121
Асаёнок М.А., Казанцев С.Ю., Мирошникова Н.Е., Титовец П.А., Федюк М.О., Рабенандрасана Ж., Смольский А.А.	
Кремниевые фотоэлектронные умножители для подводных инфокоммуникационных систем.....	122
Баалбаки Х.А.	
Глубокое обучение и лазеры на парах металлов: проблемы и перспективы	123
Часиб Хасан Аль-Дарраджи, Горбачев И.Н., Бутусов А.В.	
Гибридные интеллектуальные модели для классификации изображений видеоряда	124
Кузьмин А.А., Петрунина Е.В., Кадырова С., Карачевцев Р.А.	
Мультимодальные классификаторы для оценки функционального состояние кардиореспираторной системы	126
Сафронов Р.И., Серебровский А.В., Стадниченко Н.С., Новоселов А.Ю.	
Модифицированная модель Войта для формирования дескрипторов для классификаторов функционального состояния биоматериала	127
Крикунова Е.В.	
Нечеткие решающие правила в моделях искусственного интеллекта для	

прогнозирования риска заболеваний нервной системы	129
Колпакова Е.В., Кривонос Е.А.	
О внешней начально-краевой задаче для уравнений Маргерра-Власова	130
Алчинова И.Б., Карганов М.Ю.	
Оценка влияния цифровизации образования на метаболические сдвиги методом лазерной корреляционной спектроскопии	132
Секция Г–4 – ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ	134
Кугейко М.М.	
Определение концентраций парниковых газов в атмосфере	134
Першин С.М., Гришин М.Я., Завозин В.А., Титовец П.А., Федюк М.О., Смольский А.А.	
Зондирование лидаром под водой сквозь полупрозрачные препятствия на дистанцию 9 метров.....	136
Гейко П.П.	
Измерения трассовых концентраций газов и аэрозольного ослабления в УФ области методом ДОАС	137
Воронина Э. И., Привалов В.Е., Чербачи Ю.В., Шеманин В.Г.	
Измерение дифференциального сечения комбинационного рассеяния света молекулами водорода	138
Дьяченко В. В., Шеманин В. Г.	
Исследование миграции, геохимии и микрофизических характеристик аэрозолей в атмосферном пограничном слое юга России	140
Аблязов Э.К., Васильев А.О., Дьяченко В.В., Закалова Е.Ю., Чартий П.В., Шеманин В.Г.	
Дистанционное измерение суммарной концентрации предельных углеводородов нефти в выбросах в атмосферу методом дифференциального поглощения лазерного излучения	143
Веденин Е.И., Половченко С.В., Сарычев И.А., Сарычев П.И., Чартий П.В., Шеманин В.Г.	
Лазерная система для зондирования цементного аэрозоля по рассеянию Ми и ослаблению лазерного излучения.	145
Веселовский И.А., Коренский М.Ю., Барчунов Б.В., Касьяник Н.И., Худяков Д.В., Колготин А.В., Корнеев Д.С.	
Исследование атмосферного аэрозоля лидарными методами спектроскопии комбинационного рассеяния и лазерно - индуцированной флуоресценции.	147
Коренский М.Ю., Веселовский И.А., Корнеев Д.С., Колготин А.В., Касьянник Н.И.	
Многоволновая лидарная система ЦФП ИОФ РАН, для исследования физических параметров атмосферы.....	149
Веденин Е. И., Дьяченко В.В., Сарычев И.А.	
Параметры лидара комбинационного рассеяния света для измерения концентрации молекул карбонового цикла в атмосфере.....	150
Кеда И.С., Брюханова В.В., Ни Е.В.	
Исследование зависимости прозрачности дисперсной системы от концентрации взвешенных частиц	151

**Веденин Е.И., Дьяченко В.В., Сарычев И.А., Чартий П.В.,
Шеманин В.Г.**

Лидарное детектирование загрязняющих веществ в атмосферном пограничном слое с низкими предельно-допустимыми концентрациями. ... 153

Секция Д-5 –ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ..... 155

Дьяченко В.В., Шубин

Геохимия аэрального загрязнения **А.В.** окружающей среды Новороссийска 155

Загурский Е.Ф., Туркин В.А.

Система лазерного экологического мониторинг выбросов углеводородов на нефтяных терминалах и танкерах 158

Стяжкин А.А., Туркин В.А.

Применение теории нечетких множеств для оценки риска эксплуатации энергетических объектов водного транспорта 159

Туркин В.А., Игнатенко Г.В., Письменская Ю.В., Джиоев Р.И.,

Гаркуша Д.В., Рягузов Т.А.

Лазерный метод измерения выбросов загрязняющих воздушную среду веществ судовыми дизельными двигателями 161

Чура М.Н., Бондарев К.Г., Татаринцева А.В., Чура Н.Н.

Техносферная безопасность: риск-ориентированный подход. 162

Воробьев А.Е., Кожоголова Г.К.

Триггерные механизмы воздействия на оползни 164

Шацкова Е.И., Берёза И.Г.

Использование метода пробного коагулирования при подборе эффективного флокулянта для реагентной обработки судовых льяльных вод 166

Санникова А.Б.

Биогеохимический мониторинг при оценке техногенной нагрузки 168

Санникова А.Б.

Условия развития живых организмов на юге Краснодарского края 171

Санникова А.Б.

Накопление тяжелых металлов в почвах пойменных садов Черноморского побережья 174

Дмитриева Н.А., Еремина Е.О., Матасова И.Ю., Сеничкина Е.Е.

Гидрохимические показатели ООПТ «Суджукская лагуна» в летний период 2022 года 177

Матасова И.Ю.

Парагенетические ассоциации химических элементов почв лиственных лесов Черноморского побережья России 179

Воробьев А.Е., Чжан Ляньцзы, Мадаева М.З.

Особенности свойств современных нанокатализаторов 180

Ермакова Е.А., Вишневецкая В.В.

Информационные технологии в обеспечении экскурсионной деятельности 182

Представляем журнал

Журнал «Фотоника» 186

Журнал «Безопасность в техносфере» 187

ОТ РЕДАКТОРА

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

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

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

По материалам наших конференций, прошедших в 2007-2008 гг., изданы Вестники СПбО Академии инженерных наук им. А.М.Прохорова (№№3, 4 и 5). Материалы прежних конференций опубликованы в 8 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 (выпуск №№3-2015 и выпуск №№5-2016), издаваемого в Санкт-Петербурге (перечень ВАК и SCOPUS). Материалы нашей конференции размещены также в выпуске №6 Оптического журнала за 2017 г. Статьи 2017 г. размещены в выпусках №№4-9 Оптического журнала за 2018 г. В наших трудах перед оглавлением дана информация о журналах, осуществляющих информационную поддержку нашей конференции. Ряд статей 2008-2021 гг. опубликованы в журнале «Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)».

С предложениями и за справками обращаться к профессору В.Е.Привалову в Санкт-Петербургский политехнический университет Петра

Великого, (195251, Санкт-Петербург, СПбПУ, ул Политехническая, 29), по электронной почте vaevpriv@yandex.ru к профессору В.Г.Шеманину в Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета (353919, Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, 75) по электронной почте vshemanin@mail.ru

НАШ ЮБИЛЯР

В нынешнем 2022 году исполнилось 70 лет члену Оргкомитета нашей конференции доктору технических наук, профессору **Туркину Владимиру Антоновичу**.

Владимир Антонович в 1980 г. окончил энергомашиностроительный факультет Ленинградского политехнического института по специальности «Турбиностроение». В 1988 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 2003 г. – докторскую. В Государственном морском университете имени адмирала Ф.Ф. Ушакова (Новороссийск) работает с 1980 г., где прошел путь от ассистента до профессора и заведующего кафедрой.

Область его научных интересов – предотвращение загрязнения воздушной среды, лазерный дистанционный и местный мониторинг загрязняющих веществ, оценка риска эксплуатации судовых технических средств. Им опубликовано 160 научных работ, в том числе – 2 монографии, 5 патентов на изобретения, 5 учебных пособий и 55 научных публикаций в рецензируемых журналах.

С сентября 2005 доктор технических наук, профессор Туркин В.А. является членом действующего при университете совета по защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата технических наук, доктора технических наук.

С 29 августа 2019 года является экспертом научно-технической сферы ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации.

Являлся руководителем университетской НИР по приоритетному направлению на тему: «Обеспечение экологической безопасности на транспорте» (Рег. № НИОКРТ АААА-А16-116112810073-3). В настоящее время является руководителем университетской НИР по приоритетному направлению на тему: «Повышение экологической безопасности энергетических объектов водного транспорта посредством разработки систем мониторинга и технологий снижения выбросов вредных веществ» (Рег. № НИОКРТ 121040600117-5).

При активном участии профессора Туркина В.А. организовано и проведено на базе Университета три Международных конференции «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте – 2015, 2016 и 2017 годы».

Приказом Минтранса России от 29.05.2006 г. награжден нагрудным знаком «Почетный работник морского флота». Приказом Минтранса России от 07.09.2009 г. награжден юбилейным нагрудным знаком «200 лет транспортному образованию России». За многолетний, добросовестный труд, активное участие в подготовке высококвалифицированных специалистов для морского флота в июне 2012 г. награжден знаком отличия «За заслуги I степени». За заслуги в области подготовки специалистов для транспортного комплекса приказом Минтранса России от

12 мая 2015 года награжден нагрудным знаком «Почетный работник транспорта России». 21.06.2022 г. награжден нагрудным знаком Государственного морского университета им. адм. Ф.Ф. Ушакова «За большой вклад в развитие морского образования».

**Оргкомитет конференции, коллеги и ученики поздравляют юбиляра и
желают здоровья, бодрости и новых побед!
Все еще впереди!**

СЕКЦИЯ А-1–ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА

АКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЛАЗЕРОВ НА ОСНОВЕ НАНОПОРОШКОВ, ПРИГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СИНТЕЗА

В.В. Осипов, Р.Н. Максимов, В.А. Шитов, В.В. Платонов

(Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, e-mail:osipov@ier.uran.ru)

Сообщается о создании ряда активных элементов лазеров на переходах редкоземельных ионов, активирующих высокопрозрачные керамические матрицы с разупорядоченной кристаллической структурой. Изменение структуры и химического состава матриц позволило получать генерацию с нетрадиционной длиной волны излучения, а в некоторых случаях с большим диапазоном ее плавной перестройки.

Ключевые слова: лазер, пропускание, нанопорошок, керамика, генерация

It is reported about the creation of a number of active elements of lasers at rare-earth ion transitions that activate highly transparent ceramic matrices with a disordered crystal structure. A change in the structure and chemical composition of the matrices made it possible to obtain generation with an unconventional radiation wavelength, and in some cases with a large range of its smooth adjustment.

Keywords: laser, transmission, nanopowder, ceramics, lasing

В работе излагаются результаты исследований по синтезу керамических активных элементов лазеров для генерации излучения в среднем ИК диапазоне. Приводятся сведения как о технологии получения нанопорошков, так и приготовления из них высокопрозрачных керамик – активных элементов твердотельных лазеров. Отмечаются технологические особенности лазерного комплекса по получению нанопорошков. Используя такие нанопорошки, был синтезирован ряд активных элементов, включая $\text{Tm}:(\text{Y}_x\text{Sc}_{1-x})_2\text{O}_3$ с переменным содержанием скандия и пропусканием, близким к теоретическому [1]. Разупорядоченность кристаллической решетки позволила получить перестройку длины волны излучения в огромном диапазоне 1928-2109 нм. При накачке на длине волны 793 нм генерировалось излучение мощностью 1,24 Вт с эффективностью 9,5%.

Синтезированный образец $\text{Ho}:\text{YAG}$ имел пропускание 83%. Исследована его внутрирезонаторная накачка излучением $\text{Tu}:\text{KLuW}$ пластины, на длине волны 1,85 мкм, которая устанавливалась вблизи глухого зеркала. Образец $\text{Ho}:\text{YAG}$ располагался у выводного зеркала с пропусканием 0,6%. Все поверхности внутри резонатора были просветлены в диапазоне длин волн 1,85-2,09 мкм. Накачка $\text{Tu}:\text{KLuW}$ элемента производилась диодной линейкой на длине волны 806 нм. Мощность генерируемого излучения на длине волны $\lambda=2,09$ мкм составляла 5 мВт при эффективности 40% [2].

Генерация на эрбии получена в матрице из $(\text{Y}_x\text{Sc}_{1-x})_2\text{O}_3$ на нетрадиционной длине волны 2,72 мкм перехода $^4\text{I}_{11/2} - ^4\text{I}_{13/2}$. Пропускание образца составляло 82,75%. Накачка производилась на длине волны 971 нм. Содержание эрбия во всех образцах было выше 7%, что было необходимо для реализации непрерывной генерации. Наилучшие результаты реализованы при

пропускании выходного зеркала 1,7%. Мощность излучения составляла 300 мВт.

Проведены работы по созданию Fe:ZnSe активных элементов, которые могут генерировать в диапазоне 3,7-5,05 мкм. Найдены режимы получения нанопорошков на основе селенида цинка в бескислородной среде со средним размером наночастиц 18 нм. Показано, что только 40% наночастиц имеют кубическую фазу, 60% – гексагональную. Для этого использовано одноосное статическое, магнито-импульсное и горячее прессования. Найдено, что плотности полученных образцов достигают 99% и они могут использоваться для последующего горячего изостатического прессования.

Работа по синтезу Fe:ZnSe керамик выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №22-29-20039).

1. Pirri A., Maksimov R.N., Shitov V.A., Osipov V.V., Sani E., Patrizi B., Vannini M., Tosi G. Continuously tuned (Tm_{0.05}Sc_{0.252}Y_{0.698})₂O₃ ceramic laser with emission peak at 2076 nm. // J. Alloy and Comp. 2021. V. 889. pp. 161585(1-7).
2. Багаев С.Н., Осипов В.В., Ватник С.М., Шитов В.А., Ведин И.А., Курбатов П.Ф., Максимов Р.Н., Лукьяшин К.Е., Павлюк А.А. Спектрально-генерационные характеристики керамики 1% Ho:YAG при внутрирезонаторной накачке. // Квантовая электроника. – 2015. – Т. 45. Вып. 1. – С. 23-25.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ШИРОКОПОЛОСНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ В ИК СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ

Д.П. Андреев

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

Методом численного моделирования в программе OptiSystem подтверждена возможность получения широкополосного измерительного источника излучения для тестирования волоконно-оптических компонентов. Показано, что с ростом оптической мощности на входе волоконного световода ширина спектра оптического излучения возрастает. Полученные результаты хорошо согласуются с теоретическими расчетами.

Ключевые слова: волоконно-оптическая система передачи данных, лазер, волоконный световод, спектральное уплотнение

Numerical simulation in the OptiSystem program confirmed the possibility of obtaining a broadband laser source. It is shown that with an increase in the optical power at the input of the optical fiber, the optical spectrum width increases. The results are in good agreement with theoretical calculations.

Keywords: optical system, operational image amplifier, processing speed

Одним из наиболее эффективных и активно используемых методов повышения информационной емкости волоконно-оптических линий связи является спектральное уплотнение [1-2]. В связи с этим важное значение приобретает проблема создания лазерных измерительных источников

излучения, обладающими заданными характеристиками во всем рабочем спектральном диапазоне (см., например, [3-5]). Полупроводниковые лазеры, эффективно используемые во всем ближнем ИК-диапазоне, сопряженные с одномодовым волоконным световодом, позволяют получить широкий спектр излучения на его выходе за счет использования нелинейных свойств волоконного световода. Такие источники перекрывают весь требуемый спектральный диапазон, обеспечивают высокую мощность на входе тестируемых устройств, обеспечивают высокое отношение сигнал-шум, удобны и доступны в использовании (см., например, [6-7]). Варьирование входной мощности позволяет подобрать требуемые частотно-мощностные параметры. Аналитическое описание в общем случае, учитывающее дисперсионные, нелинейные, диссипативные эффекты в волоконном световоде затруднено. Поэтому представляет интерес численное моделирование такого устройства.

Численное моделирование проводилось в программе OptiSystem. Показано, что с ростом оптической мощности на входе волоконного световода ширина спектра оптического излучения многократно возрастает. Показано, что такой источник может использоваться для тестирования спектрально-селективных пассивных компонентов DWDM-систем [1].

1. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика.–М.: Мир, 1996. – 323 с.
2. Листвин В.Н. DWDM-системы: науч. издание.–М.: Техносфера, 2021.– 420 с.
3. Мкртычев О.В., Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Лазерная абляция нанокompозитов. // Научно-техн. Ведомости СПбПУ Физ.-Мат. Науки.– 2015.– №1 (213).– С. 128-135.
4. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Лидарное уравнение с учётом конечной ширины линии. // Известия РАН.– 2015.– Т.79, №2.– С.170-180.
5. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Экспериментальное зондирование промышленных аэродисперсных потоков. // Научно-техн. Ведомости СПб. Политех. Универ. Физ.-Мат. Науки.– 2014.– №4 (206).– С.64-73.
6. Андреев Д.П. Исследование особенностей формирования высокоскоростной последовательности оптических импульсов с перестройкой несущей частоты для ВОЛС со спектральным уплотнением каналов. // Лазеры. Измерения. Информация.– 2021.– №1(3).–С.38-41.
7. Ermolaev A.A., Shevchenko M.A., Andreeva E.I., Andreev D.P. Features of a Fiber-Optics Transmission System Using Dispersion-Managed Optical Solitons. // Springer Proceedings in Physics. 2022. V.268. pp. 521–526.

УТОЧНЕННАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА МОЩНОСТИ НЕ-НЕЛАЗЕРА С ПРЯМОУГОЛЬНЫМ СЕЧЕНИЕМ ТРУБКИ

В.А. Кожевников, В.Е. Привалов

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

Предложено уточнение метода оценки мощности излучения He-Ne лазера, имеющего прямоугольную форму сечения активного элемента, с учетом рассматривания процессов в положительном столбе разряда постоянного тока.

Результаты расчетов для прямоугольного сечения этим уточненным методом дают лучшее согласие с экспериментом.

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

A refinement of the method for estimating the radiation power of a He-Ne laser with a rectangular cross-section of the active element is proposed, taking into account the consideration of processes in the positive column of a direct current discharge. The results of calculations for a rectangular cross-section by this refined method give better agreement with experiment.

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

В работе [1] нами предложен новый метод оценивания выходной мощности He-Ne лазера с произвольной геометрией поперечного сечения активного элемента с использованием энергетической характеристики моды – эффективного модового объема NMV . В работе [2] были сделаны расчеты мощности He-Ne лазера с трубкой прямоугольного сечения. В частности, было показано, что для случая сторон прямоугольника a и b и резонатором плоскость-сфера с радиусом кривизны сферического зеркала R и расстоянием между зеркалами d мощность излучения находится по формуле:

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

где r, ϕ, z – цилиндрические координаты (z отсчитывается от перемычки гауссового пучка), $k=2\pi/\lambda$, $w = \{(R_e + 4z^2 / R_e) / k\}^{1/2}$, R_e – радиус кривизны соответствующего эквивалентного конфокального резонатора, δN_0 – это значение инверсии населенностей активной среды δN на оси, E_0 – значение напряженности поля на оси трубки у перемычки гауссового пучка основной гауссовой моды TEM_{00} , а уравнение для определения границы NMV имеет вид:

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

Результаты расчета по формулам (1)-(2) показали хорошее согласие с предыдущими расчетами по усилению такого лазера [3] и экспериментом [4].

Однако, согласие с экспериментом [4] было не совсем полным. В эксперименте [4] наблюдался некоторый локальный максимум мощности излучения He-Ne лазера с трубкой прямоугольного сечения при определенном отношении сторон прямоугольника. Для его объяснения нам пришлось рассмотреть [5] положительный столб разряда постоянного тока в лазерных трубках сменяющимся радиусом разрядного канала и получить, как значение δN_0 зависит от размеров прямоугольника. Результаты уточненных расчетов с этой зависимостью дали тот самый локальный максимум мощности излучения, наблюдаемый в [4].

1. Кожевников В.А., Привалов В.Е., Фотиади А.Э. Эффективный модовый объем и оценка мощности выходного излучения гелий-неонового лазера. // Научно-

- технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки.– 2020.– Т. 13.– № 4.– С. 119-132.
2. Кожевников В.А., Привалов В.Е., ФотиадиА.Э. Новый подход к оценке мощности излучения He-Ne лазера с различной геометрией поперечного сечения активного элемента. //Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки.– 2021.– Т. 14.– № 3.– С. 133-145.
 3. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Влияние геометрии сечения активного элемента лазера на усиление его излучения. //Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки.– 2018.– Т. 11.– № 2.– С. 84-95.
 4. Привалов, В.Е., Ходовой В.А. Экспериментальное исследование He-Ne лазера с разрядным промежутком прямоугольного сечения. //Оптика и спектроскопия.–1974.– Т. 37.– С. 797-799.
 5. Кожевников В.А., Привалов В.Е., ФотиадиА.Э. Положительный столб разряда постоянного тока в лазерных трубках переменного диаметра. //Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки.– 2019.– Т. 12.– № 4.– С. 97-107.

УТОЧНЕННАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА МОЩНОСТИ НЕ-НЕЛАЗЕРА С ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ СЕЧЕНИЕМ ТРУБКИ

В.А. Кожевников, В.Е. Привалов

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

Предложено уточнение метода оценки мощности излучения He-Ne лазера, имеющего форму сечения активного элемента в виде эллипса, использующее анализ процессов в положительном столбе разряда постоянного тока. Результаты расчетов мощности этим уточненным методом дают согласие с расчетом усиления такого лазера.

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

A refinement of the method for estimating the radiation power of a He-Ne laser with an elliptical cross-section of the active element is proposed, using the analysis of processes in the positive column of a direct current discharge. The results of power calculations by this refined method agree with the calculation of the gain of such a laser.

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

Ранее [1] нами была получена формула выходной мощности He-Ne лазера с произвольной геометрией поперечного сечения активного элемента. В частности, для трубки, имеющей сечение в виде эллипса с полуосями a и b ($b < a$) и резонатором плоскость-сфера с радиусом кривизны сферического зеркала R и расстоянием между зеркалами d , мощность излучения считается по следующей формуле:

$$P = \gamma \iiint_{NMV(u,v,z)} dz dv du (a^2 - b^2) \frac{\text{sh}^2(u) + \sin^2(v)}{w^2(z)} \cdot \text{Ce}_0\left(u, \frac{\chi^2}{4}(a^2 - b^2)\right) \cdot \text{ce}_0\left(v, \frac{\chi^2}{4}(a^2 - b^2)\right).$$

$$\cdot \exp \left[\frac{-2(a^2 - b^2)}{w^2(z)} (\text{sh}^2(u) + \cos^2(v)) \right] \quad (1)$$

где (u, v, z) – эллиптические координаты (они так связаны с декартовыми координатами: $x = \rho \cdot \text{ch}(u) \cdot \cos(v)$, $y = \rho \cdot \text{sh}(u) \cdot \sin(v)$, $z = z$, $\rho = \text{const} > 0$, $u \geq 0$, $0 \leq v < 2\pi$), $\text{Ce}_0(u, q)$ и $\text{Ce}_0(v, q)$ – функции Матье (мы придерживаемся обозначений из [2]),

$$\gamma = \frac{4E_0^2 \delta N_0 \varepsilon \sqrt{d(R-d)}}{k \cdot \text{Ce}_0(0, \frac{\chi^2}{4}(a^2 - b^2)) \cdot \text{ce}_0(\frac{\pi}{2}, \frac{\chi^2}{4}(a^2 - b^2))},$$

$$k = 2\pi/\lambda,$$

$$w = \{(R_e + 4z^2 / R_e) / k\}^{1/2},$$

R_e – радиус кривизны соответствующего эквивалентного конфокального резонатора, δN_0 – это значение инверсии населенностей активной среды δN на оси, E_0 – значение напряженности поля на оси трубки у перемычки гауссового пучка основной гауссовой моды TEM_{00} , уравнение для определения границы NM имеет вид:

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

$$+ \ln[|\text{Ce}_0(u, \frac{\chi^2}{4}(a^2 - b^2))|] - \ln[|\text{ce}_0(\frac{\pi}{2}, \frac{\chi^2}{4}(a^2 - b^2))|] + \ln[|\text{ce}_0(v, \frac{\chi^2}{4}(a^2 - b^2))|] = 0, \text{ а}$$

$$\chi \text{ удовлетворяет уравнению } \text{Ce}_0\left(\frac{1}{2} \ln \frac{a+b}{a-b}, \frac{\chi^2(a^2 - b^2)}{4}\right) = 0.$$

Посчитанная в работе [3] мощность показала хорошее согласие с расчетами по усилению такого лазера [4]. Однако после рассмотрения [5] положительного столба разряда постоянного тока в лазерных трубках сменяющимся радиусом разрядного канала, мы получили зависимость δN_0 от размеров эллипса. Результаты уточненных расчетов с этой зависимостью $\delta N_0(a, b)$ дали ещё большее согласие с расчетами усиления [4].

1. Кожевников В.А., Привалов В.Е., Фотиади А.Э. Эффективный модовый объем и оценка мощности выходного излучения гелий-неонового лазера. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2020. – Т. 13. – № 4. – С. 119-132.
2. Handbook of Mathematical Functions: with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. 10th edn. / Ed. Milton Abramowitz, Irene A. Stegun. National Bureau of Standards. 1972.
3. Кожевников В.А., Привалов В.Е., Фотиади А.Э. Новый подход к оценке мощности излучения He-Ne лазера с различной геометрией поперечного сечения активного элемента. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2021. – Т. 14. – № 3. – С. 133-145.
4. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Влияние геометрии сечения активного элемента лазера на усиление его излучения. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2018. – Т. 11. – № 2. – С. 84-95.

5. Кожевников В.А., Привалов В.Е., Фотиади А.Э. Положительный столб разряда постоянного тока в лазерных трубках переменного диаметра. //Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки.– 2019.– Т. 12.– № 4.– С. 97-107.

О ПОИСКЕ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НЕ-НЕ ЛАЗЕРА, ДАЮЩЕГО МАКСИМАЛЬНОЕ УСИЛЕНИЕ

В.А. Кожевников, В.Е. Привалов

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

Показана актуальность поиска поперечного сечения активного элемента Не-Не лазера, дающего максимальное значение среднего по сечению коэффициента усиления. Данная задача математически эквивалентна задаче о максимумекoeffициентом эффективности.

Ключевые слова: усиление Не-Не лазера, геометрия сечения активного элемента, нетрадиционные сечения трубки, коэффициент эффективности.

The relevance of the search for the cross section of the active element of the He-Ne laser, which gives the maximum value of the gain coefficient averaged over the cross section, is shown. This problem is mathematically equivalent to the problem of maximizing the average-to-peak ratio.

Keywords: He-Ne laser gain, active element cross-sectional geometry, unconventional tube cross-sections, average-to-peak ratio.

В работе [1] описан метод нахождения приближенного решения однородного уравнения Гельмгольца. Решение этого уравнения позволяет находить среднее по сечению значения коэффициента усиления Не-Не лазера.

В работах [2, 3] находились коэффициенты усиления для поперечных сечений активного элемента разной формы. Математически нахождение этого среднего значения соответствует нахождению значения коэффициента эффективности E для уравнения Гельмгольца, который определяется следующим образом:

$$E = \frac{1}{S_0 f_{\max}} \int_{\Omega} f dS \quad (1)$$

где рассматривается функция f , являющаяся решением однородного уравнения Гельмгольца с однородным граничным условием для области Ω , соответствующая первому собственному числу λ_1 , находится её максимум f_{\max} в области Ω , а S_0 - площадь области Ω . Задача нахождения области Ω , для которой (1) имеет максимальное значение, является не решенной уже более ста лет. Лучшие на сегодняшний день оценки этой величины приведены в [4, 5]. Но из этих оценок для сечения в виде круга,

например, получается такая оценка для коэффициента усиления: $k \leq 0,565k_0$ (k_0 – усиление на оси лазера). Нами же для сечения в виде круга был получен результат $k=0,432k_0$, что меньше лучшей на сегодняшний день оценки. Поэтому рассмотрение различных сечений активного элемента He-Не лазера в поисках дающего максимальное усиление является актуальным, и мы будем продолжать эти поиски.

1. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Усиление в лазерах при неоднородных граничных условиях // Известия ВУЗов. Физика. – 2020. – Т.63. – №9. – С.165-171.
2. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Усиление излучения в лазерах с сечениями в виде правильных многоугольников. // Известия ВУЗов. Физика. – 2018. – Т.61. – №5 (725). – С. 94-97.
3. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Исследования нетрадиционных поперечных сечений газоразрядных лазеров. // Известия ВУЗов. Физика. – 2018. – Т.61. – №10 (730). – С. 102-106.
4. Payne L.E., Stakgold I. On the mean value of the fundamental mode in the fixed membrane problem. // Applicable Analysis. 1973. V.3. P. 295-306.
5. Sperry R.P. Maximum principles and their applications. // Academic Press, New York, 1981, 224 p.

ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ИЗОМЕРА МЕТИОНИНА

С.А. Куценко

(Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Университетский проспект 100, email: svetlana_kutsenko@volsu.ru)

Экспериментально методом спектроскопии вынужденного комбинационного рассеяния обнаружены полосы, позволяющие различить L, D изомеры метионина. Для соотнесения полос с конкретными колебательными модами выполнено численное моделирование колебательных спектров молекул изомеров. Результаты компьютерного моделирования и эксперимента хорошо совпадают.

Ключевые слова: спектроскопия комбинационного рассеяния, L, D изомеры, метионин.

Spectral bands that allow one to distinguish between the L and D isomers of methionine were found experimentally by stimulated Raman spectroscopy. Numerical calculations of the vibrational spectra of isomer molecules were carried out to correlate the bands with specific vibrational modes. The results of numerical calculations and experiment are in good agreement.

Keywords: Raman spectroscopy, L, D isomers, methionine.

Метионин и препараты на его основе широко применяются в сельском хозяйстве в качестве пищевой подкормки животных и удобрений растений. Эта аминокислота существует в виде двух зеркальных стереоизомерных форм – L и D и их смеси. Но только L- форма участвует в синтезе белков, гормонов и ферментов[1]. Поэтому важно надёжно идентифицировать тип

изомера. В работе для этого используется метод спектроскопии вынужденного комбинационного рассеяния света.

Комбинационное рассеяние возбуждалось в кювете с водным раствором метионина второй гармоникой излучения YAG:Nd³⁺ лазера с длиной волны $\lambda = 0,532$ мкм, работающего в режиме модуляции добротности. Оптическая система включала в себя зеркала, светофильтр, линзы. Рассеянное излучение регистрировалось с помощью монохроматора, фотоэлектронного умножителя и осциллографа [2]. Получены спектры комбинационного рассеяния L, D и LD метионина различных концентраций.

Для идентификации полос рассчитаны колебательные спектры L, D и LD форм метионина с учётом сольватации в пакете программ Hyperchem 8.0.7. Сравнение экспериментальных и расчётных данных позволило соотнести зарегистрированные полосы с изменениями конкретных связей в молекулах изомеров для дальнейшего определения изомерного состава метионина по его спектрам.

1. Yordan Martínez, Xue L et al. The Role of Methionine on Metabolism, Oxidative Stress, and Diseases // Amino Acids. Dec, 2017. V49. N12. P. 2091–2098.
2. Аникеев Б.В., Куценко С.А., Ульченко И.Н., Храмов В.Н. Определение состава смесей органических жидкостей методом КАРС-спектроскопии. // Оптика и спектроскопия.–2006.– Т.101. Вып.6.– С.985-988.

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСНЫХ ГАЗОВ (БЕНЗОЛА И ТОЛУОЛА) НА ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРОВ РТУТИ В АНАЛИЗАТОРЕ НА ОСНОВЕ ПОПЕРЕЧНОГО ЭФФЕКТА ЗЕЕМАНА

В.В. Татур, А.А. Тихомиров

(Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск,
e-mail: tatur@imces.ru, tikhomirov@imces.ru)

Экспериментально исследовано влияние различных концентраций примесных газов (бензола и толуола), полосы поглощения которых попадают на линии излучения анализатора паров ртути, основанном на эффекте Зеемана (ЭЗ), на результаты измерения концентрации паров ртути в газовой смеси. Показано, что в анализаторе ртути, использующем поперечный ЭЗ, влияние таких примесных газов на результаты измерений на порядок меньше, чем в анализаторе на основе продольного ЭЗ.

Ключевые слова: анализатор паров ртути, поперечный эффект Зеемана, бензол, толуол;

The effect of various concentrations of impurity gases (benzene and toluene), the absorption bands of which fall on the emission lines of the mercury vapor analyzer based on the Zeeman Effect (ZE), on the results of measuring the concentration of mercury vapor in a gas mixture has been experimentally investigated. It is shown that in a mercury analyzer using a transverse ZE, the effect of such impurity gases on the measurement results is an order of magnitude less than in an analyzer based on a longitudinal ZE.

Keywords: mercury vapor analyzer, transverse Zeeman Effects, benzene, toluene

В [1, 2] нами показано, что использование анализаторов концентрации паров

ртути в природном газе (ПГ), основанных на использовании поперечного эффекта Зеемана (ЭЗ) имеет существенные преимущества по сравнению с анализаторами на основе продольного ЭЗ. Это связано с тем, что присутствующие в составе ПГ примесные газы, такие как C_6H_6 , H_2S , NO_2 , NO , SO_2 и другие, полосы поглощения которых попадают на линии излучения анализатора $\lambda_0 = 253,7$ нм (σ^+ - и σ^- -компоненты при продольном ЭЗ и π - σ^+ - и σ^- -компоненты при поперечном ЭЗ) по-разному поглощают компоненты излучения анализаторов, использующих метод дифференциального поглощения [2]. В [2] также экспериментально было показано, что анализатор паров ртути [3], использующий в качестве источника излучения ртутную капиллярную лампу (РКЛ) с естественным изотопным составом при поперечном ЭЗ, начинает чувствовать пары бензола (C_6H_6) и толуола ($C_6H_5CH_3$) с концентрациями, превышающими 10 мг/м³. Это на порядок уменьшает влияние примесного газа в составе ПГ на измерение концентрации паров Hg, чем у анализатора с РКЛ при продольном ЭЗ.

В докладе представлены экспериментальные результаты измерений концентраций Hg с помощью анализатора [3] при подаче в его измерительную кювету последовательно порций паров Hg и бензола, а также паров Hg и толуола. Показано, что примесные газы типа бензола, полоса которых находится практически на линейном участке изменения сечения поглощения, вызывают дополнительное поглощение линий излучения РКЛ, что приводит к увеличению показаний анализатора в концентрации содержания ртути в измеряемой газовой смеси. Примесные газы типа толуола, полоса которых находится на нелинейном участке изменения сечения поглощения или в точках перегиба этой величины, могут приводить к уменьшению значения измеряемой концентрации ртути.

Экспериментально показано, что при добавлении паров бензола или толуола с концентрациями до 10 мг/м³ в измерительную кювету анализатора [3], где уже находятся пары ртути с концентрацией более 30 нг/м³, ошибки измерения концентрации паров ртути не наблюдаются.

Работа выполнялась в рамках госзадания ИМКЭС СО РАН (проект № FWRG-2021-0006).

1. Татур В.В., Тихомиров А.А. Компенсация селективного поглощения и неселективных потерь в анализаторе паров ртути при использовании эффекта Зеемана // Лазерные информационные технологии: Труды XXIX Междунар. научн. конф. Новороссийск. НФ ФГБОУ ВО "БГТУ". – 2021. – С. 46-48.
2. Татур В.В., Тихомиров А.А. Экспериментальная оценка влияния бензола и толуола на измерение концентрации паров ртути в анализаторе на основе поперечного эффекта Зеемана // Оптика атмосф. и океана. – 2022. – Т. 35. – № 7. – С. 594-598.
3. Tatur V.V., Tikhomirov A.A., Abramochkin A.I., Korolev B.V., Mutnitskii N.G. Analyzer of Mercury Vapors in Atmospheric Air Based on a Mercury Capillary Lamp with Natural Isotope Composition. // Atmos Ocean. Opt. 2019. V. 32. No. 6. P. 701-705. doi: 10.1134/S1024856019060174.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ, ПРОИЗВОДИМЫХ ЛАЗЕРНЫМ ДИСДРОМЕТРОМ НА БАЗЕЛИНЕЙНОГО МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО ОПТИЧЕСКОГО СЕНСОРА

А.А. Тихомиров, В.В. Кальчихин, А.А. Кобзев, Д.Е. Филатов

(Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
Томск, e-mail: tikhomirov@imces.ru)

Предложен оригинальный метод калибровки лазерного дисдрометра, позволяющий повысить точность определения размеров гидрометеоров за счет учета эффективного размера каждого светочувствительного элемента линейного сенсора. Универсальность метода позволяет использовать его для повышения показателей точности любых оптических измерителей линейных размеров различных объектов, использующих в качестве измерительного преобразователя линейный массив светочувствительных элементов.

Ключевые слова: лазерный дисдрометр, калибровка, размер капель, оптический измеритель линейных размеров

The original method for calibrating the laser disdrometer is proposed, which makes it possible to increase the accuracy of determining the dimensions of hydrometeors by taking into account the effective size of each photosensitive element of the linear sensor. The versatility of the method allows it to be used to improve the accuracy of any optical meters of linear dimensions of various objects using a linear array of photosensitive elements as a measuring transducer.

Keywords: laser disdrometer, calibration, drop size, optical meter of linear dimensions

Основным компонентом измерительной системы разработанного в ИМКЭС СО РАН лазерного дисдрометра ОПТИОС [1] является многоэлементный линейный оптический сенсор.

Для снижения погрешностей измерений, вызванных неоднородностью светового потока и вариациями размеров светочувствительных элементов, а также для устранения зависимости величины этой погрешности от размеров эталонных объектов нами предложен метод калибровки любых оптических измерителей линейных размеров, реализованных на основе линейного массива светочувствительных элементов (линейного сенсора), который позволяет при определении реального размера регистрируемого объекта учитывать эффективный размер каждого элемента массива [2]. Процедура калибровки при этом заключается в измерении линейных размеров теней непрозрачного цилиндрического стержня, горизонтально перемещаемого через измерительный канал перпендикулярно направлению светового потока с сохранением ортогональности оси стержня относительно плоскости измерительной площадки. На всем пути стержня осуществляется непрерывный анализ количества и положения затененных элементов, рассчитывается размер тени и сопоставляется с диаметром стержня.

Согласно предлагаемой методике, для анализа формируется двумерный массив калибровочных данных из единиц и нулей, соответствующих затененным и незатененным светочувствительным элементам линейного сенсора. Номера столбцов массива соответствуют порядковым номерам

светочувствительных элементов, номера строк соответствуют номеру измерения, осуществляемого при смещении начала и/или конца тени, как минимум, на один светочувствительный элемент. Для получения эффективного размера отдельного светочувствительного элемента сначала вычисляется среднее значение размера элемента для каждого теневого изображения (строки), в формировании которого участвует данный светочувствительный элемент, а затем проводится усреднение по всем этим теневым изображениям (строкам). Более подробно процедура и алгоритмы поэлементной калибровки лазерного дисдрометра описаны в [2].

Таким образом, сумма эффективных размеров всех элементов, составляющих конкретное теневое изображение, должна с высокой точностью совпадать с реальным размером объекта, создавшего это изображение. Данный результат достигается за счет точного определения вклада каждого светочувствительного элемента в размер формируемой тени.

1. Kal'chikhin V.V., Kobzev A.A., Korol'kov V.A., Tikhomirov A.A. Determination of the Rate of Fall of Rain Drops in Measurements of Their Parameters by an Optical Rain Gauge. // Measurement Techniques. 2017. V. 59. No 11. pp. 1175-1180.
2. Kalchikhin V.V., Kobzev A.A., Tikhomirov A.A., Filatov D. Element-by-Element Calibration of an Optoelectronic Precipitation Gage. // Atmospheric and Oceanic Optics. 2022. V. 35. No 1, pp. 77-80. <https://doi.org/10.1134/S1024856022010080>

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦЕМЕНТА ЗУБОВ ПОСЛЕ ЛЕЧЕНИЯ ПАРОДОНТИТА

*П.Е. Тимченко¹, Е. В. Тимченко¹, О. О. Фролов¹, И.В. Бажутова², Л. Т. Волова²,
А.Ю. Ионов¹*

(¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара, ²Самарский государственный медицинский университет, Самара, laser-optics.timchenko@mail.ru)

В работе представлены результаты спектрального анализа цемента зубов до и после лечения пародонтита с помощью Рамановской спектроскопии. В качестве объектов исследований были использованы удаленные премоляры пациентов обоего пола. В результате исследований проведен спектральный анализ цемента зубов после лечения пародонтита (проведения процедуры кюретажа). Спектральные изменения цемента зубов после лечения обусловлены восстановлением минеральных компонентов и образованием нового цемента за счет удаления зубного камня и процессов реминерализации.

Ключевые слова: Рамановская спектроскопия, цемент зубов, хемометрический анализ, обработка патологического зубодесневого кармана

The paper presents the results of spectral analysis of dental cementum before and after periodontitis treatment using Raman spectroscopy. Removed premolars of patients of both sexes were used as objects of research. As a result of the studies, the spectral analysis of the cement of teeth after periodontitis treatment (curettage procedure). Spectral changes in dental cement after treatment are caused by the restoration of mineral components and formation of new cement due to removal of dental calculus and remineralization processes, was carried out.

Keywords: Raman spectroscopy, dental cement, chemometric analysis, treatment of pathological periodontal pockets

В числе актуальных проблем стоматологии заболевания тканей пародонта занимают одно из ведущих мест и являются одной из причин ранней потери зубов. Распространенность данного заболевания среди взрослого населения достигает 80%, старше 65 лет – более 90% [1]. Клиническая картина хронического генерализованного пародонтита на ранних стадиях заболевания характеризуется латентным течением, что затрудняет своевременную диагностику, отдаляет начало лечебных мероприятий и более 60% пациентов обращаются за помощью со средней степенью тяжести пародонтита [2]. Распространенной манипуляцией при лечении пародонтита является кюретаж, который по сути является хирургической манипуляцией, с длительным заживлением и непрогнозируемым восстановлением аппарата прикрепления. Вопрос об эффективности закрытого кюретажа и его влиянии на ткани зубов остается до конца не изученным.

Целью данной работы является анализ спектральных изменений в составе цемента после лечения пародонтита.

В качестве основного метода оценки твердых тканей зубов до и после стоматологической манипуляции был использован метод Рамановской спектроскопии, реализуемый с помощью экспериментального стенда, включающий в себя рамановский пробник RPB-785 (фокусное расстояние 7,5 мм), совмещенный с лазерным модулем LuxxMaster LML-785.0RB-04 (мощность до 500 мВт, длина волны $784,7 \pm 0,05$ нм) и высокоразрешающий цифровой спектрометр Shamrock sr-303i, обеспечивающий спектральное разрешение 0,15 нм, со встроенной охлаждаемой камерой DV420A-OE (спектральный диапазон 200-1200 нм) [3].

Для исключения вклада автофлуоресценции в Рамановских спектрах использовался метод вычитания флуоресцентной составляющей полиномиальной аппроксимации с дополнительной фильтрацией случайных шумовых эффектов. Обработка и анализ спектров КР проведен в программном комплексе WolframMathematica 12.2.

Детальный анализ спектров осуществлялся в программной среде MagicPlotPro и методом логистической регрессии.

В результате исследований проведен детальный спектральный анализ цемента зубов до и после лечения пародонтита. Показано, что после процедуры кюретажа происходят спектральные изменения (усиление интенсивности на линиях ~ 956 см⁻¹, соответствующих гидроксиапатиту и ~ 1070 см⁻¹, соответствующая С-О плоскостному валентному колебанию карбонат-иона гидроксиапатита CO₃²⁻(v1), так же происходят изменения на линиях ~ 1259 см⁻¹ (AmidIII), ~ 1570 см⁻¹ ((амид II Parallel/Antiparallel β -sheestructure) и ~ 1745 см⁻¹) по сравнению с группой до проведения данной манипуляции. Спектральные изменения цемента зубов, после данных манипуляций, обусловлены восстановлением минеральных компонентов в тканях и образованием нового цемента за счет удаления зубного камня и процессов реминерализации.

- 1 Кананович Т. Н., Воронина И.Е. Проблема состояния тканей пародонта у лиц пожилого и старческого возраста // СУЧАСНА СТОМАТОЛОГІЯ. 1/2018. pp. 30-33.
- 2 Грудянов А. И. Заболевания пародонта // Издательство "Медицинское информационное агентство".—2009. pp. 336.
- 3 Elena Timchenko, Pavel Timchenko , Larisa Volova, Oleg Frolov, Maksim Zibin , Irina Bazhutova Raman spectroscopy of changes in the tissues of teeth with periodontitis. // Diagnostics 2020 – 10 - 876 doi:10.3390/diagnostics10110876

ХЕМОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТАВА ЭМАЛИ ЗУБОВ ПОСЛЕ ОТБЕЛИВАНИЯ

*Е.В. Тимченко¹, П.Е. Тимченко¹, О.О. Фролов¹, О.А. Магсумова², Л. Т. Волова²,
М.А. Постников², Т.В. Козлова¹*

(¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара, ²Самарский государственный медицинский университет, Самара, laser-optics.timchenko@mail.ru)

Проведен хемометрический анализ состава эмали зубов пациентов после процедуры офисного отбеливания. Исследована эмаль пациентов разной возрастной категории. Все образцы были разделены на 2 группы: эмаль до и после процедуры отбеливания зубов. Выявлены незначительные спектральные изменения состава эмали спустя 2 недели после процедуры отбеливания зубов, связанные с изменением их минерально-органического состава.

Ключевые слова: рамановская спектроскопия, органический и минеральный состав, эмаль, отбеливание

A chemometric analysis of the composition of the enamel of patients' teeth after the office bleaching procedure was carried out. The enamel of patients of different age categories was studied. All samples were divided into 2 groups: enamel before and after the teeth whitening procedure. Minor spectral changes in the enamel composition were revealed 2 weeks after the teeth whitening procedure, associated with changes in their mineral and organic composition.

Keywords: Raman spectroscopy, organic and mineral composition, enamel, bleaching

В современном мире отбеливание зубов приобретает наибольшую популярность как неинвазивный метод улучшения эстетики улыбки[1,2]. В настоящее время рынок стоматологических услуг представлен огромным ассортиментом отбеливающих систем. Однако нарушение протокола проведения процедуры может привести к возникновению осложнений во время и после проведения манипуляций[3,4].

В XXI веке актуальными являются методики, которые способны обрабатывать информацию на микроструктурном уровне. Одним из распространённых в различных областях медицины методом является спектроскопия комбинационного рассеяния света, которая позволяет неинвазивно получать информацию об изменениях в молекулах клеток организма без предварительной пробоподготовки и небольшого числа объектов исследования [5]. По данным Tatiana Vargas-Koudriavtsevi соавт. при домашнем отбеливании зубов с концентрацией перекиси водорода 9,5%

происходит снижение молекулы карбоната, а при использовании офисных систем с 25 % перекисью водорода и активацией led-лампой его увеличение. Целью работы является хемометрический анализ состава эмали зубов пациентов после процедуры офисного отбеливания

Материалами исследований являлась эмаль зубов пациентов: 1 – до отбеливания зубов, 2 – после отбеливания зубов (через 2 недели после отбеливания зубов).

Исследования проводились *in vivo* с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния, который был реализован с помощью стенда, включающего в себя полупроводниковый лазер (LML-785.0RB-04), оптический модуль комбинационного рассеяния (PBL 785), спектрограф (Sharmrock SR-303i) с интегрированной цифровой камерой (ANDOR DV-420A-OE), охлаждаемой до -60°C , и компьютер [6].

Использование данного спектрографа обеспечивало разрешение 0,15 нм по длине волны при низком уровне собственных шумов. Мощность излучения лазера 400 мВт в пределах используемых времён экспозиции (30 сек) не вызывает изменений образцов. Регистрация спектров КР проводилась с помощью оптического зонда, который располагался над объектом на расстоянии

7 мм. В данной работе анализ КР спектров проводился в диапазоне $380\text{--}1780\text{ см}^{-1}$.

В результате проведенных исследований с помощью хемометрического анализа состава эмали зубов пациентов до и после процедуры офисного отбеливания установлено, что основные незначительные различия выявлены в линиях гидроксиапатита: $\sim 584\text{--}593$ (PO_4^{3-} (ν_4) (P–O Symmetric stretch)), $955\text{--}961$ (PO_4^{3-} (ν_1) (P–O symmetric stretch)), ~ 1045 (PO_4^{3-} (ν_3) (P–O asymmetric stretch)) и $\sim 1075\text{ см}^{-1}$ (CO_3^{2-} (ν_1) B-type substitution (C–O in-plane stretch)), что связано с влиянием отбеливающего агента на эмаль. Такие изменения являются незначительными и в последующем не влияют на состояние зубов.

- 1 Мирная Е.А. Отбеливание как неинвазивный способ улучшения эстетики при изменении цвета зубов. // Современная стоматология.–2017.–№3.– С.50-56.
- 2 Меленберг Т.В., Титова О.Ю., Буров А.И., Левина Н.М., Солодченко Ю.В., Дайронас С.К., Дайронас Э.Г. Способы устранения дисколорита зубов. //Медико-фармацевтический журнал Пульс.– 2021.– Т. 23.– № 2.– С. 53-59
- 3 Гильмияров Э.М., Магсумова О.А. Сравнительная оценка влияния систем офисного отбеливания на возникновение гиперестезии зубов. // Известия Самарского научного центра РАН.– 2015.– Т. 17.– № 5-3.–С. 743-747.
- 4 Martini E.C., Parreiras S.O., Szesz A.L., Coppla F.M., Loguercio A.D., Reis A. Bleaching-induced tooth sensitivity with application of a desensitizing gel before and after in-office bleaching: a triple-blind randomized clinical trial. // Clin Oral Investig. 2020. Jan. V. 24(1). P. 385-394.
- 5 Магсумова О.А., Полканова В.А., Тимченко В.Е., Волова Л.Т. Рамановская спектроскопия и ее применение в стоматологии. // Стоматология.– 2021.– Т. 100.– № 4.– С. 137-142. DOI 10.17116/stomat2021100041137
- 6 Timchenko E.V., Timchenko P.E., Pisareva E.V., Vlasov M.Yu., Volova L.T.,

Frolov O.O., Fedorova Ya.V., Tikhomirova G.P., Romanova D.A., Daniel M.A. Spectral Analysis of Rat Bone Tissue During Long Antiorthostatic Hanging and at Introduction of Allogeneic Hydroxyapatite. // Optics and Spectroscopy. 2020. V. 128. No. 7. P. 989–997.

ДЕТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДОНОРСКОГО КСЕНОМАТЕРИАЛА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

П.Е. Тимченко¹, Е. В. Тимченко¹, Е.В. Писарева¹, М. Ю. Власов², О. О. Фролов¹,
Л. Т. Волова², Р.Т. Самигуллин¹, А.А. Гнедова¹

(¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара, ²Самарский государственный медицинский университет, Институт экспериментальной медицины и биотехнологий, Самара, laser-optics.timchenko@mail.ru)

В работе представлены результаты спектральных исследований донорского ксеноматериала, полученных из разных источников (резец, моляр) и изготовленных по технологии «Лиопласт»®. Деминерализация исследуемых образцов проводилась с помощью кислоты со степенью нормальности 1.8n. Все исследования проводились с помощью метода Рамановской спектроскопии. Был проведен нелинейный регрессионный анализ спектров, состоящий в их разложении на спектральные линии. В результате проведенных исследований, были получены данные статистического анализа спектров комбинационного рассеяния. Было установлено, что резцы и моляры можно использовать для изготовления ксеноматериалов.

Ключевые слова: Рамановская спектроскопия, донорский материал, ксеноматериалы, деминерализация

This paper presents the results of spectral studies of donor xenomaterial obtained from different sources (incisor, molar) and fabricated using the Lioplast® technology. Demineralisation of the specimens examined was carried out using acid with a degree of normality of 1.8n. All investigations were carried out using Raman spectroscopy. A non-linear regression analysis of the spectra was carried out, consisting of their decomposition into spectral lines. As a result of the carried out investigations, the data of statistical analysis of spectra of Raman scattering were obtained. It was found that incisors and molars could be used for xenomaterials.

Keywords: Raman spectroscopy, donor material, xenomaterials, demineralisation

Поиск новых способов получения биосовместимых материалов из опорных соединительных тканей с заданным комплексом физико-химических и механических свойств, обладающих остеоиндуктивными свойствами, является актуальной задачей современной биотехнологии и тканевой инженерии.

Перспективными и доступными источниками для этих целей являются дентальные ткани, которые могут применяться в стоматологии, травматологии и ортопедии, челюстно-лицевой хирургии [1]. Минеральный компонент, полученный путем деминерализации дентальных тканей млекопитающих, используется для заполнения дефектов после повреждений и травм, для регуляции обменных процессов, обладает выраженными регенеративными свойствами [2]. Также данный материал можно использовать как компонент зубных паст и различных профессиональных

стоматологических составов для профилактики кариеса и деструктивных процессов эмали зуба, поскольку минеральный компонент дентальных тканей наряду с гексагональной кристаллической структурой гидроксиапатита содержит аморфную фазу. Поэтому, возникает необходимость оценки качества ксеногенных костно-пластических материалов из дентальных тканей животных.

Цель работы - детальная оценка донорского ксеноматериала, полученных из моляров и резцов прошедших, первичную обработку и деминерализацию, с помощью метода Рамановской спектроскопии.

Объектами исследования являлись группы образцов ксеноматериалов, изготовленных по технологии «Лиопласт»® при одинаковой степени деминерализации 1.8н., из зубов коровы. Образцы разделены на 2 основные группы по типам донорского ксеноматериала: 1 группа - моляры и 2 группа – резцы.

В качестве основного метода исследования ксеноматериалов использовался метод спектроскопии комбинационного рассеяния света, реализованный цифровым спектрометром высокого разрешения AndorShamrockSR-303i со встроенной охлаждающей камерой DV420A-OE, обеспечивающей спектральное разрешение 0,15 нм, и волоконным световодом, оптический зонд для рамановской спектроскопии RPB785, совмещенный с лазерным модулем LuxxMaster LML-785.0RB-04 (до 500 мВт, длина волны 785 нм) [3,4]. Спектры снимали в трех различных точках и усреднялись с помощью пакета программного обеспечения «Wolfram Mathematica».

Проведенный расширенный детальный анализ спектров комбинационного рассеяния исследуемых образцов ксеноматериалов, полученных из моляров и резцов показал, что наиболее выраженные спектральные изменения после процесса деминерализации наблюдаются в образцах из моляров и проявляются в изменении концентрации PO_4^{3-} и CO_3^{2-} по сравнению с резцами, о чем свидетельствуют изменения на линиях 1071 см^{-1} (C-O плоское валентное), 956 см^{-1} (P-O симметричное валентное) соответственно. Полученные результаты могут свидетельствовать о том, что гидроксиапатит эмали имеет структуру высококристаллического фосфата кальция, что делает эмаль резцов более плотной, медленнее растворяющейся под воздействием кислот. В результате исследований показано, что и резцы, и моляры можно использовать для изготовления ксеноматериалов.

1. Naud J.M., Assad D.A. Utilization of a bovine xenograft to achieve dental root coverage: a pilot study. // Int. J. Periodontics Restorative Dent. 2020. V.40. No. 1. P. 137-143.
2. Moradi A., Pakizeh M., Ghassemi T. A review on bovine hydroxyapatite; extraction and characterization. // Biomed. Phys. Eng. Express. 2021. V.8. No. 1. 012001.
3. Timchenko E.V., Timchenko P.E., Pisareva E.V., Vlasov M.Yu., Volova L.T., Frolov O.O., Fedorova Ya.V., Tikhomirova G.P., Romanova D.A., Daniel M.A. Spectral Analysis of Rat Bone Tissue During Long Antiorthostatic Hanging and at Introduction of Allogeneic Hydroxyapatite. // Optics and Spectroscopy. 2020. V.

128. No. 7. P. 989–997.

- 4 Timchenko E.V., Timchenko P.E., Pisareva E.V., Daniel M.A., Volova L.T., Fedotov A.A., Frolov O.O., Subatovich A.N. Optical analysis of bone tissue by Raman spectroscopy in experimental osteoporosis and its correction using allogeneic hydroxyapatite. // J. Optical Technology. 2020 V. 87. No. 3. P. 161-167.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОМАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ЮВЕНИЛЬНЫХ ЗУБОВ И КОСТНОЙ ТКАНИ

*Е.В. Тимченко¹, П.Е. Тимченко¹, Л.Т. Волова², О.О. Фролов¹, М.Ю. Власов²,
И.В. Бажутова², С.С. Шипко¹*

(¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, ²Самарский государственный медицинский университет, Самара, s.shipko567@gmail.com)

Проведены эксперименты сравнительного анализа биоматериалов, полученных из ювенильного дентина и костной ткани при помощи Рамановской спектроскопии. В результате исследований показано, что биоматериалы из ювенильного дентина обладают меньшей антигенностью по сравнению с костной тканью и при деминерализации сохраняют большее количество органических компонент по сравнению с биоматериалами из костной ткани.

Ключевые слова: ювенильный дентин, костная ткань, Рамановская спектроскопия, спектральный анализ, деминерализованные биоматериалы, деминерализованный костный трансплантат

Experiments of comparative analysis of biomaterials obtained from juvenile dentin and bone tissue using Raman spectroscopy were carried out. As a result of studies, it has been shown that biomaterials from juvenile dentin have lower antigenicity compared to bone tissue and retain a greater number of organic components during demineralization compared to biomaterials from bone tissue.

Keywords: juvenile dentin, bone tissue, Raman spectroscopy, spectral analysis, demineralized biomaterials, demineralized bone graft

Приоритетным направлением в развитии костной имплантологии является восстановление функциональной недостаточности опорно-двигательного аппарата и отдельных органов с сокращенным сроком реабилитации путем разработки материала, не вызывающего иммуногенного ответа при взаимодействии с тканями и межтканевыми жидкостями, способствующего биоинтеграции материала или процессу образования новой костной ткани. Применение тканей биологического происхождения осложняется рисками передачи инфекций и вероятностью отрицательных иммунных реакций [1]. В стоматологии широко используются аллопластические биоматериалы, одним из которых является деминерализованный дентин, содержащий структурные белки сопоставимые с белками костной ткани. Дентин может служить аналогом костной ткани, который помимо низкой иммуногенности и высоких остеоиндуктивных свойств обладает большой пластичностью [2]. Сравнение спектральных свойств биоматериалов из ювенильного дентина и костной ткани является актуальной задачей, так как биологический состав изготавливаемого трансплантата напрямую влияет на его переносимость

реципиентом и последующее формирование костной ткани.

Целью исследований являлось сравнение структурных особенностей биоматериалов, полученных из ювенильного дентина и ювенильной костной ткани, с использованием метода Рамановской спектроскопии.

Объектами исследований являлись биоматериалы, полученные из дентина ювенильных зубов и ювенильной костной ткани, которые были условно разделены на 2 группы: 1 группа – биоматериалы из ювенильного дентина, деминерализованные в 1,2Н растворе соляной кислоты; 2 группа – биоматериалы, изготовленные из костной ткани (фаланги пальцев младенцев). Процесс деминерализации осуществлялся по технологии «ЛИОПЛАСТ» [ТУ-9398-001-01963143-2004].

В качестве основного метода анализа биоматериалов из костной ткани и ювенильного дентина был использован метод Рамановской спектроскопии, реализуемый с помощью экспериментального стенда, состоящим из рамановского пробника RPB-785, совмещенного с лазерным модулем LuxxMasterLML-785.0RB-04 и высокоразрешающего цифрового спектрометра Shamrock sr-303i со встроенной охлаждаемой камерой DV420A-0E.

Усреднение спектров проводилось в программном пакете Mathematica8. Анализ спектров осуществлялся в программной среде MagicPlotPro, а также с помощью метода дискриминантного анализа (LDA) в программе IBMSPSS Statistics [3].

В результате проведенных исследований были установлены основные спектральные отличия биоматериалов из ювенильного дентина, деминерализованных в 1,2Н растворе соляной кислоты, и биоматериалов, изготовленных из костной ткани. Показано, что материалы из ювенильного дентина обладают большей степенью антигенности по сравнению с материалами из костной ткани, о чем свидетельствует увеличение интенсивности линий 1415 см^{-1} ($\nu_s\text{COO}^-$ (IgG)) и 1577 см^{-1} (IgG). Биоматериалы, полученные из ювенильных зубов, также содержат большее количество органических веществ, что обуславливает их применение в качестве трансплантатов.

1. Чупрунов К.О. Разработка метода получения наноструктурных сферических порошковых материалов на основе гидроксилатапата с регулируемым фазовым составом и показателям дисперсности: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Москва, 2020. – 137 с.
2. Samsonov V.E., Volova L.T., Vasiliev M.V. The use of demineralized bone matrix in the treatment of peri-root cysts and cystogranulomas of the jaws on an outpatient basis. // Kazan medical journal. 1993. V. 74. No. 4. P. 294-296. doi: 10.17816/kazmj71450
3. Timchenko P.E., Timchenko E.V., Volova L.T. et al. Raman spectroscopy method for the evaluation of bone bioimplants made using the «Lyoplast» technology from cadaveric and in vivo resected bone tissue. // J. Physics: Conference Series. 2018. V. 1038. Iss. 1.

О ПОИСКЕ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ В ЛАЗЕРНЫХ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

¹В.Е. Привалов, ²В.Г.Шеманин

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: vaevpriv@yandex.ru, ²Филиал Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова в Новороссийске, Новороссийск, Россия)

Успехи физики во многом связаны с достижениями математики. При этом не забываем, что физика зародилась прежде всего, как экспериментальная наука. Путь от рядов Фурье до преобразования Хартли у человечества занял чуть более века. В результате есть много интересных результатов в физике, в том числе, в оптике. Рассмотрены возможности применения в когерентной оптике (лазеры, лидары и др.).

Ключевые слова: ряды Фурье, преобразования Хартли, лазеры, лидары

The successes of physics are largely related to the achievements of mathematics. At the same time, we do not forget that physics was born primarily as an experimental science. The journey from the Fourier series to the Hartley transformation of humanity took just over a century. As a result, there are many interesting results in physics, including optics. The possibilities of use in coherent optics (lasers, lidars, etc.) are considered.

Keywords: Fourier series, Hartley transformations, lasers, lidars

Математика является царицей наук и в других науках этому много подтверждений. Например, определенный математический аппарат, разработанный для решения одной из физических задач, оказывается подходящими в других областях физики. Мало того, оказывается, развивая этот аппарат, можно не только найти решения других задач, но совершать физические открытия. Кроме того, вносится новый вклад и в математику. С функциями $\sin x$ и $\cos x$ мы знакомимся в средней школе и долгое время считаем их тригонометрическими. Позднее понимаем, что гармоники реализуются не только в пространстве, но и во времени. Начинаем вместо них пользоваться показательными функциями и т.д. Эти понятия продолжают обобщаться, обрстая новым физическим смыслом.

Гармонический анализ Фурье – существенное математическое достижение – нашел широкое применение в физике. Он резко продвинул, в частности, теорию колебаний. В теории рядов Фурье используются функции комплексной переменной. Но вскоре выяснилось, что ряд Фурье можно записать и без комплексных чисел. Это было известно Фурье (начало 19 века), но в середине 20 века Хартли ввел вещественное интегральное преобразование, позволяющее обойтись без комплексного представления (см., например, [1]). В итоге можно использовать преобразование Хартли, анализируя работу различных интерферометров, некоторых поляризационных и других оптических устройств. Это применяется как в некогерентной оптике, так и в лазерах.

Мы решили исследовать этот вопрос для ряда других ситуаций, рассмотренных нами ранее (см., например, [2-5]), чему и посвящен данный

доклад. Основной акцент сделаем на лидарах.

1. Bracewell R.N. The Hartley transformation. Oxford, 1986. 176 p.
2. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Параметры лидара дифференциального поглощения для обнаружения молекулярного йода в атмосфере. // Оптический журнал.–1999.– Т.66.– №2.– С. 40-42.
3. Привалов В.Е. Колебания в разряде газового лазера (обзор). //Квантовая электроника.– 1977.– Т.4. №10.– С. 2085-2119.
4. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Об определении минимальной энергии импульса при лазерном зондировании на гармониках Nd-YAG лазера. //Оптика и спектроскопия.–1997.– Т.82.–№5.– С. 873-875.
5. Воронина Э.И., Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Лидарное зондирование молекул йода при низких давлениях. // Оптика и спектроскопия.– 2002.– Т.93.– №4.– С. 699-701.

КОНФИГУРИРУЕМЫЙ ДАТЧИК ВОЛНОВОГО ФРОНТА НА ЭФФЕКТЕ ТАЛЬБОТА

¹*С.Ю. Казанцев, ²А.Ю.Музыка, ¹Н.В.Пчелкина, ¹М.С.Кузьмин, ¹А.А.Смольский
(¹Московский технический университет связи и информатики, 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная 8а, ²Московский Политехнический Университет, 107023, Россия, г. Москва, ул. Большая Семёновская 38, *s.i.kazantsev@mtuci.ru)

Представлено описание лабораторной установки для демонстрации эффекта Тальбота и возможностей регистрации оптических неоднородностей на трассе лазерного пучка с помощью датчика волнового фронта, созданного на его основе.

Ключевые слова: датчик волнового фронта, эффект Тальбота, оптические неоднородности, широкоапертурные лазерные пучки.

A description of a laboratory setup is presented to demonstrate the Talbot effect and the possibilities of detecting optical inhomogeneities along the path of a laser beam using a wavefront sensor created on its basis.

Keywords: wavefront sensor, Talbot effect, optical inhomogeneities, wide-aperture laser beams.

Эффект Тальбота, который был подробно описан еще два века назад, в настоящее время снова привлекает внимание исследователей и находит применение в самых разных областях науки и техники [1-3]. Современные достижения в области анализа и обработки изображений позволяют с успехом использовать эффект Тальбота для создания эффективных датчиков волнового фронта широкоапертурных лазерных пучков [3]. Важным преимуществом датчиков волнового фронта на основе эффекта Тальбота является отсутствие необходимости применения специальной оптики, поскольку основным диспергирующим элементом датчика является двумерная периодическая решетка, что позволяет исследовать пучки, как рентгеновского, так и дальней ИК области спектра [1]. В исследованиях [4] было показано, что периодическая двумерная решетка для датчика волнового фронта может быть напечатана на лавсановой пленке с помощью лазерного принтера, что значительно упрощает и удешевляет конструкцию

интерферометрического датчика. Данные определенных плотностях облучения и спектральных областях, где напечатанные решетки могут эффективно применяться, представлены в работе [5]. Целью настоящей работы являлось отработка методик, использования периодических решеток, напечатанных на полимерных пленках, для создания конфигурируемого датчика волнового фронта, который может использоваться для учебно-исследовательских работах студентов вузов. Предложенная нами конструкция конфигурируемого датчика волнового фронта, оказалась очень простой и удобной в освоении, что позволило разработать модульную конструкцию датчика, с помощью которой можно контролировать деформации волнового фронта в более широких пределах, чем обычный интерферометрический датчик. Показано, что с помощью, созданного нами датчика можно исследовать даже незначительные пространственные возмущения оптической плотности прозрачных сред на трассе лазерного пучка, визуализировать турбулентные потоки, а также измерять радиус кривизны волнового фронта при прохождении излучения через оптические материалы или отражении от зеркальных поверхностей.

1. Wen J. et al. The Talbot effect: recent advances in classical optics, nonlinear optics, and quantum optics. // *Advances in optics and photonics*. 2013. V.5. No.1. P.83-130.
2. Wu J. et al. Multiple-image optical encryption based on phase retrieval algorithm and fractional Talbot effect. // *Optics Express*. 2019. V.27. No.24. P. 35096-35107.
3. Ignat'ev A.B. et al. On the possibility of controlling the wave front of a wide-aperture HF(DF) laser by the method of Talbot interferometry. // *Quantum Electronics*, 2008. V. 38. No.1. P. 69-72.
4. Андреев С.Н., Казанцев С.Ю., Музыка А.Ю. Датчик волнового фронта широкоапертурных лазерных пучков // X Международная конференция по фотонике и информационной оптике.–2021.–С. 401-402.

СОСТОЯНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ И ПРОЦЕССОВ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ В ПЕЧЕНИ КРЫС ПРИ ДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СОЧЕТАНИИ С ФЕНОЛАМИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ОПЫТАХ *INVITRO*

Н.М. Орёл, А.М. Лисенкова, А.М. Братченя, Д.А. Жолудева

(Белорусский государственный университет, Минск, oryoln47@tut.by)

В опытах *invitro* показана способность фенолов Брусники обыкновенной и Бессмертника песчаного корректировать изменения активности антиоксидантных ферментов и перекисного окисления липидов в печени крыс при воздействии лазерного излучения.

Ключевые слова: лазерное излучение, растительные фенолы, биодоступность.

In vitro experiments have shown the ability of phenols Cowberry and Helichrysum sandy

to correct changes in the activity of antioxidant enzymes and lipid peroxidation in the liver of rats when exposed to laser radiation.

Key words: laser radiation, plant phenols, bioavailability.

При воздействии низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) на органы и ткани в клетках может ускоряться перенос электронов по дыхательной цепи, вырабатываться активные формы кислорода (АФК), изменяются защитные механизмы, противодействующие избыточной продукции АФК [1]. Антиоксидантными свойствами и способностью нормализовать функционирование антиоксидантных ферментов обладают экстракты, полученные из Брусники обыкновенной и Бессмертника песчаного [2]. Это послужило основанием для исследования эффективности применения фенольной фракции этих растений для коррекции изменений активности супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (Кат), концентрации ТБК-активных продуктов в печени крыс при действии НИЛИ. Работа выполнена *in vitro* на гомогенате печени белых беспородных крыс самцов, массой 150-180 г, находившихся на стандартном рационе вивария.

Для лазерного облучения использовали аппарат квантовой терапии «Витязь, АКТ-01». Он обеспечивал непрерывное излучение диода красного спектра с длиной волны $\lambda=650\pm 10$ нм и импульсное инфракрасное излучение диода с длиной волны $\lambda=850\pm 10$ нм, длительностью 40 мкс, частотой следования 12500 Гц, пиковой мощностью 10 мВт. Во время работы аппарата одновременно излучают оба лазерных диода суммарной средней мощностью 10 мВт. Облучение 10 % гомогената печени (объем 3 мл, толщина слоя 0,8 см) осуществляли в течение 6 мин в автоматическом режиме: 3 мин облучение, 10 с – пауза и еще 3 мин облучение. Площадь облучаемого участка $S \approx 1 \text{ см}^2$, расстояние до поверхности объекта 0,5 см. На 6-й мин воздействия повышение температуры в области воздействия не превышала $+0,2^\circ\text{C}$.

Экстракцию фенольных соединений проводили из навески сухого сырья «Брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea L.*)», производства ООО «Калина-бел», и «Бессмертника песчаного цветки (*Helichrysi arenarii flores*)», производства ООО «НПК Биотест», 70 % р-ром этанола при 40°C – 20 мин. Затем из экстракта этанол выпаривали, а объем доводили H_2O до исходного. В полученном водном экстракте определяли концентрацию легко экстрагируемой фракции фенолов. Для исследования выделенные соединения вносили в 10 % гомогенат печени в концентрации 0,05 мкг/мл. Исследования проводили через 15 мин после воздействий. Биохимические показатели определяли известными методами.

При определении активности СОД в гомогенате печени после действия НИЛИ в применяемом режиме показано ее повышение в среднем на 160-184%. Скорость разложения пероксида водорода Кат в этом эксперименте возрастает в меньшей степени – на 22-25%, а концентрация ТБК-активных продуктов повышается на 58-69%. Установленные изменения укладываются в современные представления о том, что НИЛИ красной и инфракрасной области спектра могут стимулировать запуск антиоксидантной системы

организма, так как акцепторами являются различные ферменты антиоксидантной системы, в том числе СОД и Кат, содержащие в активном центре ионы металлов, за счет которых и являются первичными приемниками светового излучения.

Результаты изучения влияния фенольных соединений на показатели антиоксидантной системы в печени крыс свидетельствуют о том, что внесение в гомогенат фракций брусники и бессмертника активируют СОД на 90% и 58,4% соответственно. Скорость реакции, катализируемая Кат, возрастает существенно меньше (на 19,3%) и только при действии фенольных соединений брусники. Исследуемые соединения также влияют на процессы перекисного окисления липидов, о чем говорит изменение интенсивности накопления ТБК-активных продуктов. Фенолы брусники достоверно понижают их концентрацию на 36,8%, а бессмертника – снижают незначительно. Полученные нами результаты указывают на то, что эффективность экстракта брусники существенно выше, чем бессмертника.

При совместном воздействии фенолов брусники или бессмертника с НИЛИ активность СОД достоверно увеличивается на 137% и 107% соответственно по отношению к контролю, а Кат определяется несколько выше контрольных значений, но эти изменения статистически не подтверждаются. При внесении в гомогенат печени экстракта фенолов брусники в сочетании с лазерным облучением концентрация ТБК-активных продуктов понижается на 43,6%, а при действии фенолов бессмертника и облучения она определяется в пределах контрольных значений. Эти результаты позволяют заключить, что в опытах *invitro* фенольные соединения исследуемых растений снимают интенсификацию процессов ПОЛ, вызванную лазерным излучением. В то же время влияние фенолов бессмертника можно считать более значимым, так как их действие нормализуют процессы ПОЛ, вызванные НИЛИ, в то время как существенное ингибирование этих процессов, установленное при внесении фракции брусники в сочетании с лазерным облучением нельзя однозначно считать положительным эффектом.

1. Улащик В.С. Активные формы кислорода, антиоксиданты и действие лечебных физических факторов. // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры.–2013.– № 1.–С. 60-70.
2. Vujor O.C. et al. Phenolic compounds and antioxidant activity of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) leaf, stem and fruit at different harvest periods. // Food Chemistry. 2018. V. 252.P. 356-365.

СВЕРХИЗЛУЧЕНИЕ НА ПЕРЕХОДАХ В ОСНОВНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ СОСТОЯНИЕ АТОМОВ, ИОНОВ И МОЛЕКУЛ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ И ГАЗОРАЗРЯДНОЙ НАКАЧКЕ

^{1,2}В.Е. Прокопьев, ¹В.Г. Соколов, ²А.Н. Солдатов, ^{1,2} Г.Г. Матвиенко,

¹В.К. Ошлаков, ²А.В. Васильева, ¹А.Н. Иглакова, ²Л.Н. Чаусова

(¹Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН, Томск,

Россия, prokop@ogl.hcei.tsc.ru, ²Томский государственный университет, Томск,

В работе будут рассмотрены принципы и механизмы создания инверсии населенности и генерации излучения (в том числе и сверхизлучения) на переходах атомов, ионов и молекул при оптической и газоразрядной накачке.

Ключевые слова: инверсия населенности, сверхизлучение, оптическая и газоразрядная накачка

The paper will consider the principles and mechanisms for creating population inversion and generation of radiation (including superradiance) at the transitions of atoms, ions and molecules during optical and gas-discharge pumping.

Keywords: population inversion, superradiance, optical and gasdischarge pumping

Инверсия населенности и генерация (сверхизлучение) на переходах в основное электронное состояние квантовых частиц представляет интерес как теоретический, так и практический интерес, например, в связи с определением сверхмалых количеств веществ или созданием дистанционных источников когерентного лазерного излучения.

В работе будут рассмотрены принципы и механизмы создания инверсии населенности и генерации излучения (в том числе и сверхизлучения) на переходах атомов, ионов и молекул при оптической и газоразрядной накачке.

Усиленное вынужденное излучение на переходах в основное электронное состояние различных щелочных, щелочноземельных, редкоземельных и т. д. атомов при оптической накачке, была реализована почти сразу после создания газовых лазеров. Возникновения инверсии населенности (ИН) и генерации на резонансных переходах атомов металлов и «частично запрещённых» линиях атомов галогенов (йод) в основное состояние можно разделить на две группы.

В первой группе для создания инверсии используется фотодиссоциация органических галогенидов и галогенидов металлов оптическим, преимущественно-УФ, излучением. Лазеры такого типа называют фотодиссоциационными лазерами (ФДЛ) и была впервые предложена в работе С.Г. Раутиана и И. И. Собельмана в 1961 году [1].

Вторая группа представлена работами, в которых используется столкновительное перераспределение населенности между компонентами $np^2P_{1/2}$ и $np^2P_{3/2}$ тонкой структуры резонансных уровней щелочных металлов (ЩМ). Впервые о вынужденном резонансном излучении на D1 – переходах калия и натрия сообщалось в работе [2]. Авторы этой работы показали, что механизм создания инверсии на D1 – линиях в парах ЩМ, подобен механизму создания инверсии в рубиновом лазере по трёхуровневой схеме. Принципиальным моментом для этих механизмов создания ИН является быстрое оптическое заселение верхнего и опустошение нижнего (оно же и основное) рабочих состояний квантовой частицы. В случае ФДЛ основное рабочее состояние может быть практически пустым.

Впервые генерация на переходах иона стронция (Sr) в основное электронное состояние $5s^2S_{1/2}$ с возбужденных уровней $5p^2P_{3/2}$ и $5p^2P_{1/2}$ на резонансных линиях 407,8 нм ($5p^2P_{1/2} - 5s^2S_{1/2}$) и 421,6 нм ($5p^2P_{1/2} - 5s^2S_{1/2}$)

соответственно была получена позднее [3] в 1978 г. после создания мощного пикосекундного (10^{-12} сек) неодимового лазера. Спустя два года после этого в 1980 г., на аналогичных переходах иона бария (Ba), была получена генерация при накачке паров Ba излучением эксимерного лазера с наносекундной длительностью излучения [4].

В 2003 г. была обнаружена генерация на переходах иона молекулярного азота $V^2\Sigma^+ - X^2\Sigma_g^+$ излучающего на длинах волн 391,4 нм и 427,8 нм в направлении вперед, при накачке коротким и интенсивным фемтосекундным (фс) инфракрасным лазерным импульсом на длинах волн в ближней (800 нм), а затем и средней ИК области $\lambda = 1.2 \div 2.9 \mu\text{m}$ [5]. Следует отметить, что свехизлучение на указанных выше резонансных линиях были впервые получены при возбуждении смеси молекулярного азота и гелия высоковольтным газоразрядным наносекундным импульсом в 1974 г. [6].

Отличительным признаком указанных выше линий генерации при всех видах возбуждения, и в том числе, в плазме лазерного филамента, являются большие коэффициенты усиления и поэтому они могут генерировать в режиме свехизлучения при длине активной среды порядка единиц сантиметров без применения резонаторов и большом удалении от источника накачки.

1. Раутиан С.Г., Собельман И.И. // ЖЭТФ.1961. Т. 41.С. 456.
2. Атутов С.Н., Плеханов А.И., Шалагин А.М.//Опт. и спектр.–1984.–Т. 56.–С.134.
3. Green W.R., Falcone R.W. //Inversion of the resonance line of Sr+ produced by optically pumping Sr atoms. //Optics letters.–1978.–V.2, №5.–P.115-116.
4. Климкин В.М., Николаев В.Н., Соковиков В.Г., Щеглов В.Б. Генерация в основное и метастабильные состояния Ba+ при двухфотонной ионизации паров Ba излучением XeCl*-лазера.//Письма в ЖЭТФ.– 1980.–Т. 34.–С. 111-114.
5. Luo Q., Liu W., Chin S.L. //Appl. Phys. B. 2003.V. 76, P. 337–340.
6. Ищенко В.Н., Лисицын В.Н., Ражев А.М., Старинский В.Н. Свехизлучение на 2^+ и 1^- полосах азота в разряде при давлении выше 10 атм. // Письма в ЖЭТФ.– 1974.–Т. 19. вып. 7.–С. 429-433.

КОНФИГУРАЦИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ЛАЗЕРНОЙ СВЯЗИ, НАВИГАЦИИ И ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Д.В. Худяков, А.А. Семиренченков

(Государственное бюджетное учреждение науки, Федеральный исследовательский центр "Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» Центр физического приборостроения, 108840, Москва, Троицк, Калужское шоссе,

Рассматриваются конфигурации и конструктивные особенности импульсных волоконных лазерных источников с двумя типами задающих генераторов на основе полупроводниковых лазеров и лазеров с синхронизованными модами для использования в системах навигации, связи и зондирования атмосферы.

Ключевые слова: импульсные волоконные лазеры, пикосекундные импульсы, наносекундные импульсы, волоконные усилители.

The configurations and design features of pulsed fiber laser sources with two types of master oscillators based on semiconductor lasers and mode-locked lasers for use in navigation, communication, and atmospheric sounding systems are considered.

Keywords: pulsed fiber lasers, picosecond pulses, nanosecond pulses, fiber amplifiers.

Широкое использование волоконных лазерных источников в космических дальномерах и лидарах, а также в терминалах высокоскоростной космической лазерной связи определяется простотой и надежностью волоконных лазеров, их устойчивостью к внешним воздействиям и способностью работать в жестких условиях вибрационных перегрузок и температурных перепадов без необходимости регулярной настройки и обслуживания таких устройств. В качестве таких волоконных лазеров, как правило, используются импульсные задающие генераторы и волоконные усилители, входящие в линейную схему мастер-осциллятор-усилитель мощности с длительностью импульса от нескольких пикосекунд до нескольких наносекунд и с частотой повторения импульсов от нескольких килогерц до десятков гигагерц. Длина волны излучения таких источников определяется наиболее эффективными активными средами для преобразования излучения накачки в сигнальное излучение на длинах волн вблизи 1 мкм для ионов иттербия и 1.5 мкм для ионов эрбия в качестве активных сред. В докладе рассматриваются схемы и конфигурации волоконного усилителя мощности с коэффициентом усиления до 40 дБ [1]. Дается сравнительный анализ и направления использования в качестве задающего генератора двух типов импульсных лазеров. В первом случае используется полупроводниковый импульсный лазерный диод. Во втором случае рассматривается возможность использования импульсного волоконного лазера с синхронизованными модами [2].

В заключении делается вывод о перспективности использования лазера с синхронизованными модами для генерации импульсов с высокой частотой повторения импульсов до нескольких ГГц и выше для использования в системах оптической связи и навигации.

1. Dvoyrin V.V., Klimentov D., Klepsvik J.O., Mazaeva I.V., Sorokina I.T. Multi-kilowatt peak power nanosecond Er-doped fiber laser // IEEE Photonics Technology Letters. 2016. V.28, N 23, pp. 2772 – 2775
2. Martinez A., Yamashita S. 10 GHz fundamental mode fiber laser using a graphene saturable absorber // Applied Physics Letters. 2012, V.101, pp. 041118

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СБРОСОВ ТЕХНОГЕННОГО И АНТРОПОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В.П. Усольцев

(Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Ижевск, vpusoltcev@mail.ru)

В статье рассматривается способ контроля аварийных сбросов техногенного и антропогенного происхождения в системах сточных вод промышленных предприятий в пределах урбанизированных территорий. Рассмотрена модель вероятности обнаружения аварийных загрязнений в промышленных стоках. Приведена структурная схема установки интерполяционного контроля загрязненности сточных вод с применением оптико-электронного измерения оптической плотности среды. В результате повышена достоверность и объективность анализа сбросов сточных вод, что имеет особое значение в пределах урбанизированных территорий. Приведены примеры расчета вероятности обнаружения загрязнения на объекте с учетом вероятности возникновения нештатных ситуаций.

Ключевые слова: аварийный сброс, вероятность обнаружения загрязнения, контроль оптической плотности; сточные воды.

The article discusses the method of monitoring emergency discharges of technogenic and anthropogenic origin in wastewater systems of industrial enterprises within urbanized territories. The model of probability of detection of emergency contaminants in industrial effluents is considered. The structural diagram of the plant for interpolation monitoring of wastewater contamination using optoelectronic measurement of the optical density of the medium is given. As a result, the reliability and objectivity of the analysis of wastewater discharges has been increased, which is of particular importance within urbanized territories. Examples of calculation of probability of contamination detection at the facility taking into account probability of occurrence of abnormal situations are given.

Keywords: emergency discharge, probability of contamination detection, optical density control; wastewater.

Активизация процесса концентрации населения, расположения фабрик и заводов в городах усиливает комплексное действие промышленного производства, транспорта, строений и коммуникаций на окружающую среду. С развитием технического прогресса появилось огромное количество техногенных и антропогенных источников опасности, вследствие чего вероятность, аварий и катастроф возрастает многократно. В результате внезапного выхода из строя деталей, механизмов, машин и агрегатов возникают производственные аварии, которые могут сопровождаться серьезными нарушениями производственного процесса, взрывами, катастрофическими затоплениями, образованием очагов пожаров, радиоактивным, химическим заражением местности, увечьем и гибелью людей. Оценка степени риска поражения людей и нанесения ущерба при авариях на техногенных и антропогенных источниках опасности связана с задачей прогнозирования и своевременного устранения возможных неблагоприятных последствий, реальной оценки остаточного ресурса функционирующих сооружений, контроля, анализа, оперативной оценки

состояния водной среды и ее антропогенных изменений. В соответствии с действующими ГОСТ 12.1.004-91 и ГОСТ Р 12.3.047-98 вероятность возникновения нештатных ситуаций на любом участке (объекте) производственного процесса в течение года не должна превышать $10^{-6} \cdot \text{год}^{-1}$ [1].

В работе использован оптико-электронный способ контроля движения загрязняющих веществ в жидкой среде [2]. Для разработки алгоритма работы системы на основе вероятности возникновения нештатных ситуаций за основу был взят метод стохастической интерполяции, используемый как средство решения задач распознавания, идентификации, обучения и адаптации.

Проведенные исследования показали, что при авариях для повышения достоверности контроля с помощью разработанных теоретических и методических основ перспективно использование эффективных систем быстрого прогнозирования на основании априорной информации о появлении аварийных загрязнений и математической обработки динамики изменений результатов контроля.

- 1 Габричидзе Т. Г. Основы комплексной системы безопасности критически важных (потенциально опасных) объектов муниципального и регионального уровней: монография. – Самара: Изд-во Самар. НЦ РАН, 2011. – 391 с.
- 2 Усольцев В.П. Оптикоэлектронный контроль аварийных сбросов сточных вод опасных промышленных объектов // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения: Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции, 11-13 декабря 2019.– Саратов: ООО «Амирит», 2019. Часть 1.–С.102-106.

ЛАЗЕРНАЯ АБЛЯЦИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ БИОМАТЕРИАЛОВ

А.В. Усольцева

(Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова,
Ижевск, ajjksa_oo@mail.ru)

Проведены исследования по выбору технологических режимов работы лазерного оборудования для повышения качества обрабатываемой поверхности комбинированных биоматериалов различного происхождения. Отличительной особенностью является изменение режимов и определение микронеровностей поверхностей при непосредственном контакте материалов разной природы на примере соединения кости и кожи. Проведена статистическая обработка результатов, рассчитаны дисперсия, коэффициент корреляции, *t*-критерия Стьюдента.

Ключевые слова: биологический материал, лазерная абляция, лазерное оборудование, рельеф поверхности.

Studies were carried out on the selection of technological modes of operation of laser equipment to improve the quality of the treated surface of combined biomaterials of various origins. A distinctive feature is the change in modes and determination of micronutrients of surfaces during direct contact of materials of different nature using the

example of bone and skin connection. Statistical processing of the results was performed, variance, correlation coefficient, Student's t-test were calculated.

Keywords: biological material, laser ablation, laser equipment, surface relief.

Уникальные физические свойства лазерного излучения обусловили широкое применение лазеров в медицине и биологии. Рост продаж медицинских лазеров ежегодно увеличивается, особенно из-за роста спроса на лазеры в результате появления новых быстро развивающихся рынков в Китае и Индии. Применение лазеров в медицине, лазерная диагностика, лазерная терапия, лазерная хирургия, принципиально отличается от других многочисленных областей применения. Лазерные медицинские технологии отличаются гуманистической направленностью, многоплановостью, комплексностью, разнообразием. Состояние поверхности при лазерной абляции определяют основные характеристики лазерного воздействия, от которых зависит эффективность восстановления и внешний вид полостей, разрезов, отверстий и т.д. Наличие различных включений, пустот на поверхности биоматериала, включению материалов разной природы приводит к кардинальному улучшению биосовместимости, ускорению адаптации организма к инородному телу, позволяет значительно снизить вероятность его отторжения, позволяет предотвратить воспалительные процессы [1].

В работе на основании физических характеристик и химического строения выбраны режимы лазерного воздействия и определена высота неровностей профиля, снятая в 10 точках и среднее арифметическое значение отклонения профиля поверхности, состоящей из соединения коже и кости после лазерной абляции. Для проведения исследований использована лазерная установка на углекислом газе *TrotecSpeedy*. Анализ изменений состояния поверхностей проводился при изменении мощности лазерного излучения от 2 до 12 Вт, скорости движения лазерного луча от 10 до 180 см/сек., разрешающей способности от 100 до 1000 линий на дюйм, частоте импульсов излучения от 500 до 1000 Гц, диаметре сфокусированного лазерного луча на материале от 0,05 до 1,0 мм, угла падения лазерного луча от 0° до 45° , комбинации этих режимов.

По результатам статистической обработки результатов (расчете дисперсии, коэффициента корреляции, *t*-критерия Стьюдента) даны рекомендации по заданию режимов работы установки, их переключению, обеспечивающие заданное состояние поверхности при лазерной абляции биоматериалов. Таким образом, лазерные технологические процессы позволяют эффективно решать перспективные медико-биологические задачи. Как заверяют авторитетные ученые «Если квантовая физика определила технический прогресс человечества в XX веке, то квантовая медицина определит прогресс здравоохранения в XXI веке» [2].

1 Усольцева А. В., Алексеев В. А. Исследование режимов лазерной обработки комбинированных материалов // Материалы 13-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов Новые направления

- развития приборостроения (Минск, 15-17 апреля 2020 г.).– 2020.-С. 37-38.
- 2 Алексеев В.А., Усольцева А.В, Усольцев В.П., Юран С.И., Перминов А.С. Фотоника: история, перспективы: учеб. пособие для вузов.– Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2018. 92 с.

СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ С ЛАЗЕРНОЙ ПОДСВЕТКОЙ

В.А. Алексеев¹, С.И. Юран², В.П. Усольцев¹

¹Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова,
²Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск,
(yuran-49@yandex.ru)

Представлена автоматизированная система для обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте, например, экологически опасного объекта, типа склада хранения химически опасных или горючих веществ с использованием видеонаблюдения с установкой на видеокамерах лазеров подсветки. Отличительной особенностью системы является то, что камеры и тепловизоры снабжены оптическими интерференционными фильтрами с полосой пропускания, совпадающей с частотой излучения лазеров подсветки, у которых достигается обеспечение ширины пропускания до 0,1 нм. Для повышения надежности работы системы лазеры подсветки выбраны с длинами волн излучения в инфракрасном диапазоне. При возникновении нештатной ситуации, например, ослепляющем воздействии в широком спектре излучения на оптические средства наблюдения, защитные фильтры в значительной степени ослабят это вредное излучение.

Ключевые слова: автоматизированная система, защита объекта, лазер подсветки, оптические фильтры

An automated system is presented to ensure safety in railway transport, for example, an environmentally hazardous facility, such as a warehouse for storing chemically hazardous or combustible substances using video surveillance with the installation of illumination lasers on video cameras. A distinctive feature of the system is that cameras and thermal imagers are equipped with optical interference filters with a bandwidth that coincides with the frequency of illumination lasers, which achieve a transmission width of up to 0.1 nm. To increase the reliability of the system, illumination lasers are selected with wavelengths of radiation in the infrared range. In the event of an emergency situation, for example, a blinding effect in a wide spectrum of radiation on optical surveillance equipment, protective filters will significantly weaken this harmful radiation.

Keywords: automated system, object protection, illumination laser, optical filters

Для обеспечения надежного функционирования многих объектов на железнодорожном транспорте создаются охранные системы различного уровня защиты, позволяющие обеспечить безопасность, в том числе от террористических угроз.

Рассмотрим автоматизированную систему [1], предназначенную для охраны объектов на железнодорожном транспорте, например, экологически опасного объекта, типа склада хранения химически опасных или горючих веществ с использованием видеонаблюдения. Видеокамеры и тепловизоры, попарно установленные вдоль железнодорожных путей, соединены посредством каналов связи с блоком сбора и обработки

видеоинформации, входящем в блок управления. К блоку управления подключены и закрепленные на видеокамерах лазеры подсветки, причем камеры и тепловизоры снабжены оптическими фильтрами с полосой пропускания, совпадающей с частотой излучения лазеров подсветки. Применяемые фильтры должны обеспечивать максимальное пропускание на выделенной длине волны лазера, используемого в системе. Возможно применение интерференционных фильтров, у которых достигается обеспечение ширины пропускания до 0,1 нм. Для уменьшения возможности террористических деяний необходимо лазеры подсветки выбирать с длинами волн излучения в инфракрасном диапазоне.

В штатном режиме работы системы модули видеонаблюдения с помощью видеокамер с лазерной подсветкой и тепловизоров позволяют устойчиво обнаруживать угрозы безопасности в дневное и ночное время в условиях слабого тумана, слабого снега, дождя. При этом блок сбора и обработки видеоинформации обеспечивает выполнение предварительной цифровой фильтрации видеоряда, полученного от модулей видеонаблюдения и тепловизионного видеонаблюдения, а также передачу обработанных данных в блок управления, что в целом снижает вычислительную нагрузку на упомянутый блок, обеспечивая тем самым выполнение им более эффективного и своевременного анализа текущей ситуации на железной дороге.

При возникновении нештатной ситуации, например, ослепляющем воздействии в широком спектре излучения на оптические средства наблюдения, защитные фильтры в значительной степени ослабят это вредное излучение, так как они пропускают только очень узкий диапазон частот, совпадающий с частотой излучения лазеров подсветки. В результате система не выйдет из строя, что позволяет повысить надежность работы системы при охране железной дороги.

1 Патент 2641881 РФ. МПК G08B 13/12. Система обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте. / А.В.Болтовский, В.П.Усольцев, С.И. Юран
Опубл. 22.01.2018. Бюл. № 3.

ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФ С УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ НАСТРОЙКИ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ

В.А. Алексеев¹, А.А. Штин¹, С.И. Юран², В.П. Усольцев¹

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

²Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск,

yuran-49@yandex.ru)

Представлен фотоплетизмограф, в котором для повышения отношения сигнал/шум с оптоэлектрического датчика, предусмотрено устройство, позволяющее дискретно изменять положение источника излучения относительно поверхности биоткани, а также использован фотоприемник с дискретными элементами, расположенными на различном расстоянии от источника излучения. При этом с энкодера, конструктивно объединенного с элементом дискретного изменения углового положения источника

излучения, снимаются импульсы, с помощью которых автоматически последовательно переключаются дискретные элементы фотоприемника. В результате такой настройки упрощается процедура выбора параметров оптоэлектронного датчика для конкретного участка биологической ткани, что повышает достоверность регистрируемых параметров пульсовой кривой.

Ключевые слова: оптоэлектронный датчик, фотоплетизмограф, энкодер

A photoplethysmograph is presented in which, in order to increase the signal-to-noise ratio from an optoelectric sensor, a device is provided that allows discretely changing the position of the radiation source relative to the surface of the biological tissue, and a photodetector with discrete elements located at different distances from the radiation source is also used. At the same time, pulses are removed from the encoder, structurally combined with the element of discrete change in the angular position of the radiation source, with the help of which the discrete elements of the receiver are automatically switched sequentially. As a result of this adjustment, the procedure for selecting optoelectronic sensor parameters for a specific area of biological tissue is simplified, which increases the reliability of the recorded parameters of the pulse curve.

Keywords: optoelectronicsensor, photoplethysmograph, encoder

При регистрации фотоплетизмограмм с биологической ткани для повышения отношения сигнал/шум с оптоэлектрического датчика необходимо тщательно выбирать угловое положение источника излучения относительно фотоприемника и расстояние между источником излучения и фотоприемником, что связано с различной глубиной залегания кровеносных сосудов (артерий и артериол), за счет которых и формируется пульсовая волна. Экспериментальное определение указанных параметров датчика для получения приемлемого выходного сигнала путем перемещения источника и приемника излучения друг относительно друга для различных типов биологической ткани трудоемко и занимает много времени.

В работе предлагается устройство, позволяющее упростить выбор конструктивных параметров оптоэлектронного датчика [1].

Рассмотрим работу устройства. Оптоэлектронный датчик устанавливается на заданном участке биологической ткани. Источник оптического излучения воздействует на биологическую ткань. Отраженный от биоткани оптический сигнал, модулированный в соответствии с работой системы кровообращения, поступает на фотоприемник и преобразуется в электрический сигнал. Требуемые параметры этого сигнала выделяются и регистрируются в блоке управления.

При настройке устройства с помощью элемента дискретного изменения углового положения источника излучения относительно фотоприемника угловое положение источника излучения изменяется до получения максимальной амплитуды пульсовой кривой. При этом с энкодера, конструктивно объединенного с элементом дискретного изменения углового положения источника излучения, снимаются импульсы, которые поступают в блок управления и обработки. С помощью этих импульсов автоматически последовательно переключаются дискретные элементы фотоприемника.

Таким образом, конкретному угловому положению источника излучения соответствует строго определенный дискретный элемент фотоприемника,

расположенный на определенном расстоянии от источника излучения. В результате такой настройки упрощается процедура выбора параметров оптоэлектронного датчика для конкретного участка биологической ткани. Использование устройства на практике позволяет разрабатывать и изготавливать оптоэлектронные датчики с учетом индивидуальных свойств ткани конкретного биообъекта, что повышает достоверность регистрируемых параметров пульсовой кривой. При этом фотоплетизмографы могут комплектоваться типовыми оптоэлектронными датчиками, предназначенными для конкретных участков биоткани пациентов (палец, лоб и др.).

- 1 Патент № 100713 РФ на полезную модель, МПК7: А61В 5/0295. Устройство для настройки оптоэлектронных датчиков. / В.А.Алексеев, А.А.Штин, С.И. Юран и др. Опубл. 27.12.2010. Бюл. №36.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОГО ВЫПРЯМЛЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ $ZnGeP_2$ РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЫ

В.И. Воеводин

(Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск,
VoevodinVova2013@yandex.ru)

Рассмотрены условия синхронизма для процесса генерации терагерцового излучения при оптическом выпрямлении фемтосекундных лазерных импульсов в кристаллах $ZnGeP_2$. Проведено экспериментальное сравнение эффективности генерации терагерцового излучения в зависимости от углов падения фемтосекундных лазерных импульсов на пластины $ZnGeP_2$ различной толщины с осью c , ориентированной перпендикулярно рабочим поверхностям.

Ключевые слова: Оптическое выпрямление, терагерцовое излучение, монокристаллы $ZnGeP_2$

Phase-matching conditions for the terahertz generation by optical rectification of femtosecond laser pulses in $ZnGeP_2$ crystals are considered. The angular dependence of the efficiency of terahertz generation via optical rectification of laser pulses in $ZnGeP_2$ wafers with a working surface orientation (001) and different thicknesses is obtained.

Keywords: Optical rectification, terahertz radiation, $ZnGeP_2$ single crystals

Одним из способов генерации терагерцового излучения при помощи методов нелинейной оптики является оптическое выпрямление. В настоящее время наиболее распространенными материалами для генерации терагерцового излучения при помощи оптического выпрямления являются бинарные полупроводники (например, $ZnTe$, GaP или $GaSe$ [1]), а также тройные оксидные соединения (например, $LiNbO_3$ [2]). Тем не менее, зачастую в последнее время все более востребованными для приложений нелинейной ИК- и терагерцовой оптики видятся тройные полупроводниковые соединения со структурой халькопирита (например, $ZnGeP_2$, $CdSiP_2$ или

AgGaS₂), что обуславливается большой величиной нелинейной восприимчивости, высоким порогом оптического пробоя, а также широким диапазоном прозрачности, свойственным кристаллам данного класса [3]. Кроме того, такие параметры как длина когерентности, порог оптического пробоя и добротность, к примеру, у кристаллов ZnGeP₂ оказываются подходящими для эффективной генерации терагерцового излучения методом оптического выпрямления [4].

Методика расчета и экспериментальные данные. Кристаллы ZnGeP₂ являются одноосными двулучепреломляющими кристаллами. Получение образцов ZnGeP₂, используемых в настоящем исследовании, осуществлялось в соответствии с методикой, изложенной в [5, 6]. Для расчета условий синхронизма пригодны уравнения Сельмейера для обыкновенной и необыкновенной волн, полученные в работе [7] для ИК диапазона длин волн. Стоит отметить, что в полупроводниковом соединении ZnGeP₂ при переходе из ИК- в терагерцовую область спектра наблюдается смена знака двулучепреломления и, соответственно, «трансформация» оптически положительного кристалла в оптически отрицательный [6], наблюдаемая и на основании теоретических аппроксимаций, полученных авторами работы [7]. Тем не менее, экспериментально измеренные дисперсии показателей преломления обыкновенной и необыкновенной волн лежат в диапазоне (3.38-3.46), а разница между соответствующими значениями для обыкновенного и необыкновенного составляет ~ (0.2-0.4) [8]. На основании же теоретических данных получают порядки величин (3.745-3.756) для обыкновенной волны и (3.515-3.519) для необыкновенной волны, что является достаточно плохой аппроксимацией, но, учитывая то, что тенденции смены знака двулучепреломления оказываются учтены, данные теоретические расчеты могут быть применены в настоящем исследовании.

Так как в полупроводниковых материалах наблюдается дисперсия показателя преломления, то скорости возбуждающей лазерной волны (1) и волны переизлученной (2) оказываются различными, а между волнами возникает фазовый сдвиг $\Delta\phi = (k_2 - k_1) \cdot z$, где $k_{1,2}$ – волновые векторы соответствующих волн, а z – пройденный ими путь. Длиной когерентности L_C называется набег фаз $\Delta\phi = \pi$. Соответственно, для наблюдения интерференционных максимумов взаимодействующих волн необходимо выполнение условия: $z \ll L_C$, либо, другими словами необходимо выполнение условия:

$$|\Delta k| \cdot d \leq \pi \quad (1)$$

при заданных центральной длине волны лазерного импульса λ и угле θ , лежащем вне кристалла и представляющем собой угол между направлением распространения лазерного импульса и оптической осью кристалла, длина которого составляет d .

Наличие компонент лазерного импульса с одинаковой поляризацией позволяет ввести групповой показатель преломления оптического импульса, подобно тому, как это делается для кристаллов с кубической структурой решетки, т.е. недвулучепреломляющих (таких как ZnTe) [9] и представить волновую расстройку в следующем виде:

$$\Delta k(\nu, \lambda, \theta) = [n_{gr}(\lambda, \theta) - n_{THz}(\nu, \theta)] \cdot 2\pi\nu/c, \quad (2)$$

где ν – частота, соответствующая терагерцовому диапазону, а n_{gr} – групповой показатель преломления. В случае, если поляризации взаимодействующих компонент лазерного излучения различаются, можно ввести функцию n_{vis} , представляющую собой аналог группового показателя преломления оптического импульса:

$$n_{vis} = (n(\nu_{opt}) \cdot \nu_{opt} - n(\nu_{opt} - \nu) \cdot (\nu_{opt} - \nu))/\nu. \quad (3)$$

Экспериментальная схема для генерации терагерцовых импульсов, используемая в настоящем исследовании, представляла собой стандартную схему THz-TDS спектрометра. В качестве источников лазерных импульсов применялся титан-сапфировый лазер Mai Tai SP (Spectra-Physics, США; $\lambda=780-820$ нм, $\tau \sim 25-100$ фс) (Рис.1).

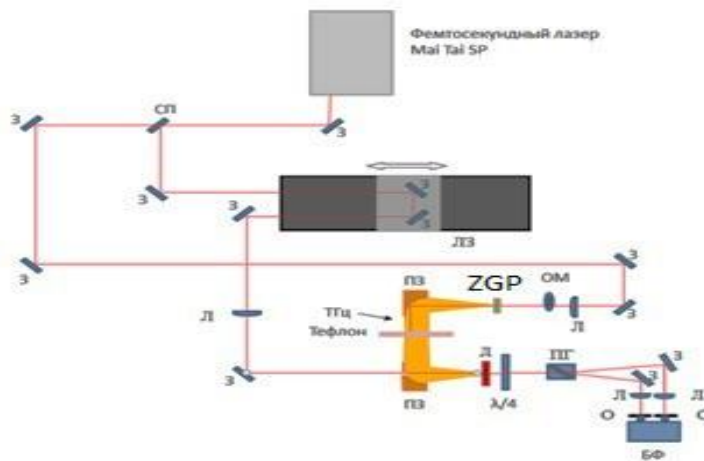
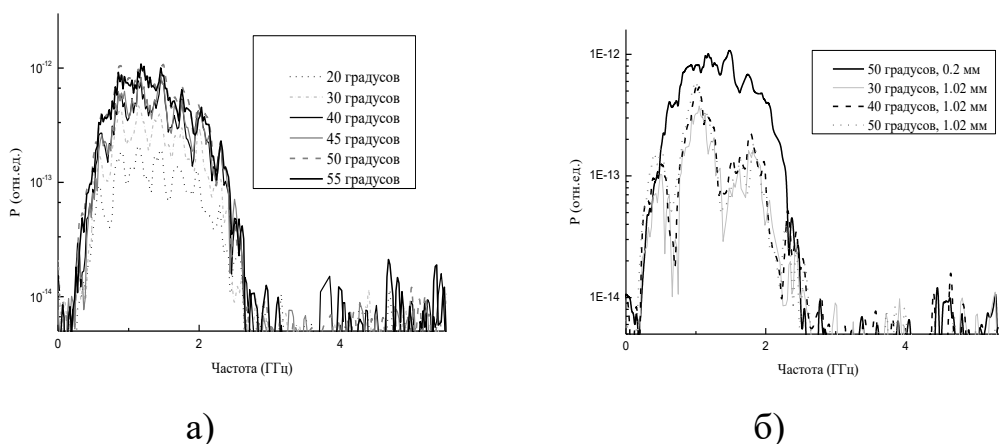


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки : ЛЗ – линия задержки, З – зеркало, Л – линза, ПЗ – параболическое зеркало, ПГ – призма Глана, О – ослабитель, $\lambda/4$ – четвертьволновая пластинка, БФ – балансные фотодиоды, ZGP – образец кристалла $ZnGeP_2$, Д – детектор ($ZnTe$), ОМ – оптический модулятор, СП – светоделительная пластинка

На Рис. 2 представлены спектры генерации терагерцового излучения методом оптического выпрямления в кристаллах $ZnGeP_2$ в зависимости как от внешних углов, так и от толщины полупроводниковых кристаллов.



а)

б)

Рисунок 2 – Спектры терагерцовых импульсов, полученных путем оптического выпрямления в кристалле $ZnGeP_2$ в зависимости от внешнего угла θ (а); сравнение спектров генерации для образцов $ZnGeP_2$ разной толщины (б)

Видно, что применение кристаллов, толщина которых более 1 мм оказывается менее эффективно.

Заключение. В результате выполненной работы проведена генерация терагерцового излучения при помощи метода оптического выпрямления. Показано, что оптимальный внешний угол, лежащий между лазерным лучом и оптической осью кристалла, составляет порядка 50° . Также выполнено сравнение эффективности генерации терагерцового излучения для кристаллов различной толщины. Показано, что при использованных лазерных импульсах ($\lambda=780$ нм, $\tau\sim 100$ фс) эффективность генерации снижается при увеличении толщины образца ZnGeP_2 более 500 мкм. Расчеты углов синхронизма для кристалла ZnGeP_2 будут представлены в рамках доклада.

1. Vidal S., Degert J., Tondusson M., Freysz E., and Oberlé J. Optimized terahertz generation via optical rectification in ZnTe crystals. // J. Opt. Soc. Am. 2014. V.B31. P. 149-153.
2. Hoffmann M. C., Hebling K. Yeh, J., Nelson K. A. Efficient terahertz generation by optical rectification at 1035 nm. // Opt. Express. 2007. V.15, P. 11706.
3. Piyathilaka H. P., Sooriyagoda R., Dewasurendra V., Johnson M. B., Zawilski K., Schunemann P., Bristow A. Terahertz generation by optical rectification in chalcopyrite crystals ZnGeP_2 , CdGeP_2 and CdSiP_2 .// Optics Express. 2019. V. 27. N. 12. P. 16958-16965.
4. Vodopyanov K. Solid-state mid-infrared laser sources. // Topics in Applied Physics. 2003. Vol. 89. P. 141-178.
5. Verozubova G.A., Gribenyukov A.I., Korotkova V.V., Ruzaikin M.P. ZnGeP_2 synthesis and growth from melt. // Mat. Sci. Eng. B. 1997. V. 48. P. 191-197.
6. Gribenyukov A.I., Voevodin V.I. Influence of the preparation conditions on optical properties of single crystals ZnGeP_2 in THz range. // J. Phys.: Conf. Ser. 2018. V.1115. P. 052030 (5 pp).
7. Barnes N.P., Murray K.E., Jani M.G., Schunemann P.G. and Pollak T. . ZnGeP_2 parametric amplifier. // J.Opt.Soc.Am. 1998. V. B15. P. 232-238.
8. Voevodin V.I., Yudin N.N., Sarkisov S.Yu. Influence of thermal annealing on terahertz dielectric properties of ZnGeP_2 crystals. // Russian Physics J.2021. V. 64. N. 8. P. 1513-1516.
9. Березная С.А., Коротченко З.В., Рудов Ф.В., Саркисов С.Ю., Сафиуллин Ф.Д., Трухин В.Н. Сравнение условий синхронизма и эффективности генерации терагерцового излучения в кристаллах GaSe и $\text{GaSe}_{0,71}\text{S}_{0,29}$ //Известия ВУЗов. Физика.– 2013.– Т.56. Вып. 9(2).– С. 31-33.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ РАЗРЯД В ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЕ

А.М. Вальшин, А.А.Зайнуллин, А.Р.Инсапов

(Башкирский государственный университет, Уфа, amvals@mail.ru)

Данная работа посвящена исследованию пробоя технической воды высокочастотными электрическими импульсами. Представлены полученные зависимости параметров пробоя жидкости при высокочастотном возбуждении на

разных частотах от расстояния между электродами, время развития предпробойного состояния от амплитуды колебаний и состояния жидкости.

Ключевые слова: электрический разряд в воде, высокочастотный разряд.

This work is devoted to the study of breakdown of industrial water by high-frequency electrical pulses. The obtained dependences of the parameters of the breakdown of the liquid under high-frequency excitation at different frequencies on the distance between the electrodes, the time of development of the pre-breakdown state on the amplitude of the oscillations and the state of the liquid are presented.

Keywords: electric discharge in water, high-frequency discharge.

Для описания процессов развития разряда в жидкостях до сих пор нет единой теории, охватывающей всё многообразие процессов, наблюдаемых экспериментально. Значительное влияние на механизм разряда оказывают такие параметры, как проводимость жидкости, давление в среде, тип и полярность прикладываемого напряжения, длина межэлектродного промежутка, степень неоднородности электрического поля, наличие пузырьков газа и другие факторы. Обширный материал накоплен по импульсным нано и микросекундным разрядам в чистых диэлектрических жидкостях в связи с их использованием в высоковольтном оборудовании. Однако во всех этих работах используются однополярные импульсные воздействия.

Данная работа посвящена исследованию пробоя технической воды высокочастотными электрическими импульсами. Для этих целей нами был разработан и экспериментально собран макет высокочастотного генератора, работающего в импульсно-периодическом режиме с перестраиваемой частотой (1-6) МГц. Параметры генератора: амплитуда импульсов, длительность цуга импульсов, частота следования цуга импульсов, а также частота следования импульсов регулировалась в широких пределах.

Ранее нами было показано кратное уменьшение порога пробоя в газоразрядных лампах при переходе от импульсной накачки к высокочастотной накачке, также существенное уменьшение порога пробоя газоразрядной лампы при охлаждении водой по отношению к воздуху при высокочастотной накачке[1].

При высокочастотной накачке технической воды с целью пробоя нами также обнаружено существенное уменьшение порога пробоя по отношению к импульсной накачке однополярными импульсами. Также было обнаружено существенное увеличение длительности пачки высокочастотных импульсов для возникновения пробоя. При незначительном превышении порога пробоя(10-20%) в газоразрядной лампе длительность пачки высокочастотных импульсов составлял около 100 мкс., а в технической воде эта величина уже составляла более 1.2 мс.

В докладе будут представлены полученные зависимости параметров пробоя технической воды при высокочастотном возбуждении на разных частотах от расстояния между электродами, время развития предпробойного состояния от длительности пачки и амплитуды высокочастотных колебаний и состояния жидкости.

1. Вальшин А.М., Першин С.М., Михеев Г.М. Ограничение кратного снижения порога пробоя коммерческой лампы - вспышки лазера при kHz-накачке. // Краткие сообщения по физике. – 2019. – Т.46. №6. – С. 8-16.

ИЗМЕРЕНИЕ ИМПЕДАНСА ПЛАЗМЫ НЕПОСРЕДСТВЕННО ПОСЛЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПРОБОЯ

А.М. Вальшин

(Башкирский государственный университет, Уфа, amvals@mail.ru)

Проведены экспериментальные измерения импеданса плазмы лампы-вспышки твердотельного лазера в зависимости от тока непосредственно после пробоя лампы. Оценено значение импеданса плазмы (десятки Ом) после пробоя и уменьшение этого значения по мере увеличения тока разряда.

Ключевые слова: импеданс плазмы, высокочастотная накачка, газоразрядная лампа.

Experimental measurements of the plasma impedance of the flash lamp of a solid-state laser depending on the current immediately after the breakdown of the lamp were carried out. The value of the plasma impedance (tens of ohms) after breakdown and the decrease of this value as the discharge current increases are estimated.

Keywords: plasma impedance, high-frequency pumping, gas discharge lamp.

Для диагностики и измерения характеристик плазмы необходимо знать зависимость импеданса плазмы от таких параметров, как значения полного разрядного тока, напряжения на разрядном промежутке (т. е. вольт-амперная характеристика разряда) размера светящихся областей плазмы. Во многих работах ограничиваются значениями средней проводимости и средней электрической мощности в разряде.

Целью данной работы является экспериментальные измерения импеданса плазмы лампы-вспышки твердотельного лазера в зависимости от тока непосредственно после пробоя лампы.

Экспериментальная установка состоит из блока поджига и блока высокочастотной накачки. После поджига лампы к лампе включается высокочастотный генератор. Выход генератора включается в последовательный колебательный контур, состоящий из индуктивности, емкости и лампы. Далее измеряя резонансную частоту контура с лампой и без, а также измеряя резонансную кривую тока от частоты при разных токах в колебательном контуре как с лампой, так и без, мы определяем импеданс плазмы.

Формула Томсона показывает зависимость частоты от индуктивности, емкости и коэффициента затухания. В первых своих работах мы ошибочно оценивали индуктивность плазмы. Оценка величины индуктивности, предполагая, что индуктивность плазмы оценивается как индуктивность провода, с размерами, совпадающими с размерами плазмы внутри импульсной лампы, составляет величину порядка 50 нГн, что существенно меньше индуктивности колебательного контура на два порядка. Согласно расчетам по этой формуле, даже если происходит уширение канала разряда в

лампе на два порядка, это приведет к изменению индуктивности в 1.7раза, что подтверждает о необходимости учитывать коэффициент затухания, а не индуктивность плазмы. Поэтому главным фактором, влияющим на изменение резонансной частоты контура, является изменение коэффициента затухания, который зависит непосредственно от сопротивления плазмы.

Нами оценено значение импеданса плазмы (десятки Ом) после пробоя и уменьшение этого значения по мере увеличения тока разряда.

Результаты, полученные в этой работе, требуют дальнейших экспериментальных исследований и теоретических обоснований полученных результатов, что планируется выполнить авторами в ближайшее время.

ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ПРОБОЙ В ИМПУЛЬСНЫХ ЛАМПАХ

А.М. Вальшин

(Башкирский государственный университет, Уфа, amvals@mail.ru)

Показана перспективность использования высокочастотной накачки твердотельного лазера с ламповой накачкой в импульсно-периодическом режиме. Установлено, что «визуализация» зажигания разряда в основном происходит только в воде, а замена среды охлаждения (воздух, трансформаторное масло, ацетон, этиловый спирт, глицерин) сопровождается только изменением порога зажигания.

Ключевые слова: высокочастотная накачка, высокочастотный пробой

The prospects of using high-frequency pumping of a solid-state laser with tube pumping in a pulse-periodic mode are shown. It is established that the "visualization" of discharge ignition mainly occurs only in water, and the replacement of the cooling medium (air, transformer oil, acetone, ethyl alcohol, glycerin) is accompanied only by a change in the ignition threshold.

Keywords: high-frequency pumping, high-frequency breakdown

Целью данной работы является изучение физики зажигания высокочастотного разряда при вариации частоты накачки и охлаждающей жидкости[1,2]. В эксперименте мы использовали лампы, которые выпускаются для накачки твердотельных лазеров, это лампы ИНП-6/60, ИНП,ДНП-6/90.В качестве генераторов использовались высоковольтные ВЧ генераторы собственной разработки, которые перекрывали диапазон частот от 1 МГц до 6 МГц. При этом для получения высокого напряжения выход ВЧ генератора подключали к резонансному колебательному контуру, в цепь которого лампа-вспышка была включена параллельно.

Нами продемонстрировано, что при повышении амплитуды высокочастотных колебаний происходит неоднородное развитие канала зажигания разряда. При увеличении амплитуды ВЧ колебаний в окрестности одного из электродов появляется достаточно яркое рекомбинационное свечение ионов. Здесь следует отметить, что электроды лампы имеют разную геометрическую форму. Один из них заканчивается заостренным цилиндром небольшого диаметра, а другой – полусферой большего диаметра. По мере увеличения ВЧ напряжения яркое свечение в первую

очередь возникает на заостренном конце электрода и размер этого свечения вдоль лампы растет. При этом большая часть лампы остаётся несветящейся. Затем свечение появляется и на шарообразном электроде, которое также локализовано в области электрода. При этом средняя часть лампы остаётся тёмной, которую в физике тлеющего разряда называют «фарадеевым тёмным пространством». По характеру возникновения и развития видно, что эти свечения эволюционируют независимо друг от друга.

Экспериментально выявлена несимметричность в последовательности зажигания высокочастотного (ВЧ, 1-6 МГц) разряда цилиндрической лампы-вспышки лазера вблизи электродов разной конфигурации при повышении напряжения накачки. Впервые обнаружено «фарадеево тёмное пространство» в середине лампы при ярком рекомбинационном свечении плазмы приэлектродных участков. Протяжённость темного участка монотонно уменьшается при повышении амплитуды ВЧ накачки.

Установлено, что «визуализация» зажигания разряда в основном происходит только в воде, а замена среды охлаждения (воздух, трансформаторное масло, ацетон, этиловый спирт, глицерин) сопровождается только изменением порога зажигания.

1. Вальшин А.М., Першин С.М., Михеев Г.М Ограничение кратного снижения порога пробоя коммерческой лампы - вспышки лазера при кНзнакачке. //Краткие сообщения по физике.–2019.– Т.46.–№ 6.– С. 8-16.
2. Вальшин А.М., Гарнов С.В., Бельков С.А., Першин С.М.Высокочастотное (МГц) зажигание коммерческих ламп – вспышек для твердотельных лазеров. // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.–2022.- Т.502. №1.- С. 67-72.

ИМПУЛЬСНЫЙ БЛОК ПИТАНИЯ С КОМБИНИРОВАННОЙ НАКАЧКОЙ ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА

А.М. Вальшин, А.Р.Валшин, Э.Ш.Ахняпов

(Башкирский государственный университет, Уфа, amvals@mail.ru)

Показано существенное повышение стабильности работы твердотельного лазера на гранате с ламповой накачкой в импульсно-периодическом режиме при комбинированной накачке. Комбинированная накачка позволяет перераспределять энергии импульсной высокочастотной дежурной дуги и емкостной накачки для повышения стабильности и эффективности работы лазера путем увеличения доли энергии высокочастотных колебания по сравнению с энергией емкостной накачки.

Ключевые слова: высокочастотная накачка, твердотельный лазер, ламповая накачка.

A significant increase in the stability of the operation of a solid-state laser on a lamp-pumped grenade in the pulse-periodic mode with combined pumping is shown. Combined pumping makes it possible to redistribute the energy of the pulsed high-frequency duty arc and capacitive pumping to increase the stability and efficiency of the laser by increasing the proportion of the energy of high-frequency oscillations compared with the energy of capacitive pumping.

Keywords: high-frequency pumping, solid-state laser, tube pumping.

Известно, что резонансная диодная накачка твердотельных лазеров позволила создать компактные эффективные генераторы наносекундных импульсов. Однако накачка широко-апертурных выходных каскадов больших лазерных комплексов осуществляется только цилиндрическими лампами-вспышками. Традиционный вид накачки (емкостная накачка) обладает минимальным КПД, хотя является наиболее простым и доступным способом. Минимальный КПД лазера обусловлен помимо линейчатого спектра также широким сплошным спектром излучения ламп накачки.

Нами предлагается использовать метод комбинированной накачки для накачки лазера на гранате с неодимом. На первом этапе комбинированной накачки лампа поджигается высокочастотными колебаниями, образуется канал разряда, далее запускается высокочастотная дежурная дуга в импульсном режиме, длительность и амплитуда пачки импульсов регулируется для выполнения следующих функций: уширения канала разряда лампы и одновременно доводки уровня накачки активного элемента до порогового значения генерации лазера.

Ранее нами было показано увеличение эффективности светоотдачи и изменение эффективного канала разряда в газоразрядных лампах низкого давления при переходе от импульсной накачки к высокочастотной накачке, а также кратное уменьшение порога пробоя лампы накачки [1, 2]. А в работе [3] продемонстрировано появление канала разряда в лампе после любого пробоя в разных точках электрода, даже по основанию электрода, что приводит к нестабильности канала разряда, а значит к нестабильной работе лазера в целом. Включение высокочастотной дежурной дуги позволяет организовать эффективный и стабильный канал разряда, в результате этого стабильность амплитуды колебаний в лампе существенно улучшается.

На втором этапе на лампу подается энергия заряженного конденсатора. В этом случае энергия накачки состоит из энергии высокочастотных колебаний дежурной дуги и энергии заряженного конденсатора. Поэтому появляется возможность распределения энергии накачки между импульсной высокочастотной дежурной дугой и импульсом разряда конденсатора.

В докладе будет представлено работа лазера на гранате с комбинированной накачкой. Также будут представлены полученные зависимости параметров излучения от накачки при разных соотношениях дежурной дуги и емкостной накачки.

1. Вальшин А.М., Тавлыкаев Р.Ф., Михеев Г.М, Першин С.М.. Управление параметрами газоразрядной плазмы низкого давления при высокочастотной накачке. // Инженерная физика.– 2015.– №3.– С. 42-49.
2. Вальшин А.М., Першин С.М., Михеев Г.М Ограничение кратного снижения порога пробоя коммерческой лампы - вспышки лазера при kHz накачке. //Краткие сообщения по физике.–2019.– Т.46. № 6.– С. 8-16.
3. Вальшин А.М., Гарнов С.В., Бельков С.А., Першин С.М.Высокочастотное (МГц) зажигание коммерческих ламп – вспышек для твердотельных лазеров. // Доклады Российской академии наук. Физика, технические

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА ПОЛИРОВКИ ПОДЛОЖЕК ПРЕЦИЗИОННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ЗЕРКАЛ

^{1,2}В.В. Азарова, ¹И.С. Мануйлович, ¹Г.М. Сагитов, ^{1,2}О.Е. Сидорюк
(¹АО «НИИ «Полус» им.М.Ф.Стедьмаха», 117342, Россия, г. Москва, ул. Введенского, д.3, ²Физико-технологический институт РТУ МИРЭА, 119454, Россия,
г. Москва, пр. Вернадского, д. 78, azarova_v_v@mail.ru,
ivan.manuylovich@gmail.com, georgmc@yandex.ru, o.e.sidoryuk@gmail.com)

Качество полировки поверхности подложек является важным фактором обеспечения высоких характеристик прецизионных лазерных зеркал. Этим обусловлен постоянный интерес к вопросам совершенствования технологии их производства, оптимизации всех режимов обработки оптических деталей. В частности, должно внимание уделяется вопросам анализа кинематических параметров процесса полировки, поскольку скорость скольжения планшайбы по полировальнику U является ключевым параметром, определяющим скорость съема материала V согласно классическому соотношению Престона $V = k \cdot P \cdot U$ или его модифицированному аналогу $V = k \cdot P^a \cdot U^b$, где P – давление, k – коэффициент пропорциональности, a и b – эмпирические показатели [1]. В настоящей работе решена задача определения поля относительных скоростей при планетарной схеме движения планшайбы, характерной для большинства современных шлифовально-полировальных станков. Произведен расчет зависимостей распределений $U(x, y)$ от кинематических параметров, определяющих типичные технологические процессы.

Математическим моделированием определены средние скорости полировки в рамках концепции Престона при значениях степенного показателя $b = 1$ и $b = 1/2$.

1. Lee H., Lee D., Jeong H.. Mechanical Aspects of the Chemical Mechanical Polishing Process. // International J. precision engineering and manufacturing. 2016. V. 17. No. 4. P.525-536.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ДВУХ КВАНТОВЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ ЧЕРЕЗ МНОГОСЕРДЦЕВИДНОЕ ВОЛОКНО

^{1*} А.И. Зайцев, ¹ К.Ю. Ерохин, ¹ А.Л. Зубилевич, ¹ М.И. Шульга

(¹Московский Технический Университет Связи и Информатики, 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная 8а, *a.zaitsev96@yandex.ru)

Рассмотрен метод защиты информации, передаваемой в оптических каналах связи, на основе технологии квантового распределения ключей. Получены данные в условиях, когда был задействован один и два квантовых канала одновременно. Проанализированы перспективы реализации квантовых сетей с использованием многосердцевидных волокон.

Ключевые слова: защиты информации, оптических каналах связи, квантовых сетей с использованием многосердцевидных волокон

A method of protecting information transmitted in optical communication channels based on quantum key distribution technology is considered. The data were obtained under conditions when one and two quantum channels were involved simultaneously. The prospects for the implementation of quantum networks using multicore fibers are analyzed.

Keywords: information protection, optical communication channels, quantum networks using multicore fibers

Сегодня, наиболее эффективный метод защиты информации, передаваемой в оптических каналах связи, является технология квантового распределения ключей, для реализации которой требуется два канала связи [1, 2]. Использование отдельных каналов связи для передачи информации и квантового ключа значительно повышают стоимость и усложняют построение квантовых сетей, поэтому целесообразно использовать многосердцевидное волокно [3]. В докладе представлены результаты экспериментов по передаче квантового ключа между двумя установками, подсоединенными через многосердцевидное волокно длиной 3 м, изготовленное в НЦВО РАН [4]. Получены данные о QBER в условиях, когда был задействован один и два квантовых канала одновременно. С помощью методик [2] проанализированы перспективы реализации квантовых сетей с использованием многосердцевидных волокон.

1. Быковский А.Ю., Компанец И.Н. // Квантовая электроника. – 2018. – Т.48. №9. – С.777-801.
2. Миронов Ю.Б., Казанцев С.Ю., Шаховой Р.А. и др. Анализ перспектив развития источников одиночных фотонов в системах квантового распределения ключей. // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2021. – Т.13. №6. – С. 22-33.
3. Зайцев А.И., Зубилевич А.Л. Перспективы развития технологии пространственного уплотнения. // Технологии Информационного Общества. – 2021. – С. 32-34.
4. Егорова О.Н. и др. Многосердцевидное оптическое волокно и волоконно-оптическая линия задержки на его основе. // Квантовая электроника. – 2016. – Т.46. №12. – С. 1134-1138.

КВАНТОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕЙ В ВОЛОКНАХ

С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ УПЛОТНЕНИЕМ КАНАЛОВ

* *А.И. Зайцев¹, О.Н.Егорова², К.Ю.Ерохин¹, С.Г. Журавлев², С.Ю.Казанцев¹,
О.В.Колесников¹, Ю.Б. Миронов¹, С.Л. Семенов², М.И. Шульга¹*

(¹Московский Технический Университет Связи и Информатики, 111014, Россия, Москва, ул. Авиамоторная 8а, a.zaitcev96@yandex.ru, ¹Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова, д. 38)

Многосердцевинные оптические волокна перспективны для организации высокоскоростных каналов связи, защищенных по технологии квантового распределения ключей. Получены экспериментальные результаты по одновременной реализации через одно волокно трех квантовых каналов связи.

Ключевые слова: многосердцевинное оптическое волокно, квантовое распределение ключей

Multi-core optical fibers are promising for organizing high-speed communication channels protected by quantum key distribution technology. Experimental results have been obtained on the simultaneous implementation of three quantum communication channels through one fiber.

Keywords: multi-core optical fibers, quantum key distribution

Технология пространственного уплотнения каналов предполагает использования специального оптического волокна, имеющего несколько сердцевин, что позволяет не только увеличить скорость передачи данных, но и организовывать в одном волокне передачу нескольких квантовых каналов связи, применяя технологию квантового распределения ключей [1]. Представлены результаты параметрических исследований характеристик квантового канала связи в оптическом волокне, изготовленном в ИОФ РАН [1]. Исследовался тестовый квантовый канал связи при одновременной работе дополнительных квантовых, а также классических каналов связи, реализованных в соседних сердцевинах. С этой целью через многосердцевинное волокно подключалось несколько блоков квантовой связи фирмы QRate [3], работающих по протоколу BB84 и внешний лазерный источник, спектром и мощностью которого можно было управлять.

1. LinR. etal. Telecommunication compatibility evaluation for co-existing quantum key distribution in homogenous multicore fiber. //IEEE Access. 1010. Vol. 8. P. 78836-78846.
1. Egorova O.N., Astapovich M.S., Semjonov S.L., Belkin M.E. Multicore optical fibre and fibre-optic delay line based on it. // Quantum Electronics. 1016. Vol. 46. No. 11. P.1134-1138.
3. <https://goqrate.com/>

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОМОДОВОГОЕРУВ ОПТИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ СЛАБОГО СИГНАЛА

^{1*}*А.Г. Кузнецов, ¹С.А. Бабин, ²М.Ю. Керносов, ²С.Н. Кузнецов*

(¹Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, 630090, Россия, Новосибирск, пр.ак. Коптюга 1, ²Акционерное общество «Мостком», 390000, Россия, Рязань,

ул. Урицкого, д.35, п.Н7, *kuznetsovAG@iae.nsk.su)

Многомодовый усилитель с высокой числовой апертурой позволяет осуществить заведение в волокно слабого оптического сигнала с минимальными потерями и усилить его до уровня, достаточного для регистрации стандартными телекоммуникационными фотодиодами. Разработан волоконный усилитель на основе ErYbMM волокна, позволяющий усилить маломощный входной сигнал (-45 dBm) с коэффициентом усиления 20 dB. Исследовано влияние длины активного волокна усилителя на отношение сигнал/шум усиленного сигнала. Проведены измерения чувствительности приемного устройства с использованием многомодового усилителя в атмосферной линии связи.

Ключевые слова: оптическая система, волоконный усилитель, многомодовое волокно

A multimode amplifier with a high numerical aperture allows the introduction of a weak optical signal with minimal loss and amplification to a level sufficient for registration with standard telecommunication photodiodes. A fiber amplifier based on ErYb MM fiber has been developed, which makes it possible to amplify the input signal (-45 dBm) with a gain of 20 dB. The influence of the active fiber length of the amplifier on the signal-to-noise ratio of the amplified signal is studied.

Keywords: optical system, fiber amplifier, multimode fiber

Как известно пропускная способность одномодовых оптоволоконных систем дальней связи ограничена и приближается к своему пределу [1], пространственное мультиплексирование в многомодовых волокнах предлагает альтернативный путь к более высокой пропускной способности [2]. Так же многомодовые волокна с высокой числовой апертурой, позволяют с меньшими потерями заводить в волокно излучение, что особенно важно при передаче сигнала через свободное пространство на большие расстояния. Зачастую заведенный в регистрирующий тракт полезный сигнал имеет крайне низкую мощность и требуется его усилить с минимальными шумами до уровня чувствительности фотодиодов. Еще одним источником шумов является неравномерное усиление различных мод сигнала [3], когда разброс по коэффициенту усиления различных мод достигает 5 dB. Нами предложена реализация многомодового усилителя слабого сигнала на основе ErYb волокна. В докладе приведены экспериментальные результаты по усилению сигнала в различных конфигурациях усилителя. Достигнуто усиление входного сигнала -45 dBm на 20 dB. Проведена апробация усилителя в качестве составной части приемного тракта атмосферной линии связи.

1. Essiambre R.-J. et al. Capacity limits of optical fiber networks. // J. Lightwave Technol. 2010. V. 28. No. 4. P. 662-701.
2. Stuart H. R. Dispersive multiplexing in multimode optical fiber. Science. 2000. V. 289. No. 5477. P. 281-283, 2000.
3. Kang Q., Lim E.-L., Jung Y. et al. Accurate modal gain control in a multimode erbium doped fiber amplifier incorporating ring doping and a simple LP₀₁ pump configuration. // Opt. Express. 2012. V. 20. P. 20835

АЛГОРИТМ ПОИСКА, ЗАХВАТА И УДЕРЖАНИЯ СИГНАЛА

МАЯКА УДАЛЁННОГО ТЕРМИНАЛА В БЕСПРОВОДНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

К.И. Приходько, С.Н. Кузнецов, С.Ю. Поляков
(АО «Мостком», Рязань, e-mail: p.k.i.2016@mail.ru)

Одной из ключевых задач в беспроводных оптических линиях связи является взаимное наведение двух терминалов и совмещение их оптических осей. В работе предложен алгоритм работы системы выдачи целеуказаний, рассмотрена его реализация, а также приведены экспериментальные результаты.

Ключевые слова: обнаружение цели, согласованный фильтр, оценка порога, сегментация изображений.

One of the key tasks in free-space optical (FSO) systems is the mutual guidance of two terminals and the alignment of their optical axes. The paper proposes an algorithm for the operation of the target designation system, considers its implementation, and also provides experimental results.

Keywords: target detection, matched filter, threshold estimation, image segmentation.

В настоящее время всё больше возрастает интерес к беспроводным оптическим линиям связи (FSO-системы). Они могут применяться в различных системах реального времени, а особенно там, где физическое соединение оптическим кабелем является нецелесообразным или невозможным. Одним из наиболее перспективных направлений применения таких систем является организация связи с подвижными объектами (спутниковые группировки, системы ДЗЗ, построение сети между морскими судами, автомобилями и т.п.).

Одним из решений задачи наведения FSO терминалов друг на друга, т.е. сведения их оптических осей является использование маякового излучения отдельного служебного канала. Кроме решения задачи наведения служебный канал позволяет терминалам обмениваться информацией вне полосы информационного канала.

В такой схеме в качестве датчика наведения служит 2D матрица фотодиодов, на которой с помощью оптической системы формируется пятно излучения служебного канала удалённого терминала. Задачей системы наведения каждого из терминалов является удержание пятна служебного канала своего партнёра в рабочей области. Одним из основных этапов в наведении FSO-систем является обнаружение пятна служебного канала удалённого абонента в поле зрения матрицы. Как правило, фоноцелевая картина имеет сложный характер (блики моря, огни ночных городов и т.п.), что требует разработки алгоритмов для обнаружения искомого пятна.

В работе предложен единый подход к решению как задачи обнаружения искомого пятна, так и передачи информации служебного канала с использованием всё той же матрицы фотодиодов. В основе алгоритма лежит обнаружение пятна [1], модулированного по амплитуде, путём корреляционной обработки пачки кадров с последующим выделением связанных областей.

В качестве критерия обнаружения используется критерий Неймана-Пирсона [2] с глобальным порогом для всего поля изображения при вероятности ложной тревоги $F=10^{-9}$. Порог рассчитывался на основе медианного значения

оценки дисперсии шума в областях, равномерно расположенных по полю изображения.

Предложенный алгоритм был реализован на ПЛИС семейства Kintex 7 фирмы Xilinx, а в качестве оптического сенсора использовалась фотоприёмная матрица CMV2000 фирмы AMS. Приведены результаты имитационного и натурального эксперимента, подтверждающие эффективность алгоритма.

1. Приходько К.И. Обнаружение сигнала на изображении в задачах поиска удалённого абонента в беспроводных оптических линиях связи. // V Международный технический форум СТНО-2022. Сборник трудов.– 2022.– Т.1.–С.118-121.
2. Репин, В.Г., Тартаковский, Г.П. Статистический синтез при априорной неопределённости и адаптация информационных систем.– М.: Советское радио, 1977.– 432 с.

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ЛАЗЕРНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

С.Н. Кузнецов, Б.И. Огнев, Н.О. Пителин

(Акционерное общество «Мостком», n.pitelin@mостком.ru)

В статье проанализированы последние достижения зарубежных космических компаний в сфере конструирования систем лазерной связи для космических аппаратов, выделены общие моменты и особенности в наиболее технологически зрелых проектах для различных применений.

Ключевые слова: беспроводная связь, космическая лазерная связь, низкоорбитальные спутниковые группировки.

The article analyzes the latest achievements of foreign space companies in the field of designing laser communication systems for spacecrafts, highlights common points and features in the most technologically mature projects for various applications.

Keywords: wireless optical communications, space laser communication, low-orbit satellite constellations.

На сегодняшний день лазерная связь в низкоорбитальных космических группировках рассматривается как наиболее перспективный с точки зрения пропускной способности вид связи. Востребованность высокоскоростных каналов межспутниковой связи обусловлена взрывным ростом сервисов ДЗЗ реального времени как в гражданских, так и в военных приложениях.

Высокая конкуренция привела к тому, что свои решения в этой сфере представили не только признанные лидеры в области космонавтики, но и страны, ранее находившиеся на периферии отрасли.

Рассматриваются основные тренды в конструировании систем лазерной оптической связи для низкоорбитальных космических аппаратов. Проанализированы последние достижения зарубежных космических

компаний в этой сфере, рассмотрены основные технические решения разработчиков в ряде стран, выделены общие моменты и особенности в наиболее технологически зрелых проектах.

1. Kurr D. Our swarm in space – how laser is revolutionizing space // TRUMPF [Электронный ресурс]. 2022. URL: https://www.trumpf.com/cs_CZ/newsroom/pribehy/our-swarm-in-space-how-laser-is-revolutionizing-space/ (Дата обращения 26.07.2022).
2. Laser Inter-Satellite Links in a Starlink Constellation [Электронный ресурс]. 2022. URL: https://www.researchgate.net/publication/349641367_Laser_Inter-Satellite_Links_in_a_Starlink_Constellation (Дата обращения 26.07.2022).
3. Space-Based Adaptive Communications Node (Space-BACN) // DARPA Contracts Info [Электронный ресурс]. 2022. <https://sam.gov/opp/0d9a82f5008b4a61b789b48a4922e82b/view>

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СЕТЕЙ 5G С ПОМОЩЬЮ АТМОСФЕРНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВЯЗИ

А.А. Горячев, Б.И. Огнев, С.Н. Кузнецов
(Акционерное общество «Мостком», Рязань)

В ходе анализа возможных сценариев применения устройств атмосферной оптической лазерной связи (АОЛС) в рамках транспортной инфраструктуры сетей 5G были выделены основные требования к качеству беспроводного канала связи. На основе серийного оборудования АОЛС компании Мостком создан прототип устройства, на котором были проведены лабораторные испытания, подтверждающие техническую возможность интеграции оборудования АОЛС в транспортную сеть 5G.

Ключевые слова: атмосферные оптические линии связи, АОЛС, fronthaul, backhaul, беспроводной канал спускной способностью 100 Гбит/с

Analysis of possible FSO implementation scenarios within the transport infrastructure of 5G networks, the main requirements for the quality of a wireless communication channel were identified. A prototype of the device was created on the basis of serial ARTOLINK free-space optics equipment which was used in laboratory tests which confirmed the technical feasibility of FSO equipment integration into the 5G transport network.

Keywords: Free-space optical communications, FSO, fronthaul, backhaul, 100 Gbit/s bandwidth wireless channel

Постоянно растущие потребности абонентов, нагружающие сетевую инфраструктуру телеком-операторов, привели к появлению сотовых сетей пятого поколения, требующих новых беспроводных технических решений для передачи больших объемов информации. На основе серийного оборудования АОЛС компании «Мостком» создан прототип устройства для использования в сетях 5G. На нем были проведены исследования по

прохождения 25 гигабит в секунду для поддержки протокола eCPRI. В ходе лабораторного эксперимента получены данные, убедительно показывающие техническую возможность параллельной передачи 4-х потоков 25 Гбит/с [1].

В заключении проведен анализ технических решений [2], позволяющих удовлетворить требования операторов к надежности и качеству канала.

1. Боев А.А., Кернос М.Ю., Кузнецов С.Н., Огнев Б.И., Паршин А.А. Беспроводной канал передачи информации со скоростью 40 Гбит/с. // Вестник РГРТУ.– 2017.– № 62.
2. Боев А.А., Кернос И.Ю., Кузнецов С.Н., Паршин А.А., Поляков С.Ю., Широбакин С.Е. Волоконно-оптический дефлектор для прецизионного наведения лазерного излучения. // Лазерно-информационные технологии: Тр. XXIX Международной научной конференции.– 2021.

УНИКАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИИ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ В ПРОВОДНЫХ И БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

^{1,2*} С.С. Воробей, ¹ С.Ю. Казанцев, ¹ О.В. Колесников, ³ С.Н. Кузнецов,

¹ Ю.Б. Миронов, ^{1,2} А.А. Приютов, ¹ Ж. Рабенандрасана

(¹ Московский Технический Университет Связи и Информатики, 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная 8а, ² QRate, Сколково, Россия, ³ АО МОСТКОМ, Рязань, * s.vorobey@goqr.com)

Представлен обзор исследований, которые проводятся на экспериментальном стенде, созданном в МТУСИ для исследований технологий квантового распределения ключей в проводных и беспроводных системах связи. Проанализированы перспективы реализации данной технологии в атмосферных оптических линиях связи.

Ключевые слова: квантовое распределение ключей, атмосферные оптические линии связи, беспроводные оптические линии связи.

A review of the studies that are carried out at the experimental stand for researching quantum key distribution technologies in wired and wireless communication systems is presented. The prospects for the implementation of this technology in atmospheric optical communication lines are analyzed.

Keywords: quantum key distribution, FSO, fiber optic communication lines

Угроза появления квантовых вычислителей, которые могут достаточно быстро взламывать современные криптографические алгоритмы, применяемые в системах обеспечения информационной безопасности при передаче данных в телекоммуникационных сетях, сделали чрезвычайно актуальной задачу создания отечественных систем квантового распределения ключей (КРК), а также задачу подготовки квалифицированных специалистов в области

квантовых коммуникаций. Для решения обозначенных выше задач в МТУСИ была создана уникальная научная установка для исследования технологии КРКВ проводных и беспроводных системах связи. При создании стенда были задействованы оборудование и научно-технические наработки российских фирм КуРэйт в области КРК для ВОЛС [1, 2] и МОСТКОМ в области создания атмосферных оптических линий связи [3,4]. В докладе представлено описание комплекса оборудования, составляющих стенд и спектра задач, решаемых на этом стенде. В частности, проанализированы перспективы реализации модульного принципа построения систем защищенной связи в атмосферных линиях связи, в связи с чем подробно обсуждаются планы дальнейшего совершенствования экспериментального стенда с учетом экспериментов [5].

1. Rodimin V.E. et al. Modular quantum key distribution setup for research and development applications. // J. Russian Laser Res. 2019. Т. 40. №3. С.221-229.
2. <https://goqrates.com/projects/qrate-qkd312-vysokoskorostnoe-kvantovoe-raspredelenie-klyuchey>
3. Кузнецов С., Огнев Б., Поляков С. FSO на "последней (и не только) миле". Практические результаты. // Первая миля. –2009. Т. 10.– №. 1.– С. 30-33.
4. <http://www.mostkom.ru/>
5. Боев А.А. и др. Возможность построения модульной системы квантового распределения ключей в атмосфере // Письма в ЖТФ.- 2022. Т. 48. Вып.15.– С.15-18.

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ЗАДАЧИ ОПТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

^{1*} А.А. Реутов, ² С.С. Воробей, А.П. Катанский, В.А. Балакирев

(¹ Московский физико-технический институт, Институтский пер. 9, Долгопрудный, Московская область, 141701, Россия, ² Московский Технический Университет Связи и Информатики, 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная 8а, [*aleksey.reutov@phystech.edu](mailto:aleksey.reutov@phystech.edu))

Точная настройка аппаратуры приемной наземной станции в части управления наведением ее на космический аппарат с заданной точностью является важной задачей при построении системы квантового распределения ключей для работы в околоземном открытом пространстве. Классическим подходом для этой проблемы является использование различных регуляторов с обратной связью, например ПИД-регуляторов для управления монтировкой телескопа, системой оптической стабилизации и подавления вибраций в целях обеспечения юстировки оптических осей приемника и передатчика. В данной работе используется обучение с подкреплением и демонстрируется работу алгоритма DDPG (Deep Deterministic Gradient Policy) как непосредственно для управления точным контуром оптического наведения, так и для настройки и оптимизации коэффициентов управляющего ПИД-регулятора.

Ключевые слова: машинное обучение с подкреплением, квантовые спутниковые коммуникации, атмосферная оптическая связь, ПИД-регуляторы.

Precise tuning of the equipment of a receiving ground station in terms of controlling its pointing to a spacecraft with a given accuracy is an important task in constructing a quantum key distribution system for operations in near-Earth open space. The classic approach to this problem is to use various feedback controllers, such as PID controllers to control the sensor mount, optical measurement systems and vibration suppression for

optical axes alignment in receiver and transmitter. In this paper, the reinforcement learning is used and DDPG (Deep Deterministic Gradient Policy) algorithm's application is demonstrated both for controlling the precise contour of an optical targeting and for the fine-tuning and optimization of PID-controller coefficients.

Keywords: reinforcement learning, quantum satellite communications, atmospheric optical communication, PID controllers.

Теория и методы исследования. Неравномерность движения спутника, случайные дрожания телескопа, резонансные частоты монтировки, неоднородность оптического пространственного канала – все эти эффекты ухудшают качество квантового распределения ключей в атмосферном оптическом канале связи, повышая количество ошибок при приеме и снижая скорость генерации квантового ключа. Дрожания и блуждание пятна лазерного излучения на регистрирующей матрице камеры требуется подавить для точной калибровки на движущийся спутник. Классическим решением для такой задачи является ПИД-регулирование в необходимых степенях свободы. Но такой подход требует ручной настройки коэффициентов регуляторов по авторским методикам, часто не являющимся оптимальным набором, при этом требующий их последующей корректировки при изменении условий эксплуатации со временем.

Другим методом автоматического контроля произвольной системы являются алгоритмы обучения с подкреплением, хорошо показавшие себя как в “игрушечных” моделях, так и в практических применениях [1-4]. Одним из актуальных решений может быть замена ПИД-регуляторов на нейросетевые актуаторы на основе технологии машинного обучения с подкреплением, предобученные на симуляции или непосредственно на оригинальной системе. Другим решением может быть использование нейросетевого агента для точной настройки и автоматической адаптации со временем коэффициентов ПИД-регулятора. Последний способ хорошо себя показал в сравнении, как с заранее настроенным ПИД-регулятором, так и с нейросетевыми актуаторами [5].

В качестве модели машинного обучения с подкреплением был выбран Deep Deterministic Gradient Policy (DDPG), подходящий для задач непрерывного регулирования. Состояния системы описываются как координаты пятна излучения лазера на матрице. Управляющие действия представляют из себя либо непрерывные величины углов поворота MEMS-зеркала, либо непрерывные величины P- и D-коэффициентов ПИД-регулятора. Функцией вознаграждения выбрана линейная зависимость от расстояния пятна до центра матрицы измерительного прибора. Обучение производилось как на программной симуляции, так и на стенде, имитирующем оптическую схему системы квантового распределения ключей ООО “КуСпейс”.

Полученные результаты и их обсуждение. Для случая непосредственного выбора обученным нейросетевым агентом угла поворота управляющего зеркала точность не превышала имеющиеся результаты для ПИД-регулятора (порядка 4-5 пикселей матрицы камеры). Для идентичных запусков на симуляции агент, оптимизирующий коэффициенты ПИД-регулятора, показал увеличение точности на 5% по сравнению с ПИД-регулятором с

фиксированными коэффициентами. Аналогичный результат получен на экспериментальном стенде ООО "КуСпейс". Было замечено, что нестабильность временных задержек, возникающих при использовании UDP протокола, негативно влияет на качество обучения моделей машинного обучения.

Для улучшения результатов планируется использовать предобработанные состояния, оптимизировать предобученнейросетевой модели (например, с помощью алгоритма Population Based Training), расширить пространство действий до всех коэффициентов ПИД-регулятора, а также сравнить DDPG с рядом других алгоритмов обучения с подкреплением, подходящих для непрерывного управления (TRPO, PPO, A3C).

1. Kiran B.R. et al. // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2021. P. 1-18. 10.1109/TITS.2021.3054625
2. Wei T., Wang, Y., Zhu Q. // Proceedings of the 54th Annual Design Automation Conference. 2017. DAC '17.
3. Mnih V. et al. // Nature. 2015. V.518. P. 529–533.
4. Silver D., Schrittwieser J., Simonyan K. et al. // Nature. 2017. V.550. P.354–359.
5. Qin Y. et al. // IEEE CSAA Guidance, Navigation and Control Conference (CGNCC).2018.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ В АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

*А.А. Боев¹, Д.В. Болотов², С.С. Воробей^{2,3}, С.Ю. Казанцев², М.Ю. Керносов¹,
О.В. Колесников², С.Н. Кузнецов¹, А.А. Паршин², Н.В. Пчелкина¹*

(¹АО МОСТКОМ, Рязань, ²Московский Технический Университет Связи и Информатики, 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная 8а, ³QRate, Сколково, msi-a@yandex.ru)

Проанализированы проблема реализации технологии квантового распределения ключей в открытой атмосфере. Представлены экспериментальные данные исследований системы квантовой связи, созданной на основе серийных модулей, выпускаемых для атмосферных оптических линий связи.

Ключевые слова: квантовое распределение ключей, атмосферные оптические линии связи, волоконно-оптические линии связи.

The problem of implementing quantum key distribution technology in an open atmosphere is analyzed. Experimental data of studies of a quantum communication system created on the basis of serial modules produced for atmospheric optical communication lines are presented.

Keywords: quantum key distribution, FSO, fiber optic communication lines

Известно, что защищенность данных, передаваемых в оптических линиях связи, в том числе и к атакам с помощью квантовых компьютеров может обеспечить использование шифра Вернама совместно с технологией

квантового распределения ключа [1]. Представлен анализ перспектив применения подобной технологии для открытой атмосферы и представлены результаты исследований экспериментальной системы связи [2], проводившиеся в условиях города при различных погодных условиях на дистанции 180 м. Исследованы изменения лазерного спектра и потери мощности излучения, передаваемого через квантовый канал системы связи [2]. Показаны преимущества разработки систем связи за счет сопряжения блоков квантовой связи, разработанных для ВОЛС [3] и блоков атмосферной связи, выпускаемой российской фирмой АО МОСТКОМ.

1. Боев А.А. и др. Возможность построения модульной системы квантового распределения ключей в атмосфере. // Письма в ЖТФ. – 2022. – Т.48. – Вып.15. – С.15-18.
2. Bolotov D.V. et al. A method for estimating losses in a quantum channel for implementing quantum key distribution technology for atmospheric laser communication terminals. // 2022 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). 2022. P. 1-5. doi: 10.1109/WECONF55058.2022.9803408.
3. <https://goqrate.com/projects/>

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ АТМОСФЕРЫ НА КАНАЛ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ И НА КАНАЛ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

М. Ю. Керносов, С.Н. Кузнецов
(АО «Мостком», Рязань, mkern@yandex.ru)

Проведен сравнительный анализ влияния атмосферной турбулентности на работу канала квантового распределения ключей и канал передачи данных в атмосферной оптической линии связи. Показана возможность создания установки квантового распределения ключей в открытой атмосфере путем модификации серийного оборудования АОЛС. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: квантовое распределение ключей, атмосферные оптические линии связи, атмосферная турбулентность, одномодовые и многомодовые оптические волокна.

A comparative analysis of the influence of atmospheric turbulence on the operation of the quantum key distribution channel and the data transmission channel in an FSO line is carried out. The possibility of creating a quantum key distribution facility in an open atmosphere by modifying serial FSO equipment is shown. Experimental results are provided.

Keywords: quantum key distribution, FSO, atmospheric turbulence, single-mode and multimode fiber optics.

Быстрое развитие в последнее время отечественных систем квантовой связи

и появившаяся, в связи с этим возможность их более широкого применения, поставила задачу интеграции вновь созданных устройств с серийно выпускаемыми средствами оптической беспроводной связи. Исходя из этого, специалистами АО Мостком в рамках совместного проекта с Московским Техническим Университетом Связи и компанией КуРейт были проведены работы по созданию экспериментальной установки атмосферной оптической линии связи, совмещающей в себе канал квантового распределения ключей (КРК) и канал высокоскоростной передачи данных [1].

Для этого была модифицирована серийная модель АОЛС от АО Мостком М1-40GE путем использования двух каналов для организации квантового канала и канала мониторинга. Особенностью полученной установки стало совмещение в одном приемном оптоволоконном тракте одномодовых и многомодовых волокон. Для многомодового приемного тракта характер влияния атмосферных возмущений был уже достаточно изучен [2]. Главным вопросом стало определение воздействия турбулентности на приемный тракт, включающий переход с многомодового на одномодовое волокно.

Результаты экспериментальных исследований и их анализ позволили создать образец АОЛС для проведения испытаний системы КРК через атмосферу в полевых условиях.

1. Боев А.А. и др. Возможность построения модульной системы квантового распределения ключей в атмосфере // Письма в ЖТФ. – 2022. – Т.48. Вып.15. – С.15-18
2. С.Н. Кузнецов и др. Беспроводной канал 10 Гбит/с: ключевые особенности и результаты тестирования. // Сб. трудов Международной научно-практической конференции "Инновации в науке, производстве и образовании". Рязань. 2013.

КОНСТРУИРОВАНИЕ АТЕРМАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВЯЗИ

С.Е. Широбакин, А.В. Баскакова, С.Н. Кузнецов

(Акционерное общество «Мостком», Рязань, e-mail: info@mостком.ru)

Возможности FSO оборудования определяются качеством оптической системы и стабильностью ее параметров при воздействии внешних факторов, важнейшим из которых является температура. В работе представлена методика оценки термостабильности оптических систем, которая позволяет оценить влияние температуры на бюджет оптической линии связи.

Ключевые слова: беспроводная оптическая связь, оптическая система, атермальность, бюджет

The capabilities of the free-space optics (FSO) equipment are determined by the quality of the optical system and the stability of its parameters under the influence of external factors, the most important of which is temperature. The paper presents a method for assessing the thermal stability of optical systems, which allows to assess the effect of temperature on the optical communication line margin.

Keywords: free-space optics communication, optical system, athermality, margin

Одной из все более востребованных в настоящее время технологий беспроводной высокоскоростной телекоммуникации является технология

атмосферных оптических линий связи (FSOтехнология). В FSO оборудовании запас по усилению (бюджет) линии связи определяется расходимостью излучения в открытом пространстве. В связи с этим возможности данного оборудования определяются качеством оптической системы и стабильностью ее параметров при воздействии внешних факторов, важнейшим из которых является температура. Работа посвящена методике оценки термостабильности (атермальности) оптических систем (ОС) беспроводных оптических систем связи.

Оценки показали, что апертура приемника излучения в FSO системах значительно больше размера пятна сфокусированного излучения с учетом его возможного увеличения за счет относительного смещения фокальной плоскости из-за терморасстройки ОС. В связи с этим в работе рассматривается только влияние увеличения расходимости излучения, приводящее к снижению мощности излучения, поступающего на приемник.

Показано, что изменение бюджета линии связи разнохарактерно в зависимости от ее длины. Так, для одной из рассмотренных конструкций при длине линии 1 км из-за воздействия температуры бюджет линииувеличивается на 2 дБ, а при длине линии 10 км – уменьшается на 7дБ. Это связано с характером изменения диаметра пучка излучения передатчика в плоскости входной апертуры оптической системы приемника излучения при воздействии температуры.

В работе показано, что основной механизм влияния температуры на параметры излучения передатчика – смещение источника излучения относительно фокальной плоскости ОС, и для расчета данного смещения необходимо учитывать такие факторы как изменение параметров оптических элементов, их относительного положения за счет изменения размеров конструкции и показателя преломления воздуха.

Предлагаемый подход к оценке атермальности применен для анализа термостабильности двух ОС, отличающихся конструкцией. Определены причины температурной нестабильности одной из конструкций и предложен способ ее устраненияпутем введения цилиндрического (стаканного) компенсатора[1].

1. Гринкевич, А.В, Медведев, А.В., Князева, С.Н. Атермализация объективов прицельно-наблюдательных комплексов как средство обеспечения жизнедеятельности объектов БТВТ. / Фотоника.– 2016. №2/56.–С. 94-108.

АЛГОРИТМ РАБОТЫ АБСОЛЮТНОГО ОДНОДОРОЖЕЧНОГО ЭНКОДЕРА И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ В СИСТЕМАХ НАВЕДЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВЯЗИ

А.А. Боев, С.Н. Кузнецов, А.А. Паршин
(АО «Мостком», Рязань)

Основным узлом, обеспечивающим точность позиционирования в системах слежения и наведения лазерных линий связи, является энкодер. В работе предложен алгоритм работы абсолютного однодорожечного энкодера, жестко связанного с

ротором моментного двигателя системы наведения. Рассмотрено влияние различных источников освещения кодового диска на межпиксельный шум, возникающий при обработке репера сегмента диска. Приведено описание способа выбора битовой последовательности для маркирования секторов кодового диска и корреляционного принципа определения сектора считывания репера. Приведены экспериментальные результаты реализации алгоритма.

Ключевые слова: абсолютный энкодер, датчик поворота, сектор диска, репер, коллекция изображения.

The encoder is the main unit providing positioning accuracy in tracking and guidance systems of laser communication lines. The paper proposes an algorithm for the operation of an absolute single-track encoder, rigidly connected to the rotor of the of the guidance system torque motor. The influence of various the code disk illumination sources on the interpixel noise that occurs during the processing of the disk segment reference point is considered. The correlation principle of determining the sector of reading the benchmark and the method of choosing a bit sequence for marking the sector are shown. Experimental results are given.

Keywords: absolute encoder, rotation sensor, disk sector, indicator, image collection.

Основным узлом, обеспечивающим точность позиционирования в системах слежения и наведения лазерных линий связи, является энкодер [1]. Конструкция энкодера включает в себя осветитель, кодовый диск и линейную матрицу фотоприемников (сенсор). Для решения задачи абсолютного позиционирования кодовый диск разбит на сектора, каждый из которых включает репер (область для прецизионного расчета позиционирования) и кодовую метку с номером сектора. Для определения сектора считывания репера выбран корреляционный метод его распознавания. Основой метода является вычисление функции взаимной корреляции для каждого пикселя в массиве сигналов с сенсора. Положение репера внутри массива с точностью до пикселя определяется по максимуму данной функции. Корреляционный метод обеспечивает высокую скорость обработки и надёжность распознавания в условиях шума. Координата репера вычисляется с субпиксельной точностью [2]. Кодовая метка с номером сектора, расположенная в заданном положении относительно репера считывается в массив кодовой информации. Вычисляется с субпиксельной точностью положение каждого бита кодовой информации и методом линейной интерполяции определяется значение сигнала оптического датчика для этого бита. Для каждого бита кодовой информации находится степень сходства с нулем и с единицей, принимается решение о его значении и достоверности. Полученный двоичный код направляется в блок вычисления номера сектора, который на основе избыточного кодирования двоичной информации определяет номер сектора, наличие ошибок и их исправление. Блок вычисления угла совмещает субпиксельную координату репера и номер сектора и вычисляет результирующий угол абсолютного энкодера. Приведено описание генерации битовых последовательностей для кодового диска и экспериментальные результаты реализации алгоритма, показавшие его эффективность.

1. Боев А. А., Кузнецов С. Н., Огнев Б. И., Поляков С. Ю. Алгоритм

определения центра пучка для системы наведения оборудования беспроводной оптической связи. // Вестник РГРТУ.–2015.– №54 Часть1.

2. Blais F. Review of 20 years of range sensor development. Journal of Electronic Imaging, 2004. Vol. 13(1). P. 231-24

СТЕНД ДЛЯ ОТРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

*Д.Д. Воеводин, С.В. Григорович, Б.В. Лажинцев, А.С. Мокеев, А.В. Писецкая,
И.М. Ройз, В.А. Стародубцев, Р.Р. Сунгатуллин*
(Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной физики, Саров)

Стенд для отработки технологии космической лазерной связи позволяет воспроизводить все режимы работы реальных терминалов связи в космическом пространстве.

Ключевые слова: космическая лазерная связь, стенд, моделирование

The stand for testing the technology of space laser communication allows to reproduce all modes of operation of real communication terminals in space.

Keywords: space laser communication, test bench, simulation

В докладе представлен и обоснован технический облик универсального стенда для отработки технологии высокоскоростной космической лазерной связи.

Основными элементами универсального стенда являются два длиннофокусных линзовых объектива и подвижная диафрагма диаметром до нескольких микрометров, установленная в их общей фокальной плоскости. При проведении испытаний каждый из двух реальных космических терминалов устанавливается перед своим линзовым объективом.

На универсальном стенде воспроизводятся характерные для условий космоса скорости угловых перемещений лазерных пучков, в том числе и вызванные микровибрациями терминалов. При проведении испытаний каждый из терминалов излучает и регистрирует лазерные пучки с угловым распределением плотности мощности излучения соответствующим космическим условиям – на выходе терминалов реальные лазерные пучки, а на входе лазерные пучки дифракционного качества с плотностью мощности излучения соответствующей заданным расстояниям между терминалами в космических условиях. Испытания проводятся при той точности наведения лазерного излучения терминалов, которая должна быть реализована в космических условиях.

ПРОРАБОТКА ОБЛИКА И ТТХ ТЕРМИНАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВЯЗИ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ СИСТЕМЫ НИЗКООРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ

*Д.О. Ананьин¹, Р.Р. Акбулатов², Д.Д. Воеводин¹, С.Н. Кузнецов³, Р.К. Лозов¹,
С.Ю. Поляков³, И.М. Ройз¹, А.А. Румянцев¹, В.А. Стародубцев¹, Р.Р. Сунгатуллин¹,*

(¹Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров, ²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Саров, ³АО «Мостком», Рязань)

Терминалы космической лазерной связи, входящие в состав низкоорбитальной группировки, обеспечивают высокоскоростную передачу информации по межспутниковым каналам связи. Представлен облик терминалов и продемонстрирован расчет их тактико-технических характеристик.

Ключевые слова: терминал космической лазерной связи, космический лазерный канал связи, оптическая линия связи, передача информации, низкоорбитальная группировка.

Free-space laser com terminals contained in the low-orbit constellation provide high-speed information transmission via inter-satellite wireless communication link. The terminals design and the performance specifications calculation are presented.

Keywords: Free-space laser com terminal, wireless communication link, optical communication link, information transmission, low-orbit constellation.

Космическая лазерная связь является перспективной технологией обмена информацией, которая, в отличие от радиочастотных устройств того же назначения, обладает узкой диаграммой направленности и имеет высокую пропускную способность [1]. В настоящее время зарубежные и отечественные компании проводят многочисленные исследования по созданию орбитальных группировок систем оптических линий связи с целью развития космической информационной инфраструктуры. Основу функционирования системы составляют терминалы лазерной высокоскоростной передачи информации, установленные на борту космических аппаратов. В зависимости от построения группировки и правил маршрутизации облик терминалов и их тактико-технические характеристики могут значительно отличаться [2]. В работе представлено их обоснование для низкоорбитальной группировки: приведена принципиальная оптическая схема терминала, описан принцип его работы, рассчитаны основные параметры.

1. Near-Earth Laser Communications. Second edition. / Ed. Hamid Hemmati. 2021. 453 p.
2. Hemani Kaushal, Jain V.K., Subrat Kar. Free Space Optical Communication. 2017. 232 p.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ЯРКОСТИ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ

А.Е. Кулагин^{1,2}, С.Н. Торгаев^{1,3}, И.С. Мусоров¹, Г.С. Евтушенко^{1,4}

(¹Томский политехнический университет, ²Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск, ³Томский государственный университет, ⁴НИИ РИНКЦЭ, Москва, aek8@tpu.ru)

В работе представлены результаты модельных исследований усилителя яркости на парах бромида меди при высоких частотах следования импульсов накачки (от 100 до 500 кГц). Для диапазона частот 100–300 кГц расчетные данные подтверждаются экспериментальными. Это позволяет заключить, что дальнейшее продвижение в область высоких частот (до 500 кГц) реально.

Ключевые слова: усилитель яркости, активная среда на парах металлов, кинетическое

моделирование, частота следования импульсов, сверхизлучение.

The paper presents the results of model studies of a brightness amplifier based on copper bromide vapor at high pump pulse repetition rates (from 100 to 500 kHz). For the frequency range 100–300 kHz, the experimental ones confirm the calculated data. This allows us to conclude that further advancement to the region of high frequencies (up to 500 kHz, and possibly even higher) is real.

Keywords: brightness amplifier, metal vapor active media, kinetic modeling, pulse repetition rate, superradiance.

Типичные частоты следования импульсов (ЧСИ) излучения активных сред на парах металлов в режиме генератора (лазера) составляют 5–15 кГц, а достигнутые значения составляют 700 кГц для лазера на парах бромида меди и 1 МГц – для лазера на парах стронция. Однако, для лазерного монитора с усилителем яркости, использующим режим сверхизлучения на самоограниченных переходах металлов, максимально достигнутое значение ЧСИ составляет на сегодня 100 кГц [1]. Существенная разница в значениях предельных частот для двух режимов работы активной среды связана с большим пороговым значением коэффициента усиления, требуемого для работы в режиме сверхизлучения. За счет реализации режима, пониженного энергозатрата в разряд ранее нами достигнута ЧСИ сверхизлучения CuBr-активной среды 200 кГц [2]. Целью данной работы было модельными расчетами рассмотреть возможность увеличения ЧСИ сверхизлучения.

Для исследования работы активной среды на высоких ЧСИ была использована разработанная ранее кинетическая модель CuBr+Ne активной среды, представленная в работе [3]. В качестве накачки в модели задавалось падение напряжения на активном сопротивлении плазмы, которое определяет продольную составляющую напряженности электрического поля в газоразрядной трубке (ГРТ). Форма и параметры импульса накачки соответствовали экспериментальным. В эксперименте возбуждение CuBr+Ne – среды в ГРТ с диаметром 0,7 см и длиной 30 см осуществлялось от источника накачки с регулируемой длительностью высоковольтных импульсов от 20 до 100 нс. В качестве буферного газа использован неон при давлении 20 тор. В ходе моделирования исследовалось влияние энергозатрата в разряд на среднюю мощность сверхизлучения. Расчетные данные показывают, что с увеличением частоты от 100 до 400 кГц максимальные мощности сверхизлучения достигаются при одновременном снижении энергозатрата в разряде и небольшом повышении средней мощности накачки. Так для ЧСИ 300 кГц расчетное максимальное значение выходной мощности сверхизлучения реализуется при длительности тока накачки $\tau_{in}=25$ нс и энергозатрате в единицу объема активной среды $E_{in,mod}=125$ мкДж/см³, что хорошо согласуется с экспериментальными значениями, где максимальное значение достигается при $\tau_{in,exp}=18$ нс, $E_{in,exp}=106$ мкДж/см³. Согласно модельным результатам, при повышении частоты следования импульсов от 300 до 400 кГц возможно даже незначительное увеличение средней мощности сверхизлучения.

Полагаясь на результаты моделирования, можно предположить, что

существует реальная возможность дальнейшего повышения частоты следования импульсов сверхизлучения/усиления CuBr-активной среды свыше 300 кГц и реализации скоростного усилителя яркости с такими ЧСИ.

1. Methods and Instruments for Visual and Optical Diagnostics of Objects and Fast Processes./Ed. Gennadiy Evtushenko, ISBN: 978-1-53613-568-8, Nova Publishers, 2018. 236 p.
2. Musorov I.S., Torgaev S.N., and Evtushenko G.S. A CuBr-Based Brightness Amplifier with a Repetition Frequency of Superradiance/Amplification Pulses up to 200 kHz. // Technical Physics Letters. 2021. V. 47. No 9.P. 862–865.
3. Kulagin A.E., Torgaev S.N., Evtushenko G.S. Kinetic modeling of amplifying characteristics of copper vapor active media for a wide range of input radiation power. // Optics Communications.2020. V.460. No 4. P. 1–6.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ИНВЕРСИИ НА ПЕРЕХОДАХ SrII В РЕКОМБИНАЦИОННОМ РЕЖИМЕ НАКАЧКИ

Г.Д. Чеботарев

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

Проведены численные исследования процессов формирования инверсии населенностей на переходах SrII в рекомбинирующей плазме. Установлен ряд закономерностей, свойственных рекомбинационным лазерам на парах металлов.

Ключевые слова: рекомбинационные лазеры на парах металлов, численное моделирование.

Numerical investigations of the processes of formation of population inversion on SrII transitions in a recombining plasma were carried out. A number of regularities inherent in recombination metal vapor lasers were established.

Keywords: metal vapor recombination lasers, numerical modeling.

Рекомбинационные лазеры на ионных переходах стронция генерируют коротковолновое излучение($\lambda=430,5$ и $416,2$ нм SrII) с высоким уровнем мощности и перспективны для ряда практических приложений [1]. В настоящей работе были детально исследованы процессы формирования инверсии населенностей на ионных переходах стронция в рекомбинирующей плазме импульсно-периодического разряда с использованием метода численного моделирования [2]. В частности, в ходе моделирования были численно рассчитаны параметры плазмы, а также временной ход импульсов разрядного тока, скорости рекомбинационной накачки и населенностей лазерных уровней иона стронция. Кроме того, были определены значения коэффициента усиления лазерно-активной среды, энергии импульсов генерации на переходах SrII, пиковой и средней мощности лазерного излучения при вариации параметров возбуждения в широких пределах. Результаты моделирования показали хорошее согласие с экспериментальными данными. На основе анализа результатов моделирования был установлен ряд закономерностей, свойственных ионным

рекомбинационным лазерам на парах стронция. Полученные результаты дают возможность прогнозировать оптимальные параметры возбуждения рекомбинационных лазеров на парах металлов.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ИНВЕРСИИ НА ПЕРЕХОДАХ SrII В ИОНИЗАЦИОННОМ РЕЖИМЕ НАКАЧКИ

Г.Д. Чеботарев

(Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, gdchebotarev@sfnu.ru)

Проведены численные исследования процессов формирования инверсии населенностей на самоограниченных переходах SrII. Установлен ряд закономерностей, свойственных лазерам на парах стронция.

Ключевые слова: лазер на парах стронция, численное моделирование.

Numerical studies of the processes of population inversion formation on self-terminating SrII transitions were carried out. A number of regularities inherent in strontium vapor lasers were established.

Keywords: strontium vapor laser, numerical modeling.

Лазеры на парах стронция излучают с высокими выходными характеристиками в инфракрасном диапазоне спектра самоограниченных переходов атома и иона стронция ($\lambda=1033$ и 1091 нм SrII, $\lambda\sim 3$ мкм SrI и $\lambda=6,456$ мкм SrI) и перспективны для ряда практических применений [1]. В настоящей работе были проведены детальные численные исследования процессов формирования инверсии населенностей на ионных самоограниченных переходах стронция ($\lambda=1033$ и 1091 нм SrII) в плазме импульсно-периодического разряда с использованием математической модели [2]. В частности, при моделировании численно рассчитывались параметры плазмы, а также временной ход импульсов тока разряда, скоростей возбуждения и населенностей рабочих уровней иона стронция. Кроме того, были рассчитаны значения коэффициента усиления активной среды, энергии импульсов лазерного излучения, пиковой и средней мощности лазерной генерации при вариации параметров газоразрядного возбуждения в широких пределах. Результаты моделирования хорошо согласуются с данными экспериментов. На основе анализа результатов расчетов была найдена ряд закономерностей, присущих лазерам на самоограниченных переходах иона стронция. Результаты работы позволяют прогнозировать оптимальные параметры возбуждения лазеров на парах стронция ИК диапазона.

1. Солдатов А.Н., Латуш Е.Л., Чеботарев Г.Д., Юдин Н.А., Васильева А.В.,

- Полунин Ю.П., Пруцаков О.О. Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция.–Томск: ТМЛ-Пресс, 2012.– 526 с.
2. Chebotarev G.D., Prutsakov O.O., Latush E.L. Mathematical modeling of ion recombination strontium vapour laser // Proc. SPIE.– 2004.–V. 5483.–P. 83-103.

ИОННЫЙ ЛАЗЕР С РПК НА ПАРАХ ТЕЛЛУРА С ОДНОВРЕМЕННЫМ МНОГОЦВЕТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

И.Г. Иванов

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

Для увеличения набора длин волн лазера на ионных переходах теллура предложено накачивать пары теллура в плазме электрического разряда с полым катодом (РПК) в смеси с бинарным буферным газом: гелием и неоном.

Ключевые слова: ионный лазер на парах металла, накачка в плазме разряда с полым катодом

To increase the set of wavelengths of tellurium ion laser, it is proposed to pump tellurium vapors in the plasma of an electric hollow cathode discharge (HCD) in mixture with a binary buffer gas: helium and neon.

Keywords: Te-vapor ion laser, pumping in plasma of the hollow cathode discharge

Известно, что увеличить набор длин волн излучения, генерируемого лазером на парах металла можно традиционным способом – использованием с одним буферным газом двух или более рабочих металлов, например, с гелием паров теллура и селена. Кроме того, известно, что в ионных спектрах таких металлов, как Tl, Cu, Ag и Te имеются две группы квантовых переходов: первая, переходы которой эффективно заселяются перезарядкой [1] на ионах гелия, и вторая группа переходов, заселяемых перезарядкой с ионами неона. Реализация одновременного возбуждения двух указанных групп ионных лазерных квантовых переходов одного и того же металла в бинарной смеси буферных газов (гелия с неоном) обещает увеличение набора одновременно излучаемых лазером спектральных линий без усложнения конструкции лазера. Такая возможность для лазеров на парах Tl, Cu и Ag- изучалась нами ранее [2].

Целью данной работы явилась исследование другой эффективной и важной для практики лазерной активной среды – паров теллура, накачиваемой в газоразрядной плазме РПК в смеси с гелием и неоном. При этом возможна одновременная генерация на переходах с $\lambda 484,3$; 635 и 860 нм (накачка перезарядкой $He^+ - Te$), и на переходах с $\lambda 570,8$ и 593,6 нм Te^+ (перезарядкой $Ne^+ - Te$), в результате чего излучение лазера перекрывает широкий спектр.

Для анализа накачки лазерных переходов в трёхкомпонентной смеси гелий-неон-пары теллура для ионного спектра Te^+ составлялись балансные кинетические уравнения: для 10-ти квантовых лазерных уровней Te^+ , а также для вспомогательных уровней, связанных с ними радиационными переходами. Использовались описанные нами ранее [1,2] методики расчета параметры квантовых переходов, параметров плазмы и процессов перезарядки в РПК.

Результаты расчетов дают возможность оптимизировать параметры разряда, а

также прогнозировать значения энергетических характеристик He-Ne-Te лазера.

Проведенный анализ результатов моделирования позволяет прийти к следующим выводам. Так как энергия иона Ne^+ на ~ 3 эВ ниже энергии иона He^+ , то перезарядка Ne^+ -Te не влияет на скорость накачки перезарядкой He^+ -Te уровней лазерных переходов с $\lambda 484,3$; 635 и 860 нм. Однако перезарядка Ne^+ -Te влияет на величину инверсии на заселяемых перезарядкой Ne^+ -Te переходах с $\lambda 570,8$ и 593,6 нм Te^+ , а именно, увеличивает инверсию, Это вызывается каскадными излучательными переходами “сверху”, а также девозбуждающими столкновениями возбужденных ионов теллура с тепловыми электронами плазмы РПК.

Таким образом, использование бинарного буферного газа привело к увеличению рабочего диапазона длин волн лазера на парах теллура.

1. Ryazanov A.V., Ivanov I.G., Privalov V.E. About Creation of Population Inversion in Mixture of Inert Noble Gas and Metal Vapor.// OpticalMemoryandNeuralNetworks. 2014. V. 23. No.3. P.177-184.
2. Иванов И.Г. Ионный лазер с РПК на парах серебра с одновременным излучением в УФ, видимой и ИК частях спектра В Сб. Лазерно-информационные технологии: труды XXIXМеждународной научной конференции (Новороссийск: 13-18 сентября 2021 г.) / Изд-во ГБОУ ВО «БГТУ им. В.Г.Шухова». 2021. С.55-57.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРА НА ПАРАХ МЕДИ

Х.А. Баалбаки¹, Н.А. Юдин^{1,2}, Н. Н. Юдин¹

¹Томский государственный университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36,

²Институт оптики атмосферы СО РАН, 634055, Россия, Томск,

пр. академика Зуева, 1)

Исследован электрофизический процесс в разрядном контуре лазера на парах меди с промышленной газоразрядной трубкой LT-10Cu. Показано, что накачка активной среды ЛПМ осуществляется в два этапа. На первом (подготовительном) этапе осуществляется зарядка емкостных составляющих разрядного контура лазера от накопительного конденсатора, а на втором непосредственно накачка активной среды. Переход от подготовительного этапа к этапу накачки осуществляется в результате “пробоя”. Показано, что в этих условиях можно реализовать практический КПД лазера на парах меди $\sim 1\%$ в схемах накачки со звеньями магнитного сжатия и $\sim 2,5-3\%$ при отсечке энерговыклада после импульса генерации. Рассмотрены условия реализации режима отсечки энерговыклада после импульса генерации.

Ключевые слова: лазер на парах металлов, практический КПД, пробой

The electrophysical process in the discharge circuit of a copper vapor laser with an industrial LT-10Cu gas discharge tube is investigated. It is shown that the pumping of the LPM active medium is carried out in two stages. At the first (preparatory) stage, the capacitive components of the discharge circuit of the laser are charged from the storage capacitor, and at the second stage, the active medium is pumped directly. The transition from the preparatory stage to the pumping stage is carried out as a result of a “breakdown”. It is shown that under these conditions it is possible to realize the practical efficiency of a copper vapor laser of $\sim 1\%$ in pumping circuits with magnetic compression

links and $\sim 2.5-3\%$ when the energy supply is cut off after the generation pulse. The conditions for the implementation of the cut-off mode of the energy supply after the generation pulse are considered.

Keywords: metal vapor laser, practical efficiency, breakdown

В докладе представлены результаты исследования электрофизического процесса в разрядном контуре лазера на парах меди (ЛПМ) с промышленной газоразрядной трубкой LT-10Cu. Проведенные исследования показали, что накачка активной среды ГРТ – LT10Cu осуществляется также в два этапа, как и в [1]. На подготовительном этапе заряжается обостряющая емкость C_0 от накопительного конденсатора, а накачка активной среды осуществляется в процессе разрядки C_0 . Переход от подготовительного этапа к этапу накачки происходит в результате “пробоя”, который формируется в процессе зарядки C_0 (аналогичен [1]). Это позволяет сделать заключение, что данный процесс накачки активной среды ЛПМ характерен для газоразрядных трубок с электродами расположенными в ХБЗ. Генерация реализуется на спаде тока в зарядном контуре лазера (ток, протекающий через тиратрон), но раньше начала разрядки C_0 . Это указывает на то, что накачка активной среды определяется в основном энергией запасенной в индуктивности разрядного контура L_k , а вклад в накачку энергии, запасенной в C_0 , обеспечивает прирост энергии импульса генерации $\sim 20\%$.

Проведенные исследования указывают на один из возможных путей реализации энергетического потенциала ЛПМ. Это обусловлено тем, что на подготовительном этапе накачки в C_0 и L_k запасается энергия, которая в дальнейшем определяет параметры накачки активной среды. При этом запасенная в C_0 и L_k энергия составляет $\sim 10-20\%$ от энергии, изначально запасенной в накопительном конденсаторе. Следовательно, отсекая энерговклад от накопительного конденсатора после зарядки C_0 и L_k можно в 5-10 раз сократить энерговклад в ГРТ без изменения параметров накачки, что позволяет соответственно увеличить ЧСИ возбуждения для реализации саморазогревного режима работы ЛПМ. Технически отсечку можно осуществлять с использованием управляемого коммутатора, например, таситрона, который должен закрываться после зарядки C_0 в условиях накачки, когда ток через коммутатор падает до нуля (после зарядки C_0), что реализуется при величине емкости $C_0 = 330-470$ пФ. Отсечка энерговклада должна обеспечить не только увеличение ЧСИ возбуждения, но и увеличение средней мощности генерации пропорционально ЧСИ возбуждения. Данное предположение базируется на том, что генерация в ЛПМ реализуется на короткое время до выравнивания населенностей лазерных уровней за счет вынужденных переходов. Следовательно, энерговклад после импульса генерации обеспечивает канал дополнительной ионизации атомов меди за счет ступенчатых процессов со скоростью $\sim 10^{-7}$ см³/с (в условиях высокой населенности верхних лазерных уровней). Отсечка энерговклада после импульса генерации позволяет устранить канал дополнительной ионизации атомов меди и обеспечить увеличение средней мощности генерации пропорционально ЧСИ возбуждения. На основе проведенных экспериментальных исследований можно оценить (в условиях

отсечки энерговыклада) достижимый уровень средней мощности генерации ~ 40-50 Вт для газоразрядной трубки LT-10Cu при практическом КПД ~ 2,5-3%.

1. Yudin N.A., Baalbak H.A., Nocheva S.V., Smirnova M.E., Yudin N.N.// Laser Physics.—2021.—V.31.P. 125001.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КВАНТОВОГО УСИЛИТЕЛЯ НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ

Н.А. Васнев¹, М.В. Тригуб^{1,2},

(¹Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск,

vasnev_na@iao.ru, trigub@iao.ru;²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, trigub@tpu.ru)

Представлены результаты теоретической и экспериментальной оценки чувствительности квантового усилителя на парах бромида меди с заданными геометрическими параметрами ($l=50$ см, $d=3,2$ см, $V=402$ см³). Результаты показывают, что минимальный уровень входного сигнала, который может быть усилен квантовым усилителем, составляет $(0,001 \div 0,016)$ % от мощности усиленного спонтанного излучения.

Ключевые слова: квантовый усилитель, бромид меди, усиленное спонтанное излучение, собственный шум, входной сигнал, чувствительность.

The paper presents the theoretical and experimental estimation of sensitivity of the copper bromide vapor quantum amplifier ($l=50$ cm, $d=3,2$ cm, $V=402$ cm³). The results show that the minimal input signal, which can be amplified by the quantum amplifier, is $(0,001 \div 0,016)$ % of amplified spontaneous emission power.

Keywords: quantum amplifier, copper bromide, amplified spontaneous emission, own noise, input signal, sensitivity.

Квантовыми усилителями называют устройства, которые позволяют усиливать электромагнитные волны за счет вынужденного излучения. Такие усилители работают в различном диапазоне волн, в том числе в оптическом. Одной из важнейших особенностей квантовых усилителей является чувствительность – минимальный уровень входного сигнала, который может быть усилен в активной среде квантового усилителя. Чувствительность должна существенно превышать собственный шум квантового усилителя, который обусловлен спонтанным излучением.

Существуют теоретические методы оценки собственного шума квантового усилителя и минимального уровня входного сигнала (P'), который может быть усилен [1, 2]. Очевидно, что эти параметры зависят от активного вещества квантового усилителя, условий его работы и геометрических параметров активной среды усилителя.

В данной работе представлены результаты теоретической и экспериментальной оценки чувствительности квантового усилителя на парах бромида меди с геометрическими параметрами ($l=50$ см, $d=3,2$ см, $V=402$ см³). Теоретическая оценка базируется на работах [1, 2]. Экспериментальная оценка выполнена двумя способами: в самосопреженной схеме усиления и в

МОРА-системе. Аппроксимация экспериментальных данных выполнена согласно работе [3].

Теоретическая оценка показала, что мощность P' составляет 0,368 мкВт и 0,224 мкВт для спектральных линий $\lambda_1=510,6$ нм и $\lambda_2=578,2$ нм соответственно. Расчет выполнен для частоты следования импульсов 15 кГц. Экспериментальная оценка существенно отличается от теоретической. В самосопряженной схеме мощность P' находится в диапазоне (2,71÷31,61) мкВт, что составляет (0.001÷0.016)% от усиленного спонтанного излучения. В МОРА-системе мощность P' лежит в диапазоне (9,84÷15,12) мкВт, что составляет приблизительно (0.003÷0.010)% от усиленного спонтанного излучения. Схожесть результатов, полученных двумя разными способами, свидетельствует об их достоверности. Следовательно, чувствительность составляет единицы - десятки мкВт, что эквивалентно (0,001÷0,016)% от мощности усиленного спонтанного излучения. Экспериментальная оценка отличается на 1 или 2 порядка от теоретической, которая базировалась на оценке собственного шума. Следовательно, входной сигнал должен многократно превышать собственный шум, чтобы быть усиленным активной средой.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект №19-79-10096 - П.

1. Petrash G.G. Brightness amplifiers for optical devices. // Bulletin of the USSR Academy of Sciences. 1982. No. 2. P. 66-75 (in Russian).
2. Zemskov K.I., Kazaryan M.A., Petrash G.G. Optical systems with brightness amplifiers. // Works of the Physical Institute RAS. 1991. V. 206. P. 152 (in Rus.).
3. Hargrove R., Grove R., Kan T. Copper vapor laser unstable resonator oscillator and oscillator-amplifier characteristics. // J. Quantum Electronics. 1979. V.15, No.11. P. 1228-1233.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОЙ СРЕДЫ НА ПАРАХ ХЛОРИДА МАРГАНЦА

**П.И. Гембух, Н.А. Васнев, Д.В. Шиянов, М.В. Тригуб*

(Институт оптики атмосферы СО РАН, 634055, Россия, Томск, пл. Академика Зуева 1, *gembukh@iao.ru, vasnev_na@iao.ru, qel@iao.ru, trigub@iao.ru)

Исследованы усилительные характеристики активной среды на парах хлорида марганца. Усилительные характеристики получены как для видимой, так и для ближней ИК области спектра. Минимальный уровень входного сигнала для газоразрядной трубки с внутренними электродами составляет 0,7 мкВт и 0,47 мкВт для ИК и видимой области соответственно, для трубки с емкостными электродами 14 мкВт для ИК. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования исследуемой активной среды в качестве усилителя яркости в системах визуализации.

Ключевые слова: лазеры на парах металлов, пары марганца, усилительные характеристики, система визуализации.

The amplifying characteristics of active medium on manganese vapor was studied. The amplifying characteristics was achieved for both visible and near IR range. The minimum

power of input signal is equal to 0,7 μW (IR) and 0,47 μW (visible) for GDT with inner electrodes and 14 μW for GDT with capacitive electrodes. The results suggest that the studied active medium can be used as a brightness amplifier in the imaging systems.

Keywords: metal vapor lasers, manganese vapor, amplifying characteristics, imaging system.

Активные среды на парах металлов и их галогенидов обладают рядом свойств, позволяющих использовать их в системах визуализации. В таких системах активные среды используются в качестве усилителя яркости изображения, и важно иметь представление об усилительных характеристиках. Наибольшее распространение в качестве усилителей яркости получили среды на переходах атома меди. При этом, отдельный интерес представляет поиск новых альтернативных сред, включающих другие спектральные диапазоны[1], в частности ближний ИК диапазон – это обусловлено существованием материалов, которые прозрачны в ИК области спектра, что открывает новые возможности для неразрушающего контроля.

В данной работе в качестве активной среды было решено использовать пары хлорида марганца. Марганец имеет несколько спектральных линий излучения как в ближнем ИК диапазоне, так и в видимой области спектра, что потенциально делает его универсальным инструментом для проведения визуализации и неразрушающего контроля.

Для проведения исследования были разработаны и реализованы две газоразрядные трубки (ГРТ): с внутренними и емкостными электродами. ГРТ с внутренними электродами ($l=50$ см, $d=2,7$ см, $V=286$ см³) использовалась для исследования усилительных характеристик на относительно низких частотах (до 18 кГц), а ГРТ с емкостными электродами ($l=50$ см, $d=3$ см, $V=353$ см³) – на относительно высоких (56,5 кГц).

Сверхсветимость лазерного излучения ослаблялась нейтральными светофильтрами (НС) и с помощью глухого зеркала направлялась в активную среду (входной сигнал), на выходе ГРТ измерялась мощность однопроходного излучения (отдельно для видимого и ИК диапазона спектра). Путем деления мощности выходного сигнала на мощность входного определялся коэффициент усиления. Для выделения ИК области использовался фильтр ИКС-1, для видимой области использовался фильтр СЗС-25.

Минимальный уровень входного сигнала для ГРТ с внутренними электродами на частоте 17 кГц составил 0,7 мкВт для ИК диапазона и 0,47 мкВт для видимого диапазона, что сравнимо с аналогичными системами на парах меди и позволяет использовать ГРТ на парах марганца в системах визуализации. На частоте 56,5 кГц для ГРТ с емкостными электродами характерно преобладание ИК излучения над видимым, которое не удалось зарегистрировать. Минимальное входное излучение равно 14 мкВт для ИК области.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект №19-79-10096 - П.

1. Арапова Э.Я., Исаев А.А., Казарян М.А., Маркова С.В., Петраш Г.Г. Инфракрасный лазерный проекционный микроскоп. //Квантовая электроника.

1975. Т. 2. №7. С. 1568-1570.

АКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ НА ПЕРЕХОДАХ АТОМА НАТРИЯ С ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВАТЕЛЕМ

Н.В. Карасев, В.Б. Суханов М.В. Тригуб

(Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск, nvk@iao.ru, trigub@iao.ru)

В ходе работы была разработана конструкция активного элемента на переходах атома натрия. Приведена конструкция индукционного нагревателя и представлены результаты использования разработанной конструкции для получения спонтанного излучения атома натрия.

Ключевые слова: лазер на парах натрия, лазерная кювета, индукционный нагрев

In this work the active element on the sodium atom transitions was developed. The induction heater design was demonstrated, and the results of the spontaneous sodium atom radiation unit were introduced.

Keywords: sodium vapor laser, laser cell, induction heating

Натрий, как и любой щелочной металл, обладает достаточно большим количеством линий испускаемого спектра, которые лежат преимущественно в ИК-области [1]. Причиной этому является смещение кинетики заселенности уровней, объясняющееся теорией переноса резонансного излучения, характерного для оптической накачки [2]. Кроме того, пары натрия содержат не только отдельные атомы, но и двухатомные молекулы Na_2 , доля которых, хотя и не превышает нескольких процентов, возрастает с ростом температуры и концентрации активного вещества [3]. Двухатомные молекулы так же, как и отдельные атомы натрия, интересны с точки зрения испускаемого излучения.

Однако наблюдение линий, соответствующих переходам между возбужденными состояниями в спектре поглощения паров металла при сравнительно невысоких температурах невозможно, т.к. в холодных парах практически присутствуют только атомы в основном состоянии [4]. В качестве перспективного метода повышения температуры и, как следствие, концентрации паров активного вещества предлагается использование индукционного нагрева, для чего необходимо разработать лазерную кювету особой конструкции.

Внешне кювета представляет собой колбу из кварцевого стекла с четырьмя выходными окнами для обеспечения поперечной накачки. Внутри кюветы расположен небольшой тигель из нержавеющей стали, в который помещается натрий. Для лучшего теплоотвода фланцы выходных окон так же выполнены из стали. Разогрев тигля происходит с помощью индуктора, подключенного к индукционному нагревателю. Сразу следует отметить эффективность подобного способа нагрева по сравнению с резистивным, поскольку нагревается непосредственно тигель с активным веществом, а не корпус кюветы. Сама же кювета практически не требует дополнительных систем охлаждения, достаточно организовать обдув, в то время как температура стенки тигля может достигать 1000 °С.

В ходе испытаний было получено спонтанное излучение на парах натрия, отмечена высокая его интенсивность. Также была проведена оценка

давления паров активного вещества путем измерения их температуры. Кроме того, применение индукционного нагревателя значительно ускорило нагрев активного вещества и, как следствие готовность системы к работе.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-79-10096 - П.

- 1 Физические величины: справочник./под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова.– М.: Энергоатомиздат, 1991.– 1232 с.
- 2 Ямщиков В.М., Рогачев В.Г., Кудряшов Е.А., Качалин Г.Н. Перенос и пленение резонансного излучения в двухуровневой системе. // Оптика и спектроскопия.– 2020.–Т.128. №8.– С. 1160-1164.
- 3 Руденко А.А. Экспериментальное исследование спектров испускания и поглощения плотных паров натрия: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 01.04.08.– Моск. физ.-техн. ин-т. - 17 с.
- 4 Канорский С.И., Каслин В.М., Якушев О.Ф., Na₂-лазер с оптической накачкой. // Квантовая электроника.– 1980.–Т.7.– № 10.– С. 2201-2203.

СУВР-ЛАЗЕР С ИСТОЧНИКОМ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ЗАРЯДА НАКОПИТЕЛЬНОГО КОНДЕНСАТОРА

^{1,2*} К.Ю. Семенов,¹ П.И. Гембух, ^{1,2} М.В. Тригуб

(¹Институт оптики атмосферы СО РАН, 634055, Россия, Томск, пл. Академика Зуева 1, ²НИ Томский политехнический университет, 634050, Россия, Томск, проспект Ленина, дом 30, email: * semenovkostya98@gmail.com, gembukh@iao.ru, trigub@iao.ru

Получена генерация мощностью 1,6 Вт с частотой следования импульсов 36 кГц в активной среде на парах бромида меди при объеме активной зоны 157 см³. Заряд накопительной емкости лазера осуществлялся пачкой импульсов высокой частоты – более 250 кГц, за счет чего удалось уменьшить массу магнитопровода повышающего трансформатора более, чем в 10 раз, а его стоимость более, чем в 8 раз.

Ключевые слова: CuBr-лазер, многоступенчатый заряд конденсатора, пачка импульсов, резонансный инвертор, высоковольтный преобразователь.

The laser emission with power of 1,6 W and pulse repetition frequency of 36 kHz was obtaining for copper bromide vapor active medium. The active volume was 157 cm³. The storage capacitor was charged by high frequency pulse train. The frequency of pulses in the train was more than 250 kHz. High frequency allowed decreasing weight of magnetic element more than 10 times and its cost more than 8 times.

Keywords: CuBr-laser, multistage charge of capacitor, pulse train, resonant inverter, high-voltage converter

Одним из приоритетных направлений развития лазеров на парах металлов и их галогенидов является повышение их тактико-технических характеристик, что позволит расширить сферу применения таких лазеров, а также улучшить существующие системы на их основе.

Источник возбуждения таких сред состоит, как правило, из двух блоков – блок заряда накопительной емкости и высоковольтный коммутатор, например, тиратрон. Блоки с импульсным зарядом рабочей емкости [1] заряжают накопительный конденсатор за один импульс, длительность

которого в существующих технических решениях варьируется от 7 до 20 мкс, что требует высокой индуктивности от зарядного дросселя и высоковольтного повышающего трансформатора, и, как следствие, высокой стоимости этих магнитных элементов. Уменьшить длительность импульса заряда при сохранении мощности, передаваемой в конденсатор, – задача достаточно сложная технически, т.к. при этом возрастают амплитудное и действующее значения тока в цепи заряда. Коллективом авторов было предложено и реализовано техническое решение, позволяющее производить заряд накопительной емкости CuBr-лазера пачкой импульсов высокой частоты – от 200 до 400 кГц. Период следования пачки равен периоду работы тиратрона. В зависимости от емкости накопительного конденсатора может изменяться количество пар заряжающих импульсов для достижения требуемых мощностных параметров.

Предложенный алгоритм работы зарядного блока был получен при использовании последовательно мостового инвертора, в диагонали которого последовательно с первичной обмоткой трансформатора были расположены дроссель и конденсатор контура. Емкость контурного конденсатора в 5-20 раз меньше пересчитанной в первичную цепь емкости накопительного конденсатора.

Для визуализации быстропротекающих процессов одним из важнейших параметров является временное разрешение [2], определяемое частотой работы активного элемента. В реализованном экспериментальном макете была получена частота 36 кГц, ограниченная временем восстановления электрической прочности тиратрона ТГИ1-270/12. Мощность генерации при снабжении активного элемента (объемом 157 см³) плоскопараллельными резонаторами составила 1,2 Вт, а при подаче в активную зону водородсодержащей добавки мощность составила 1,6 Вт.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект №19-79-10096-П.

1. Тригуб М.В., Огородников Д.Н., Димаки В.А. // Оптика атмосферы и океана.– 2014.-Т. 27.- № 12.–С. 1112.
2. Trigub M.V., Evtushenko G.S., Torgaev S.N., Shiyarov D.V., Evtushenko T.G. //Optics Communications. 2016. V. 376. P. 81. doi 10.1016/j.optcom.2016.04.039

АКТИВНАЯ СРЕДА НА ПАРАХ ХЛОРИДА МАРГАНЦА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ВИДИМОМ И БЛИЖНЕМ ИК ДИАПАЗОНАХ СПЕКТРА

Н.А. Васнев¹, П.И. Гембух¹, М.В. Тригуб^{1,2}

(¹Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск, vasnev_na@iao.ru, gembukh@iao.ru, trigub@iao.ru, ²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, trigub@tpu.ru)

На основе усилителя яркости на парах хлорида марганца (MnCl₂)с заданными геометрическими параметрами (l=50 см, d=2,7 см, V=286 см³) реализована активная оптическая система (лазерный монитор), предназначенная для построения

изображений одновременно в видимой и ИК областях спектра. Показана принципиальная возможность наблюдения процессов, экранированных фоновой засветкой, в лазерном мониторе, работающем в ИК области. Сформулированы требования к работе активной среды для получения более качественных изображений.

Ключевые слова: квантовый усилитель, хлорид марганца, усиленное спонтанное излучение, визуализация, ИК область спектра.

An active optical system (laser monitor) is implemented based on a manganese chloride ($MnCl_2$) vapor brightness amplifier with specified geometric parameters ($l=50$ cm, $d=2.7$ cm, $V=286$ cm³). This system is designed to build images simultaneously in the visible and IR regions of the spectrum. The fundamental possibility of observing processes shielded by background illumination in a laser monitor operating in the IR region is shown. The requirements of the active medium operation for obtaining better images are formulated.

Keywords: quantum amplifier, manganese chloride, amplified spontaneous emission, imaging, IR region of the spectrum.

Расширение спектрального диапазона активных сред на парах металлов является одним из приоритетных направлений их исследований, что позволяет расширить их область практического использования. Активная среда на парах хлорида марганца ($MnCl_2$) представляет интерес тем, что обладает несколькими спектральными линиями излучения как в видимом, так и в ближнем ИК диапазоне. Также данная среда может работать при высоких частотах следования импульсов (ЧСИ) излучения и усиления. В частности, при ЧСИ 100 кГц были зафиксированы две спектральные линии видимого

диапазона

($\lambda_1=534,1$ нм; $\lambda_2=542,0$ нм), а также три спектральные линии в ИК диапазоне ($\lambda_3=1,289$ мкм; $\lambda_4=1,332$ мкм; $\lambda_5=1,362$ мкм)[1].

Активный элемент на парах хлорида марганца с указанными геометрическими параметрами ($l=50$ см, $d=2,7$ см, $V=286$ см³) возбуждался с ЧСИ 17 кГц. Суммарная мощность генерации составила 715 мВт. Мощность усиленного спонтанного излучения (P_0) при этом была равна 30 мВт. Использование спектральных фильтров на видимый (СЗС-22) и ИК (ИКС-1) диапазоны позволило зарегистрировать мощность усиленного спонтанного излучения на уровне 17 и 9 мВт соответственно.

Для одновременной визуализации в видимой и ИК областях спектра были использованы камера машинного зрения BaumerVLG-20C и SWIR-камера (SVUS000) с InGaAs-сенсором соответственно. Импульсно-периодический режим работы усилителя и съемка камер согласовывались посредством разработанной системы синхронизации на основе микроконтроллеров STM32F03C. Изображения тестовых объектов, полученные в видимой области спектра, характеризуются достаточно высокой яркостью и контрастностью как для визуального анализа, так и для математической обработки. В ИК области изображения также были получены, но их численные показатели качества значительно хуже – например, при обработке одинаковых фрагментов изображений в ИК области спектра яркость пикселей оказалась в 4 раза ниже. Поле зрения составило 2,5 и 3 см при использовании объективов Индустар 51 ($f=210$ мм) и ОКП1-250 ($f=250$ мм)

соответственно.

Визуализация горения бенгальской свечи показывает принципиальную возможность наблюдения подобных процессов в ИК области с помощью активных сред на парах металлов. Полученные изображения позволяют рассмотреть, каким изменениям подвергаются рельеф и форма объекта по мере его горения. Скорость горения свечи составила приблизительно 2,8 мм/с. Результаты позволяют сформулировать требования к системам на основе подобных сред, среди которых использование SWIR-камеры с более высоким пространственным разрешением и более чувствительным фотоэлементом.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект №19-79-10096 - П.

- 1 ShiyanovD.V., TrigubM.V., SokovikovV.G., EvtushenkoG.S. MnCl₂laserwithpulse repetition frequency up to 125 kHz. // Optics and Laser Technology. 2020. V. 129. DOI: 10.1016/j.optlastec.2020.106302.

СИСТЕМА ВОЗБУЖДЕНИЯ АКТИВНЫХ СРЕД НА ПАРАХ ГАЛОГЕНИДОВ МЕТАЛЛОВ С РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

М.В. Тригуб^{1,2}, Н.А. Васнев¹, В.О. Троицкий¹

(¹Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск, trigub@iao.ru,
vasnev_na@iao.ru, gel@iao.ru, ²Национальный исследовательский Томский
политехнический
университет, Томск, trigub@tpu.ru)

Представлены результаты разработки и испытания системы возбуждения активных сред на парах галогенидов металлов с расширенными функциональными возможностями. Система состоит из двух высоковольтных источников питания и блока синхронизации, который предназначен для управления частотно-временными параметрами накачки. Благодаря схемотехническим решениям, реализуется режим возбуждения с широким диапазоном регулирования задержки между высоковольтными импульсами возбуждения, а также с возможностью независимого изменения энергетических параметров каждого импульса. С помощью разработанной системы проведено возбуждение активной среды большого объема ($V=1767\text{см}^3$), показана возможность получения нетипичных режимов генерации (усиления).

Ключевые слова: активные среды, пары галогенидов металлов, усилитель яркости, управление генерацией.

The results of the development and testing of an active media excitation system based on metal halide vapor with extended functionality are presented. This system contains two high-voltage power supplies and synchronization unit, which is used for control of frequency-time parameters of pumping. The excitation mode with a wide range of time delay between high-voltage pulses is implemented by means of technical solutions. There is possibility to independently change the energy parameters of each pulse. Active medium with large volume ($V=1767\text{ cm}^3$) was excited by developed system, the possibility of obtaining atypical modes of lasing (amplification) is shown.

Keywords: active media, halide metal vapor, brightness amplifier, lasing control.

Расширение области применения активных сред на парах металлов и галогенидов металлов зависит от повышения эффективности возбуждения, срока службы активных элементов и расширения функциональных возможностей. В частности, в последние годы данные среды стали активно применяться для решения задач визуализации процессов, экранированных фоновой засветкой [1]. Несмотря на то, что максимальная частота следования импульсов (ЧСИ) генерации CuBr-лазера составляет порядка 700 кГц [2], до сих пор нет информации о создании усилителей оптических сигналов с диаметром активной зоны не менее 1 см с такими ЧСИ.

Повышение предельных ЧСИ усиления, а также расширение функциональных возможностей, в частности, реализация оперативного управления усилительной характеристикой среды в рамках каждого импульса, возможно за счет использования модифицированных систем возбуждения. Для этих целей предлагается использовать два источника накачки, импульсно-периодические режимы работы которых управляются прецизионным блоком синхронизации. При этом предполагается независимое изменение энергетических параметров каждого импульса, а также варьирование временных задержек между импульсами возбуждения основного и дополнительного источника питания в диапазонах единицы-десятки мкс и сотни-десятки нс.

В работе представлены результаты апробации разработанной системы возбуждения при накачке активного элемента на парах бромида меди с длиной активной зоны 90 см и диаметром 5 см. ЧСИ возбуждения составила 11,85 кГц, мощность основного источника накачки – 1730 Вт, амплитуда импульсов возбуждения – 15 кВ. Мощность второго источника накачки варьировалась от 200 до 1100 Вт, а амплитуда импульсов возбуждения – от 6,5 до 15 кВ.

Показана возможность оперативного управления усилительной характеристикой. Представлены технические решения, обеспечивающие такой режим работы.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект №19-79-10096 - П.

1 Evtushenko G.S. Methods and Instruments for Visual and Optical Diagnostics of Objects and Fast Processes // Nova Science Publishers Inc. 2018. 184 p.

2 Нехорошев В.О., Федоров В.Ф., Евтушенко Г.С., Торгаев С.Н. Лазер на парах бромида меди с частотой следования импульсов до 700 кГц. // Квантовая электроника.– 2012.–V. 42.– № 10.–Р. 877–879.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОДИССОЦИОННОГО СПОСОБА ГЕНЕРАЦИИ ВЫНУЖДЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПЕРВЫХ РЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕХОДАХ АТОМОВ NA И K

В.Г. Соковиков, А.Н. Куряк, Н.В. Карасев, М.В. Тригуб, Д.В. Шиянов
(Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, gel@liao.ru)

Исследована возможность реализации фотодиссоционного лазера на первых резонансных линиях атомов Na и K при оптической накачке излучением 212.8 нм галогенидов этих металлов. В качестве исследуемых солей металлов были выбраны NaJ, NaBr, KJ и KBr. В солях NaJ и KBr получено усиленное спонтанное излучение на линиях $\lambda = 589.6$ нм натрия и $\lambda = 766.5$ нм калия. При этом излучение на резонансной линии калия наблюдалось впервые.

Ключевые слова: фотодиссоциация, резонансная линия, галоид щелочного металла

The possibility of realizing a photodissociation laser on the first resonant lines of Na and K atoms at optical pumping by radiation 212.8 nm of halogenides of these metals was studied. NaJ, NaBr, KJ, and KBr were chosen as the investigated metal salts. The NaJ and KBr salts produced stimulated emission at the $\lambda = 589.6$ nm sodium and $\lambda = 766.5$ nm potassium lines. At the same time, the emission at the resonance line of potassium, which we obtained, was observed for the first time.

Keywords: photodissociation, resonant line, alkali metal halide

Для ряда практических применений несомненный интерес представляет лазерное излучение, реализованное в процессе фотодиссоциации (ФД) галогенидов щелочных металлов, т.е. фотодиссоционные лазеры (ФДЛ) [1].

Для исследования этих процессов были выбраны соли натрия и калия. Проведен анализ физических свойств восьми солей, образуемых этими атомами. Также проведен расчет пороговых значений волновых чисел уровней и соответствующих им длин волн λ (нм) излучения накачки.

На данном этапе исследования ФДЛ были выбраны соли NaJ, NaBr, KJ и KBr. В качестве источника накачки использовалось УФ излучение на суммарной частоте второй и третьей гармоник АИГ:Nd³⁺ лазера с длиной волны

$\lambda = 212.8$ нм.

Анализ спектров соли NaJ показал, что, начиная с температуры кюветы 450⁰С излучение накачки с $\lambda = 212.8$ нм возбуждало спонтанное излучения на известных резонансных линиях натрия $\lambda_1 = 589.6$ нм и $\lambda_2 = 589.0$ нм. По мере нагревания кюветы до температуры 600⁰С излучение длинноволновой линия натрия с $\lambda_1 = 589.6$ нм переходило в режим усиленного спонтанного излучения (УСИ). Дальнейший срыв режима УСИ обусловлен появлением поглощения на резонансных линиях атома натрия вследствие невозможности его рекомбинации обратно в молекулу соли из-за ухода паров йода в холодные зоны кюветы.

Спектра соли KBr показал, что спонтанное излучение на резонансных переходах калия с длинами волн $\lambda_1 = 770.0$ нм, $\lambda_2 = 766.5$ нм появлялось при температуре кюветы 560⁰С. Дальнейшее увеличение температуры кюветы приводило к переходу излучения коротковолновой компоненты резонансного дублета калия с $\lambda_1 = 766.5$ нм в режим УСИ. При длительной эксплуатации кюветы наблюдалось монотонное снижение интенсивности УСИ с $\lambda_1 = 766.5$ нм вследствие срыва режима УСИ из-за стационарного поглощения на резонансных линиях атома калия.

Оптическая накачка паров NaBr и KJ сопровождалась только появлением спонтанного излучения на резонансных линиях. В первом случае это объясняется тем, что длина волны накачки $\lambda = 212.8$ нм недостаточна для

преодоления пороговых значений. Во втором случае наблюдаемый спектр демонстрировал наличие провалов обусловленных самообращением линий, что является следствием появления в активной среде атомов калия в основном состоянии.

Отметим, что согласно проведенному анализу пороговые значения длин волн накачки для паров солей KBr ($\lambda_p = 223$ нм), KJ ($\lambda_p = 250$ нм) NaJ ($\lambda_p = 235$ нм) являются более длинноволновыми, чем излучение с $\lambda = 212.8$ нм. Поэтому есть основания надеяться на то, что для реализации ФДЛ на этих солях можно использовать эксимерный лазер на молекуле KrCl* (223 нм).

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №14-19-00175-П.

1. Ehrlich D.J., Osgood R.M. Metal - Atom Resonance-Line Lasers.// IEEE J. Quantum Electronics. 1980. V.16. №5. P.380-392.

МАСШТАБИРОВАНИЕ НАКАЧКИ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ ЕВРОПИЯ

А.Г. Филонов, Д.В. Шиянов

(Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, gel@iao.ru)

Представлены энергетические характеристики лазера на парах атомарного европия с активным объемом 314 см^3 , работающего на длине волны $1,76 \text{ мкм}$. При использовании двухкаскадной системы возбуждения с поочередным запуском и с импульсным автотрансформатором удалось повысить мощность накачки до 3.5 кВт . Это позволило впервые получить мощность генерации более 4 Вт с большим сроком службы. Максимальный КПД лазера 0.3% получен при мощности накачки менее 1 кВт .

Ключевые слова: лазер на парах европия, импульсный автотрансформатор, обострительный конденсатор

The energy characteristics of a europium atomic vapor laser with an active volume of 314 cm^3 operating at a wavelength of $1.76 \text{ }\mu\text{m}$ are presented. Using a two-cascade excitation system with alternating starting and with a pulsed autotransformer, it was possible to increase the pumping power up to 3 kW . This allowed for the first time to obtain output power of more than 4 W with a long lifetime. The maximum laser efficiency of 0.3% was obtained with a pumping power of less than 1 kW .

Keywords: europium vapor laser, pulse autotransformer, peaking capacitor

Генерация в парах европия реализована на нескольких линиях в видимой и ИК областях спектра на атоме 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 был реализован столкновительный режим генерации. В связи с этим не уделялось должного внимания работе атомного лазера на длине волны $\lambda=1.76 \text{ мкм}$.

В работе [1] нами была продемонстрирована стабильная работа лазера на парах европия, рабочий объем которого составлял 157 см^3 (диаметр рабочего канала - 2 см , длина - 50 см) в течении длительного времени. Средняя

мощность излучения на основной линии 1.76 мкм превышала 1 Вт при мощности накачки до 1.5 кВт. Таким образом, это позволило надеяться на дальнейшее увеличение выходных характеристик.

Известно, что один из путей улучшения основных выходных характеристик лазера заключается в увеличении объема активной среды и увеличении мощности накачки. Исходя из этого была изготовлена газоразрядная трубка (ГРТ) с активным объемом 314 см³ (диаметр рабочего канала - 2 см, длина - 100 см). Для накачки лазеров использовалась двухкаскадная система с поочередным запуском тиратронов ТГИ1-1000/25 (P_{нак} до 3.5 кВт) с импульсным кабельным автотрансформатором и обострительным конденсатором (C_{об}). Это позволяло увеличить напряжение на ГРТ до 19 кВ и уменьшить длительности импульсов напряжения до 130 нс и тока до 200 нс, соответственно.

Выбор оптимальных условий накачки показал, что оптимальная частота лазера составляет 7 кГц (по 3.5 кГц на каждом канале), а оптимальные емкости составляют 2.76-4.43 нФ. При этом оптимальные емкости обострителя лежат в пределах 0.27 -0.34 нФ. Максимальная мощность генерации составила 4.2 Вт с емкостью 4.43 нФ и мощности накачки ~ 2.6 кВт. Максимальный КПД 0.3% получен при пониженной мощности накачки менее 1 кВт, что характерно для всех лазеров на парах металлов. Стоит отметить, что дальнейшее повышение уровня накачки приводило к перегреву стенки ГРТ и снижению мощности генерации. Поэтому уменьшение слоя теплоизоляции возможно позволит дополнительно увеличить мощность генерации лазера. Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №14-19-00175-П.

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

ЛАЗЕРЫ НА ПАРАХ ГАЛОГЕНИДОВ МЕТАЛЛОВ С ВНУТРЕННИМ РЕАКТОРОМ

Д.В. Шиянов¹, В.Б. Суханов¹, Г.С. Евтушенко^{2,3}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, gel@iao.ru,

²Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, Москва, ³Томский политехнический университет, evt@tpu.ru)

Приводятся результаты исследования частотно-энергетических характеристик лазеров на парах галогенидов меди, марганца, свинца, а также их сплавов с внутренним реактором. Конструкции газоразрядных трубок лазеров оснащались несколькими вариантами генераторов галогенов, отличающиеся способом подачи галогена в активную среду. Результаты показывают, что по своим характеристикам такие системы не уступают стандартным лазерам на парах галогенидов металлов. По аналогии с ними установлено положительное влияние водородосодержащих добавок на выходные характеристики исследуемых лазеров.

Ключевые слова: галогенид металла, внутренний реактор, генератор галогена.

The results of studies of the frequency-energy characteristics of copper, manganese, and

lead halide vapor lasers and their alloys with an internal reactor are presented. Designs of gas-discharge tube lasers were equipped with several variants of halogen generators, differing in the way the halogen is fed into the active medium. The results show that these systems are not inferior in their characteristics to standard metal halide vapor lasers. By analogy, the positive effect of hydrogen-containing additives on the output characteristics of the lasers under study was established.

Keywords: metal halide, internal reactor, halogen generator.

Ранее в [1] мы предложили новый способ получения генерации в парах металлов, который назвали лазеры на парах галогенидов металлов с внутренним реактором. Принцип работы таких систем заключается в следующем. Во время работы лазера в газовый разряд из генератора галогена с помощью нагревателя подается галоген в чистом виде (I_2 , Br_2 , Cl_2), который взаимодействует с кусочками металла, расположенными в канале газоразрядной трубки (ГРТ), и образуется галогенид металла. Затем галогенид металла диссоциирует в разряде термически и за счет электронного удара, а затем происходит возбуждение атомов меди электронным ударом на верхний лазерный уровень.

В качестве генераторов галогенов мы использовали: йод в чистом виде, генераторы, работающие по принципу цеолитового сита, насыщенные бромом (хлором), а также дибромиды (дихлориды) исследуемых металлов. Конструкции ГРТ лазеров оснащались внутренними электродами с традиционной накачкой и внешними электродами с емкостной барьерной накачкой, когда отсутствует контакт с рабочей средой.

Сравнение энергетических характеристик лазеров на парах галогенидов металлов с внутренними реакторами (Cu, Mn, Pb) и их аналогами на парах галогенидов металлов показало, что они показывают идентичные характеристики. Так в лазерах на переходах атома меди с объемом активной зоны от 50 до 1200 см³ реализованы мощности генерации на линиях 510.6 и 578.2 нм от 3.5 до 10.5 Вт с участием водородосодержащих добавок. Кроме этого, были определены оптимальные давления буферных газов, частоты следования импульсов, температуры стенки ГРТ, мощности накачки исследуемых металлов как для видимой, так и для ИК области спектра в случае Mn. С помощью такого способа реализована одновременная генерации на нескольких линиях излучения в сплавах металлов (Cu:Pb, Cu:Mn) и показана возможность перестраивания излучения на переходах одной компоненты сплава к генерации на переходах другой при изменении условий накачки.

Проведенные исследования позволяют заключить, что рассмотренные системы обладают некоторыми преимуществами перед своими аналогами. Например, появляется возможность регулирования паров галогена с низкой температурой получения любых солей (20-150⁰С) в одной ГРТ, уменьшается время выхода лазера на рабочий режим, а при жесткой фиксации металла возможна работа ГРТ в вертикальном положении.

Работа выполнена в рамках гранта РФФ №14-19-00175-П.

1. Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С., Ткаченко Н.Ю. Лазер на парах иодида меди с внутренним реактором. // Оптика атмосферы и океана.– 2012.– Т.25. №8.– С.721-726.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ЯРКОСТИ С ПОНИЖЕННЫМ ЭНЕРГОВКЛАДОМ В РАЗРЯД

С.Н. Торгаев^{1,3}, А.Е. Кулагин^{1,2}

(¹Томский политехнический университет, ²Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, ³Томский государственный университет, torgaev@tpu.ru)

В работе представлены результаты моделирования активной среды на парах бромида меди, работающей при высоких частотах следования импульсов накачки в режиме пониженного энергозатрата в разряд. Моделирование проводилось для частот следования 100-500 кГц с использованием детальной кинетической модели активной среды. В результате моделирования показано влияние энергозатрата на генерационные и усилительные характеристики активной среды малого объема.

Ключевые слова: усилитель яркости, активная среда на парах металлов, кинетическое моделирование, частота следования импульсов, сверхизлучение.

The paper presents the results of model studies of a brightness amplifier based on copper bromide vapor at high pump pulse repetition rates (from 100 to 500 kHz). For the frequency range 100–300 kHz, the experimental ones confirm the calculated data. This allows us to conclude that further advancement to the region of high frequencies (up to 500 kHz, and possibly even higher) is real.

Keywords: brightness amplifier, metal vapor active media, kinetic modeling, pulse repetition rate, superradiance.

На сегодняшний день максимальные частоты следования импульсов накачки для активных сред на парах металлов составляют 700 кГц для CuBr-лазера и 1 МГц – для лазера на парах стронция. Данные частоты достигаются при работе активной среды в режиме генератора. Однако одним из перспективных направлений использования данного типа сред является построение на их основе активных оптических систем [1]. В данном случае активная среда работает в режиме сверхизлучения (режим усилителя яркости). При этом максимальная частота следования импульсов излучения была достигнута для активной среды на парах бромида меди и составляет 200 кГц [2]. При этом отсутствуют детальные исследования процессов в плазме активных сред при высоких частотах в режиме сверхизлучения. Целью данной работы является проведение кинетических исследований процессов в активной среде на парах бромида меди при ЧСИ от 100 до 500 кГц в режиме пониженного энергозатрата в разряд.

Исследования проводились с использованием ранее разработанной кинетической модели активной среды на парах бромида меди. Подробное описание модели приводится в работах [3, 4]. Моделирование проводилось при использовании экспериментального импульса накачки. В ходе моделирования исследовалось влияние энергозатрата в разряд на среднюю мощность излучения при работе активной среды на высоких частотах следования. Варьирование энергозатрата в разряд осуществлялось за счет

изменения длительности импульса накачки по полувысоте.

В результате исследований было показано, что оптимальные значения средней мощности излучения достигаются при снижении удельного энергозатрата в разряд с ростом частоты следования импульсов накачки. В частности, при частоте следования импульсов накачки 150 кГц оптимальное значение энергозатрата составляло 172 мкДж/см³, а при частоте следования 500 кГц – 115 мкДж/см³.

Результаты моделирования показывают, что снижение энергозатрата в разряд может позволить получать частоты следования импульсов излучения в активных средах на парах бромида меди до 500 кГц при работе в режиме сверхизлучения. Однако в данном случае необходима разработка источника накачки, позволяющего получать высоковольтные импульсы с длительностью порядка 10 нс.

1. Methods and Instruments for Visual and Optical Diagnostics of Objects and Fast Processes. /Ed. Gennadiy Evtushenko, Nova Publishers, 2018, 236 p.
2. Musorov I.S., Torgaev S.N., Evtushenko G.S. A CuBr-Based Brightness Amplifier with a Repetition Frequency of Superradiance/Amplification Pulses up to 200 kHz. // Technical Physics Letters. 2021. V. 47. No 9.P. 862–865.
3. Kulagin A.E., Torgaev S.N., Evtushenko G.S. Kinetic modeling of amplifying characteristics of copper vapor active media for a wide range of input radiation power. // Optics Communications. 2020. V.460. No 4.P. 1–6.
4. Torgaev S.N., Kulagin A.E., Evtushenko T.G., Evtushenko G.S. Kinetic modeling of spatio-temporal evolution of the gain in copper vapor active media. // Optics Communications. 2019. V. 440. P. 146-149.

ЗАЩИЩЕННАЯ МЕТОДАМИ КВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА

С.Н. Торгаев^{1,2}, Д.Е. Каширский¹, М.Л. Громов^{1,2}, И.А. Чащин¹

(¹Томский государственный университет, ²Томский политехнический университет, Томск, torgaev@mail.tsu.ru)

В работе рассматривается вопрос создания телекоммуникационной системы, защищенной методами квантовой криптографии. Отличительной особенностью разрабатываемой системы является реализация модулей приема-передачи и шифрования данных, а также квантового распределения ключей в рамках единого устройства. Квантовая телекоммуникационная система строится на базе системы на кристалле ПЛИС.

Ключевые слова: квантовые коммуникации, аппаратное шифрование, система на кристалле, ПЛИС.

The paper considers the issue of creating a telecommunication system protected by quantum cryptography methods. A distinctive feature of the developed system is the implementation of modules for receiving and transmitting and data encryption, as well as quantum key distribution within a single device. The quantum telecommunication system is built based on the FPGA system-on-a-chip.

Keywords: quantum communication, hardware encryption, system-on-a-chip, FPGA.

Существующие на сегодняшний день системы квантовой коммуникации, как правило, имеют модульный принцип построения, т.е. существуют отдельные реализации систем квантового распределения ключей, шифрования и приема-передачи данных. Данная работа нацелена на разработку квантовой телекоммуникационной системы в рамках единого устройства.

Для построения телекоммуникационной системы предлагается использовать систему на кристалле ПЛИС [1]. Преимуществом такой технологии является возможность реализации как аппаратных решений, так и программной обработки в рамках одного кристалла.

Для осуществления квантового распределения ключей предполагается использовать двухпроходную оптоволоконную схему “Plug&Play”, реализующую протокол BB84 [2]. Управление работой активных оптоволоконных компонентов схемы (лазер, фазовый модулятор, детектор одиночных фотонов) осуществляется с помощью ПЛИС, а управление установкой и обработка криптографических ключей производятся с помощью программного обеспечения для операционной системы семейства Linux, что становится возможным благодаря наличию процессора, размещенного на кристалле ПЛИС. Благодаря этому можно сделать систему более компактной и дешевой за счет, например, отсутствия в необходимости использования персональных компьютеров, дополнительного оборудования и платного программного обеспечения как в [3].

Распределенные криптографические ключи будут использоваться для аппаратного шифрования передаваемых по сети данных на том же ПЛИС. Алгоритм шифрования данных будет построен согласно ГОСТ Р 34.12-2015 и ГОСТ Р 34.13-2015.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030), проект № 2.4.6.22 ИГ

1. Тарасов И. Применение ПЛИС класса «система на кристалле» XilinxZynq и подходы к проектированию на основе языков описания аппаратуры высокого уровня. // Электроника НТБ.– 2019.–№4.–С. 62–66.DOI: 10.22184/1992-4178.2019.185.4.62.66.
2. Баумейстер Д., Экерт А., Цайлингер А. Физика квантовой информации. «Постмаркет». 2002.– 376 с.
3. RodiminV.E., KiktenkoE.O., UsovaV.V., PonomarevM.Y., KazievaT.V., MillerA.V., SokolovA.S., KanapinA.A., LosevA.V., TrushechkinA.S., AnufrievM.N., PozharN.O., KurochkinV.L., KurochkinY.V., FedorovA.K. Modularquantumkeydistributionsetupforresearchanddevelopmentapplications. // J.RussianLaserResearch. 2019.V. 40.No.3. P. 221–229.

СЕКЦИЯ Б-2 – НАНОТЕХНОЛОГИИ

ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, ФОРМИРУЕМОГО В ХИМИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ВОДЕ НА ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАННОМ МЕТАЛЛЕ

А.П. Бойченко¹, В.А. Лифиренко¹, Д.С. Овеченко¹, С. Стоядинович²
(¹Кубанский государственный университет, Краснодар,
bojchenco@yandex.ru, ²Белградский университет, Белград, Сербия,
sstevan@ff.bg.ac.rs)

На примере отожженного алюминия при температурах 623 и 823 К зарегистрирована разно-интенсивная электролюминесценция его оксида, анодно-электролизно формируемого в химически чистой, дистиллированной воде. Показано, что термомодификация кристаллической структуры металла существенно влияет на эти процессы.

Ключевые слова: электролюминесценция, термомодификация, дистиллированная вода, анодирование, оксид алюминия

On the example of annealed aluminum at temperatures of 623 and 823 K, different-intensity electroluminescence of its oxide, formed anode-electrolytically in a chemically clean, distilled water, was registered. It is shown that the thermal modification of the crystal structure of the metal significantly affects these processes.

Keywords: electroluminescence, thermomodification, distilled water, anodizing, aluminum oxide

Генерируемая при электролизном формировании нанопористого оксида

алюминия (Al_2O_3) электролюминесценция (ЭЛ) остается в фокусе внимания многих исследователей в связи с возможностью ее использования для контроля этапов зарождения, формирования и роста пор [1, 2]. Однако вопрос о механизме самой ЭЛ, природе ее центров остается дискуссионным и, как показывает библиографический анализ, наименее исследованным по сравнению с процессами анодирования алюминия (Al) в различных электролитах [3, 4]. Недавние исследования по высоковольтному анодированию Al в химически чистой, дистиллированной воде (ДВ), наметили прогресс в этом направлении [5, 6]. Вместе с тем одним из открытых пока остается вопрос о влиянии структуры кристаллической решетки самого анодируемого металла на возможность генерации ЭЛ и ее характеристики, впервые рассмотренный в [7]. Настоящая работа посвящена результатам первых исследований в этом направлении на примере использования ДВ.

Как и ранее в [5, 6] для исследований использовалась Al-проволока чистотой металла 99,999%, которая перед анодированием в ДВ подвергалась одночасовому отжигу при температурах 623 и 823 К. Данные рентгенофазного анализа показали существенные изменения перестройки структуры металла, наибольшая из которых наблюдалась при 623 К. Эта же проволока при анодировании в ДВ обладала наибольшей светимостью ЭЛ формируемого на ней оксида, превышающая в максимуме $\sim 7,4$ раза таковую для контрольного образца, тогда как для отожженного при 823 К светимость ЭЛ ее Al_2O_3 была во столько же раз меньше. Различается и сама кинетика этого параметра. Так для «низкотемпературного» образца рост светимости люминесценции начинался с момента ее зажигания на 162 ± 13 с примерно через 740 достигал максимума $\sim 7,5 \cdot 10^{-4} \text{lm/m}^2$, тогда как «высокотемпературный» образец проявлял зажигание ЭЛ лишь к 244 ± 69 с анодирования, а максимум ее светимости порядка 10^{-4}lm/m^2 достигал к 517 ± 125 с. Вместе с тем каких-либо достоверно значимых различий в толщине Al_2O_3 и диаметре пор его ячеисто-нанопористой структуры обнаружено. Однако, в случае отожженного металла при 623 К, ячейки сформированного на нем оксида имели наибольшую толщину стенок, в $\sim 1,5$ раза отличающуюся от таковых для контрольного образца и отожженного при 823 К. Из полученных результатов следует, что термическая модификация исходной кристаллической решетки металла играет существенную роль при его анодировании в ДВ и сопровождающую этот процесс ЭЛ.

1. Zeković Lj.D., Urošević V.V. New investigations of the interference effect in electroluminescence of anodic films on aluminum. // *Thin Solid Films*. 1981. V. 86. Iss. 4. P. 347–350.
2. Zeković Lj.D., Urošević V.V., Jovanić B. Determination of anodic oxide film thickness by a luminescence method. // *Appl. Surface Sci*. 1982. V. 11–12. P. 90–99.
3. Gu J.-J., Yang S.-M., Dong M.-Y. et al. Study on magnetic and optical properties of porous anodic alumina/Co composite films with rainbow structural color prepared by an annular carbon electrode. // *J. Alloys and Compounds*. 2017. V. 728. P. 93–99.

4. Martinez-Viademonte M.P., Abrahami S.T., Hack T. et al. A review on anodizing of aerospace aluminum alloys for corrosion protection. // Coatings. 2020. V.10. 30p.
5. Ovechenko D.S., Boychenko A.P. Glow of metals during anodization in distilled water. // Technical Physics Letters. 2019. V. 45. Iss. 5. P. 503–506.
6. Овеченко Д.С., Бойченко А.П. Спектры электролюминесценции и структура анодного оксида алюминия при его формировании в химически чистой воде и спиртах. // Оптика и спектроскопия.–2021.–Т. 129. Вып. 3.–С. 362–370.
7. Kasalica B., Belča I., Stojadinović S. et al. Nature of Galvanoluminescence of Oxide Films Formed by Aluminum Anodization in Inorganic Electrolytes. // J. Phys. Chem. 2007. V.111. Iss.33. P. 12315–12319

РОСТ, НАНОСТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ОКСИДА ТАНТАЛА, АНОДИРУЕМОГО В ХИМИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ВОДЕ

А.П. Бойченко, О.В. Клевцов

(Кубанский государственный университет, Краснодар, bojchenco@yandex.ru)

В работе представлены результаты по анодно-электролизному формированию оксида тантала (Ta_2O_5) в химически чистой (дистиллированной) воде и явлению генерации сопровождающей этот процесс электролюминесценции (ЭЛ), носящей вспышечный характер. Показано, что разно-интенсивным вспышкам ЭЛ соответствуют разно-размерные поры различной геометрии и диаметром от 40 nm до 1 μm , хаотично формирующиеся в прилегающем к металлу слое Ta_2O_5 .

Ключевые слова: электролюминесценция, дистиллированная вода, анодирование, тантал, оксид тантала

The paper presents the results on the anodic electrolysis formation of tantalum oxide (Ta_2O_5) in chemically pure (distilled) water and the phenomenon of generation of electroluminescence (EL) accompanying this process, which has a flash character. It is shown that different-intensity EL flashes correspond to different-sized pores of various geometries and diameters from 40 nm to 1 μm , which randomly form in the Ta_2O_5 layer adjacent to the metal.

Keywords: electroluminescence, distilled water, anodizing, tantalum, tantalum oxide

Металлический тантал (Ta), как и его оксид (Ta_2O_5) используются в настоящее время во многих областях, начиная от микроэлектроники, биомедицинских приложений и заканчивая ядерной энергетикой. Для формирования пленки Ta_2O_5 на поверхности металла обычно привлекают его анодно-электролизное оксидирование в различных электролитах на водной основе [1, 2]. В 2019 году авторами [3, 4] была показана возможность реализации этого процесса в химически чистой, дистиллированной воде (ДВ), сопровождаемого интенсивными вспышками электролюминесценции (ЭЛ). Однако, процесс роста, формирования структуры Ta_2O_5 и его ЭЛ в таких условиях анодирования полностью не выяснен. Настоящая работа посвящена результатам поиска ответов на эти вопросы.

Исследования проводились на ранее описанной установке по методике [4] с Ta-проволокой диаметром 0,5 мм и чистотой металла 99,99%, который

служил анодом. Время (t) его оксидирования в ДВ электропроводностью порядка $1,7 \cdot 10^{-4}$ S/m при постоянном напряжении 1200 ± 3 В и температуре $298,0 \pm 0,5$ К составляло 1700 с. За это время регистрировались плотность тока (J), протекающего через оптико-электролизную ячейку, и кинетика светимости ЭЛ (I) образующегося Ta_2O_5 . Структура последнего визуализировалась на растровом электронном микроскопе (РЭМ) с увеличением изображений до 15000 раз. По РЭМ-изображениям была установлена кинетика роста толщины оксида (d) подчиняющаяся полиномиальному уравнению:

$$d(t) = a_1 t^6 + a_2 t^5 + a_3 t^4 + a_4 t^3 + a_5 t^2 + a_6 t,$$

где a_1 - a_6 – соответствующие коэффициенты полинома, порядок величин которых изменяется от первой до минус шестнадцатой степени. Также выявлена зависимость $J(t)$, близкая к опубликованной в [4] для термически нестабилизированных условий анодирования. Однако кинетика $I(t)$ при этом полностью соответствовала представленной в [4] для термически стабильных условий, отличаясь по величине светимости ЭЛ в $\sim 1,7$ раза на завершающей стадии анодирования. Кроме того, с 19% погрешностью уточнен ранее установленный факт начала вспышечного характера ЭЛ, начинающийся на $967,8 \pm 185,2$ с анодирования Ta и сопровождающий этот процесс до его окончания. При этом впервые показано, что разноинтенсивным вспышкам люминесценции соответствуют разно-размерные поры различной геометрии и диаметром от 40 нм до 1 мкм, хаотично формирующиеся в прилегающем к металлу слое Ta_2O_5 , имеющем, по меньшей мере, двуслойную структуру. Такая структура кардинально отличается от описанной, например, для оксида алюминия, полученного в аналогичных условиях и режимах, как и генерируемая при этом ЭЛ [3, 4], что указывает на иные механизмы протекания процессов и явлений, связанных с физико-химической природой самого Ta.

1. Zaffora A, Franco F., Quarto F., Santamaria M. Optimization of anodizing process of tantalum for Ta_2O_5 -based capacitors. // *J. Solid State Electrochemistry*. 2020. V.24. P. 2953–2962.
2. Chena W., Tua Q., Wua H. et.al. Study on morphology evolution of anodic tantalum oxide films in different using stages of H_2SO_4/HF electrolyte. // *Electrochimica Acta*. 2017. V.236. P. 140-153
- 3 Овеченко Д.С., Бойченко А.П. Свечение металлов при их анодировании в дистиллированной воде. // *Письма в ЖТФ*. –2019.– Т.45. Вып. 10. –С. 31–33.
- 4 Овеченко Д.С., Бойченко А.П. Термовлияние на кинетику электролюминесценции алюминия и тантала при их анодировании в дистиллированной воде. // *Экологический вестник научных центров ЧЭС*. – 2019.– Т.16, №2.– С. 59-67

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАНОПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ КАТАЛИЗАТОРА РПК-1 ПРИ РЕАКТИВАЦИИ С НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

А.В. Суворин¹, О.Н. Близнюк², В.А. Суворин³, Масалитина Н.Ю.²

¹Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк,

²Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, ³ООО Мэйл-Ру, avsuvorin@rambler.ru

Представлены основные результаты восстановления нанопористой структуры и активности при регенерации отработанного катализатора РПК-1 в кислой и щелочной средах при одновременном наложении акустического и электромагнитного полей

Ключевые слова: Регенерация, Наноструктура, Катализатор, Акустическое и Электромагнитное Поля

The main results of the restoration of the nanoporous structure and activity during the regeneration of the spent RPK-1 catalyst in acidic and alkaline media with the simultaneous application of acoustic and electromagnetic fields are presented.

Keywords: Regeneration, Nanostructure, Catalyst, Acoustic and Electromagnetic Fields

Сырьем для производства карбамида на азотно-туковых заводах являются газы, содержащие CO₂ и отходящие со стадии абсорбционной очистки азото-водородной смеси в производстве аммиака. Для их очистки от горючих примесей (H₂, CO, CH₄) используются каталитические системы, содержащие 0,1÷0,5% масс Rh, Pd или Pt. По причине высокой стоимости катализаторов актуальными являются вопросы их регенерации.

В данной работе представлены основные результаты исследований одновременного влияния акустического (АК) и электромагнитного (ЭМ) полей на восстановление нанопористой структуры катализатора РПК-1 и его активности.

В исследованиях интенсивность генератора АК-поля составляла 20÷25 Вт/см² при частоте 20÷24 кГц. ЭМ-поле создавалось магнетроном мощностью 600 Вт с частотой 950 МГц. Исследования проводили при T=25±0,5°C и отношении Ж:Т=6:1 масс. В качестве регенерирующих сред использовали 10÷30%-ные растворы кислот и щелочей. Обработка осуществлялась в течение 30 мин. После промывки деминерализованной водой образцы сушили при T=120÷150°C. Активность (А) определена по остаточной концентрации H₂ в очищенном газе на установке проточного типа по стандартной методике: V_{кат}=20±0,2см³; T=150±1°C; W=10000±15час⁻¹; P=0,1МПа. Начальные концентрации компонентов газовой смеси (% об.): H₂– 0,8÷1,2; O₂– 0,5÷0,8; остальное – N₂. Продолжительность каждого испытания 7 час. Дополнительного нанесения каталитической композиции за счет уменьшения ее концентрации после регенерации не осуществляли. Усредненные результаты экспериментов представлены в таблице.

Таблица – Основные результаты регенерации катализатора РПК-1.

№ п/п	Образец	Химический состав, % масс.						S _{уд.} , м ² /г	А, % об.
		Al ₂ O ₃	Pd, Ru	примеси					
				Fe+Ni+Cr	SiO ₂	(Na+K) ₂ O	смолы		
1	Свежий	94,1	0,2	3,27	1,67	0,76	<0,1	178	0,05
2	Отработанный	91,1	0,18	3,88	2,08	1,80	0,95	98	0,29
РПК-1, обработанный в регенерирующей среде:									
3	10% HNO ₃	92,3	0,082	4,01	2,26	1,13	0,21	126	0,1

4	10% HNO ₃ (ЭМ) и (АК) с	94,1	0,072	3,05	1,77	0,79	0,10	171	0,06
5	20% p-p NaOH	91,8	0,088	4,15	1,22	1,92	0,81	132	0,2
6	20% NaOH (ЭМ) и (АК) с	93,2	0,077	3,02	0,92	1,59	0,48	162	0,06
7	30% HNO ₃	93,7	0,076	3,14	1,92	1,01	0,13	161	0,09
8	30% HNO ₃ (ЭМ) и (АК) с	94,2	0,062	2,94	1,67	0,98	0,11	176	0,05

Полученные результаты показывают, что при одновременном использовании ЭМ и АК полей извлекаются не только те примеси, которые были внесены в катализатор при его эксплуатации, но также часть примесей, внесённых при приготовлении. Сравнение показателей образцов катализатора до и после их обработки водными растворами кислот и щелочей в совокупности с ЭМ и АК излучением показывает, что соотношение между основными компонентами катализатора уменьшается примерно в 2-3 раза. При этом наблюдается восстановление нанопористой структуры гранул катализатора, поверхности и активности (образцы 4 и 8).

Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования ЭМ и АК полей как на стадиях приготовления, так и регенерации катализатора.

1. Горловский Д.М. Технология карбамида / Горловский Д.М., Альтшулер Л.Н., Кучерявый В.И.– Л.: Химия. 1981. – 320 с.
2. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений.–Л.: Химия. 1989. – 352 с.
3. Romensky A.V., Kazakov V.V., Volokhov I.V. Application of Ultrasonic radiation in heterogeneous catalysis. // III International Conference “Catalysis Fundamentals and Application”. Novosibirsk: Russia, 2007. P 9-10.
4. Казаков В.В. Адсорбционные катализаторы. Технология приготовления в ультразвуковом поле. /А.В. Роменский, В.В. Казаков, И.В. Волохов, Г.И. Гринь // Хімічна промисловість України.–Київ.– 2006.– №2.– С. 32-34.
5. Казаков В.В. Гетерогенные катализаторы. Технология ультразвуковой пропитки. /А.В. Роменский, В.В. Казаков, И.В. Волохов, А.Я. Лобойко // Хімічна промисловість України. –Київ.– 2006.– №2.– С. 34-38.
6. Левковский Ю.Л. Структура кавитационных течений.– Л.: Химия, 1978.– 232 с.
7. Экнадиосянц О.К. Физические основы ультразвуковой технологии.–М.: Наука. 1970. – 352 с.
8. Роменский А.В. Ультразвук в гетерогенном катализе / А.В. Роменский, В.В. Казаков, Г.И. Гринь и др. – Северодонецк: ОАО «Северодонецкая городская типография». 2006. – 271 с.
9. Катализатор рутениево-палладиевый РПК-1. // ТУ У 6-04687873.036-97 – Северодонецк: ООО НПК «АЛВИГО-КС». 1997. – 28 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ КРИСТАЛЛОВ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ ИК-СПЕКТРА

*В.Г. Шеманин, О.В. Мкртычев

(Новороссийский филиал БГТУ им. В. Г. Шухова, 353919, Россия,
г. Новороссийск, Мысхакское шоссе 75, email: [*shemanin-v-g@nb-bstu.ru](mailto:shemanin-v-g@nb-bstu.ru),

Получены значения пороговой плотности энергии при лазерной абляции кристаллов AgI_x и $AgBr_y$ для оптических световодов ИК-спектра. По этим результатам можно прогнозировать пороговую мощность лазерного луча для оптических кристаллов в зависимости от их оптических характеристик. Установленные зависимости пороговой плотности энергии при лазерной абляции материала позволяют выбрать кристаллы с высокой лучевой прочностью для создания оптических световодов среднего ИК-спектра.

Ключевые слова: пороговой плотности энергии, лазерной абляции, оптические световоды ИК-спектра, лучевая прочность

The values of the threshold energy density during laser ablation of AgI_x and $AgBr_y$ crystals for optical fibers in the IR spectrum have been obtained. Based on these results it is possible to predict the threshold power of the laser beam for optical crystals depending on their optical characteristics. The established dependences of the threshold energy density during laser ablation of the material make it possible to select crystals with high beam strength to create optical fibers of the middle IR spectrum.

Keywords: threshold energy density, laser ablation, optical optical fibers of the IR spectrum, laser beam strength

Изменяя химический состав кристаллов оптических световодов, можно получать требуемые оптические и прочностные свойства материала. В продолжение работ [1,2] были получены зависимости вероятности пробоя оптических образцов от пороговой плотности энергии F_{bn} при лазерном абляционном разрушении поверхности оптических кристаллов под действием импульсного излучения YAG-Nd лазера с длительностями 20 нс и 300 мкс. Целью данной работы являлось получение значений пороговой плотности энергии при лазерной абляции кристаллов AgI_x и $AgBr_y$ [3]. Эти результаты позволят по установленным зависимостям пороговой плотности энергии при лазерной абляции прогнозировать предельную мощность лазерного луча для таких оптических кристаллов в зависимости от их оптических характеристик с целью создания новых оптических световодов среднего ИК-спектра.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 19-42-230004, 19-45-230009).

1. Atkarskaya A.B., Mkrtychev O.V., Privalov V.E., Shemanin V.G. Laser ablation of the glass nanocomposites studies. // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2014. V.23. P. 265–70.
2. Privalov V.E., Shemanin V.G., Mkrtychev O.V. Method of Assessing the Optical Resistance of an Irradiated Surface Under Laser Ablation. // Meas. Tech. 2018. V.61. P.694–8.
3. Zhukova L.V., Korsakov A.S., L'vov A.E., Salimgareev D.D. Waveguide fibers for the middle IR spectrum. Ekaterinburg: UMCUPI Publ. 2016. 247 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТРЕНИИ В УСЛОВИЯХ РЕЗАНИЯ

¹Е.А. Кривонос, ²Е.В. Колтакова

(¹Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,

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 для объяснения процесса разрушения инструментальных материалов при трении в условиях резания необходимо рассматривать несовершенства структуры на более тонком уровне - уровне точечных дефектов – и предположить, что главным в изнашивании является вакансионно-дислокационный механизм.

Ключевые слова: теория изнашивания, дефектная структура, разрушения твердых тел, твердосплавные режущие инструменты.

This article discusses the elements of the theory of wear of cutting tools based on the thermodynamic approach and ideas about changes in the defective structure of tool materials and are the basis for the destruction of solids. It is shown that in order to explain the process of destruction of tool materials under friction under cutting conditions, it is necessary to consider the imperfections of the structure at a finer level - the level of point defects – and assume that the vacancy-dislocation mechanism is the main one in wear.

Keywords: performance, lifetime, carbide cutting tools, cryogenic treatment.

Анализ существующих методов снижения интенсивности изнашивания [1] относительно классической зависимости «износ – стойкость» показывает следующее. Нагрев режущих инструментов, резание с подогревом, химическое осаждение из газовой фазы, применение поверхностно-активных веществ и антифрикционных покрытий, детонационное напыление, дробеструйная, вибрационная и ультразвуковая обработки, когда преобладают пластические процессы контактной зоны, действуя по дислокационному механизму, сокращают период приработки режущих инструментов. Диффузионное насыщение бором, хромом, азотом; термодиффузионное насыщение из твердой фазы, магнитная и магнитно-импульсная обработки, электроискровое легирование, увеличивая период нормальной работы режущих инструментов, действуют по вакансионному механизму. Электроизоляция оказывает влияние на оба периода работы режущих инструментов, действуя по вакансионному механизму, ответственному за термоэлектрические процессы контактной зоны. Какие из приведенных методов являются более рациональными? В принципе – те и другие, поскольку при уменьшении периода приработки автоматически увеличивается время нормальной работы. Однако при назначении метода снижения интенсивности изнашивания режущего инструмента необходимо исходить из конкретных условий: типа производства, количества работающих инструментов, наличия специальной технологической оснастки и приспособлений для применения определенного метода, экологической чистоты, технологичности и экономичности методов.

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. Известные методы снижения интенсивности изнашивания режущих инструментов (термические, химико-термические, механические, физические) связаны с реализацией механизма, основанного на первопричине разрушения твердых тел, - дефектной структуре инструментальных материалов.

На основании изложенного – общих теоретических предпосылок и частных экспериментальных данных – можно утверждать, что концепция, основанная на представлениях о первопричине изнашивания-разрушения инструментальных материалов – их дефектной структуре, не противореча устоявшимся воззрениям, может явиться единой теорией интенсивности изнашивания режущих инструментов. Она позволяет в конкретных случаях количественно оценить величину линейного износа режущих инструментов [2], а также определить пути снижения интенсивности их изнашивания. Это является актуальным в современных условиях, а также в условиях обозримого будущего, пока получение деталей машин резанием будет превалировать по сравнению с другими методами. В целом теория позволяет прогнозировать интенсивность изнашивания и, следовательно, работоспособность лезвийных режущих инструментов, от которой в значительной мере зависит производительность автоматизированного станочного оборудования.

1. Кривонос Е.А., Колпакова Е.В. Анализ аналитических зависимостей оценки изнашивания режущих инструментов. // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии. Труды XXIV Международной Конференции.– Новороссийск.–2016.– С. 92 - 94.
2. Солоненко В.Г., Кривонос Е.А., Зарецкий Г.А. Элементы единой теории изнашивания режущих инструментов. //Труды конгресса «Конструкторско-технологическая информатика».–М.: Станкин, 2005.– С. 69 – 72.

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ СТРУКТУР ВАРИКАПОВ

А.В. Богданов

(ООО «Опытное производство электронной техники» в г. Новороссийске,
bogdanov50@gmail.com)

Анализируется способ повышения стабильности и уменьшения обратных токов варикапов в 5-10 раз химическими методами разработчиками данной технологии

Ключевые слова: уменьшение химической активности поверхности.

The method of increasing the stability and reducing the reverse currents of varicaps by 5-10 times by chemical methods by the developers of this technology is analyzed.

Keywords: decrease in surface chemical active.

Варикапы [1] после стандартной химической обработки поверхности их структуры $60 \frac{10 \text{ КЭФ } 20}{350 \text{ ЭКЭС } 0,01}$ окисляют при $T_0 = 1100^\circ\text{C}$ в парах воды в течение 100 минут с последующим минутным отжигом в аргоне при T_0 (рис.1). Затем проводят первую фотолитографию для вскрытия окон в окисной плёнке диаметром 1000 мкм; ионное легирование фосфором и последующую «разгонку» фосфора при 1000°C в течение 50 минут. Вторую фотолитографию с диаметром окон 1010 мкм, «загонку» бора при 1030°C в течение 30 минут в атмосфере аргона и кислорода.

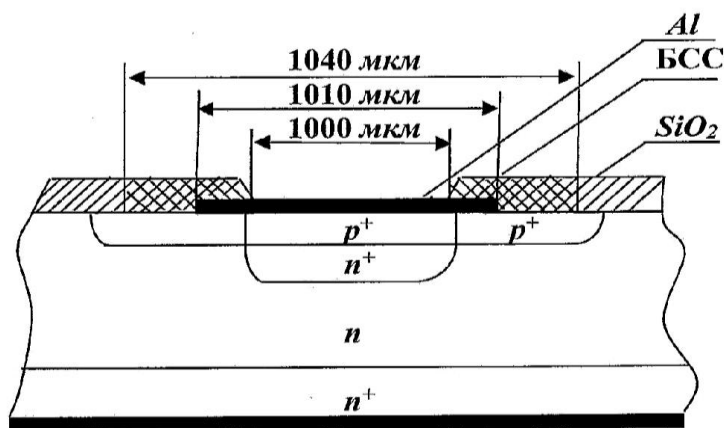


Рисунок 1 – Структура варикапа KB131: p^+ , n^+ - сильно легированные области Si ; n – слаболегированная область Si ; БСС - боросиликатное стекло; Al – алюминиевые контакты

Третью фотолитографию по слою боросиликатного стекла (БСС) с размером окон 1040 мкм, термическое напыление плёнки алюминия и последующую её термообработку при 500°C , обработку пластин в травителе на основе $1\text{HF}:8\text{NH}_4\text{F}$ в течение 20 с, промывку пластин в деионизованной воде и сушку на центрифуге, обработку пластин в инертном газе, барботируемом через диметилдихлорсилан, находящийся при комнатной температуре в течение 5 минут. Расход инертного газа (70 ... 100) л/час.

Повышение стабильности и уменьшение обратных токов варикапных структур в 5-10 раз достигается более полной очисткой поверхности $p-n$ перехода от примесных ионов, последующей стабилизации его поверхностных свойств и исключения из технологического процесса щелочных травителей. Стравливание в данном способе происходит в травителе на основе HF и $8\text{NH}_4\text{F}$ при поверхностного слоя порядка (10 ... 20) нм, содержащего примесные ионы. Уменьшение химической активности поверхности достигается обработкой структур в инертном газе барботируемом через диметилдихлорсилан или гексаметилдисилазан.

За разработку и внедрение технологии варикапов на нашем предприятии ПО «Днепр» получена премия Совета Министров СССР 1990 года [2]. С моим участием оформлено 5 авторских свидетельств по разработке данной технологии. В настоящее время варикапы, изготовленные по данной технологии реализуются ОАО Компания Днепр (г. Херсон).

1 Богданов А.В., Малыгин Б.В., Коновалов М.Ю. и др. Механизм образования

отрицательного дифференциального сопротивления N - типа в неупорядоченных структурах. // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы.– Херсон: ХНТУ, 2011. Вып 1(27).– С. 58-62

- 2 Постановление Совета Министров СССР от 12 апреля 1990 г. № 357 «О присуждении премий Совета Министров СССР 1990 года за выполнение комплексных научных исследований, проектно-конструкторских и технологических работ по важнейшим направлениям развития народного хозяйства и его отраслей и за внедрение результатов этих исследований и работ», п. 30. - За разработку и внедрение в народное хозяйство полупроводниковых варикапов.

ВЫПРЯМЛЕНИЕ НА ГРАНИЦЕ ОКИСНОЙ ПЛЁНКИ С КРЕМНИЕМ

А.В. Богданов

(ООО «Опытное производство электронной техники», г. Новороссийск,
bogdanov50@gmail.com)

Экспериментально показаны влияние выпрямления и донорно-акцепторной рекомбинации носителей заряда на границе Si с окисной плёнкой толщиной в несколько десятков нанометров на надёжность и миниатюризацию интегральных схем.

Ключевые слова: интегральные схемы, изоляционная плёнка, включения.

The effect of rectification and donor-acceptor recombination of charge carriers at the Si interface with an oxide film several tens of nanometers thick on the reliability and miniaturization of integrated circuits is experimentally shown.

Key words: integrated circuits, insulating film, inclusions.

Надёжность работы и уровень миниатюризации кремниевых интегральных схем (ИС) определяется не Si , а включениями в изоляционные плёнки, в частности SiO_2 , инородных веществ, образуемых в процессе технологических операций. Надёжность работы ИС [1, с.39] обусловлена исключением долговременных (десятки и сотни часов) релаксаций проводимости в этих плёнках. Изучению механизма релаксации тока посвящена данная работа.

Изучалась зависимость коэффициента выпрямления структур $n - Si - SiO_2$ от толщины плёнки SiO_2 , полученной термическим окислением при $900^\circ C$ в течение 20 ... 80 минут пластины Si с n -типом проводимости и удельным сопротивлением $4,5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Затем плёнка SiO_2 легировалась бором при $1050^\circ C$ в течение 30 ... 80 минут до получения боросиликатного стекла (БСС) с поверхностным сопротивлением $R_{SP} = 3 \dots 18 \text{ Ом}$.

Градиент толщин плёнки SiO_2 создавался вытравливанием плавиковой кислотой лунки и помещением измерительного зонда в определённые её точки. Толщина плёнки SiO_2 в данных точках определялась по цвету колец интерференционным методом. Появление эффектов выпрямления и нестабильности тока появлялся в области нескольких десятков нанометров [2].

Обнаружение выпрямления в структурах $n - Si - SiO_2$ позволяет оценить концентрацию ловушек и скорость донорно-акцепторной рекомбинации (ДАР) носителей заряда при толщине обеднённой области d всего несколько десятков нанометров. При разности концентраций акцепторов и доноров $N_a - N_d = (10^{17} \dots 10^{21}) \text{см}^{-3}$ величина d , определяемая по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{\varepsilon \varepsilon_0 (V_d + V_k)}{2\pi(N_a - N_d)q}} \quad (1)$$

равна $d = (2,2 \dots 220)$ нм.

Расчёты показали, что при таких толщинах плёнки SiO_2 возрастает роль ДАР носителей заряда, приводящей к долговременной релаксации проводимости и уменьшению надёжности работы ИС [2]. Возникающая ДАР носителей заряда поясняет искусственное увеличение d при изготовлении варикапов, диодов Шоттки, туннельных диодов и других приборов [3-5]. Технологические приёмы, уменьшающие вероятность возникновения ДАР носителей заряда, определяют качество нанотехнологий создания ИС.

1. Горлов М.И., Сергеев В.А. Современные диагностические методы контроля качества и надёжности полупроводниковых изделий. / Под науч. ред. М.И. Горлова. 2-е изд. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 406 с.
2. Богданов А.В. Отбраковка потенциально ненадёжных приборов с отрицательным дифференциальным сопротивлением N – типа. // Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы. – 2021. – Вып.4. – С. 45-51.
3. Богданов А.В., Малыгин Б.В., Коновалов М.Ю. и др. Механизм образования отрицательного дифференциального сопротивления N – типа в неупорядоченных структурах. // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон: ХНТУ. – 2011. Вып 1(27). – С. 58-62.
4. Богданов А.В., Бень А.П., Хойна С.И. Релаксация обратного тока диодов Шоттки после их магнитно-импульсной обработки (МИО). // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. Херсон: ХНТУ. – 2010. Вып.1 (25). – С. 66-68.
5. Богданов А.В., Малыгин Б.В., Бень А.П., Коновалов М.Ю. Влияние параметров МИО на донорно-акцепторную рекомбинацию носителей заряда в неупорядоченных структурах. // Научный вестник ХГМИ. Херсон: Изд.: ХГМИ, 2011. № 2(5). – С. 93-101.

СПОСОБ САМОСОВМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИНЖЕКЦИОННОЙ ЛОГИКИ

А.В. Богданов

(ООО «Опытное производство электронной техники» в г. Новороссийске,
bogdanov50@gmail.com)

Показаны конструкция и последовательность технологических операций

светодиодного индикатора КР514ИД1, позволяющие оставаться ему конкурентоспособным до настоящего времени от разработчиков данных приборов.

Ключевые слова: светодиодный индикатор, технология самосовмещения.

The design and sequence of technological operations of the KR514ID1 LED indicator are shown, allowing it to remain competitive up to the present time from the developers of these devices.

Keywords: LED indicator, self-alignment technology

Нами разработана конструкция интегральной схемы (ИС) (рис.1). Конструкция ИС включает: кремниевую подложку n - типа (1), «карман» p - типа (2), маскирующий слой Si_3N_4 (3), слой SiO_2 (4), n^+ - область истока и стока n - канального МОП транзистора (5), локально выращенные участки SiO_2 (6), p^+ - области ограничителей канала (7), p^+ - области истока и стока p - канального транзистора с встроенным каналом (8), p^+ - области истока и стока p - канального транзистора с индуцированным каналом (9), термический SiO_2 (10), область канала МОП транзисторов (11), подзатворный окисел (12), металлизация (13).

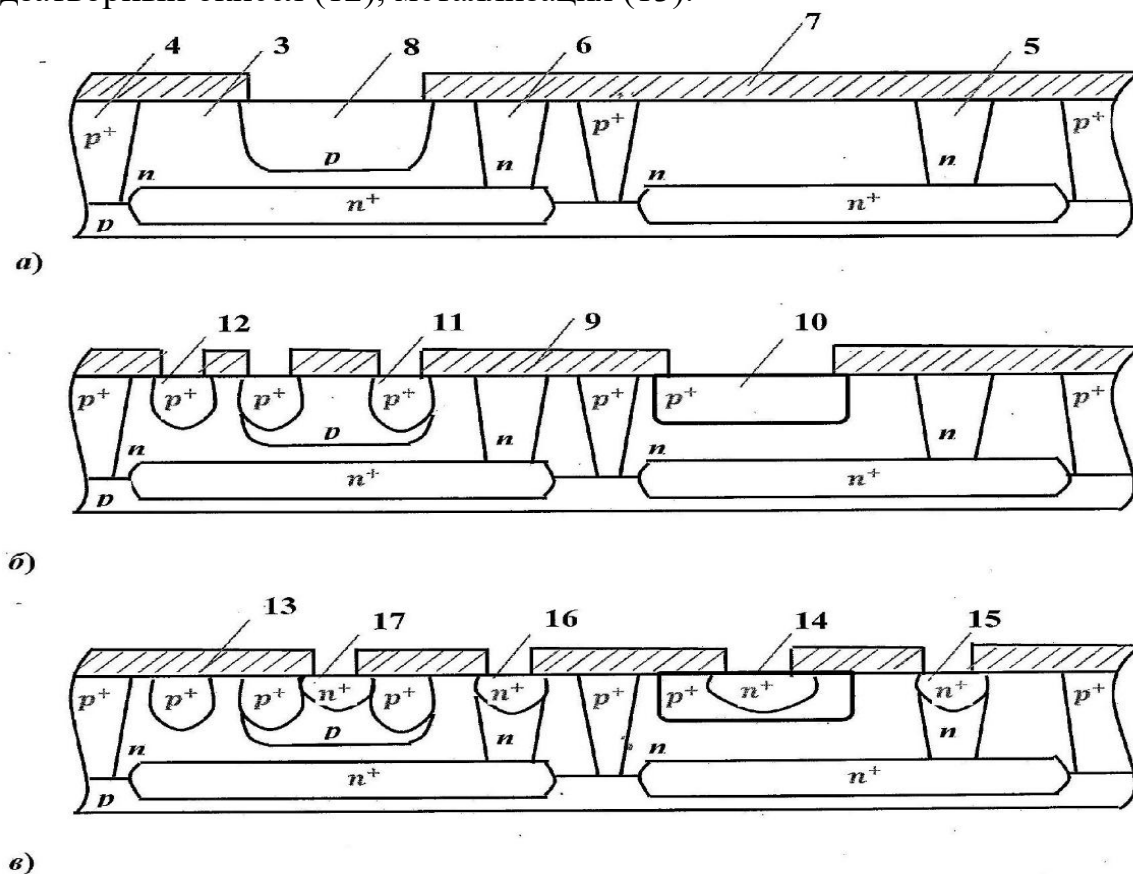


Рисунок 1 – Последовательность изготовления ИС, содержащей элементы инжекционной логики и биполярные транзисторы

За счёт самосовмещения базовых областей и исключение влияния операции создания n^+ - областей эмиттеров биполярных транзисторов на характеристики элементов инжекционной логики достигается уменьшение количества элементов, их геометрических размеров, потребление электроэнергии и увеличение быстродействия. Базовые области формируют в два этапа – на первом, используя одну маску, формируют p^+ - области инжектора и пассивной базы элементов логики, а также p^+ - области базы

биполярных транзисторов. На втором этапе, используя вторую маску, формируют p - область пассивной базы элемента логики, более глубокую, чем p^+ - области.

Базовые области элементов оказываются самосовмещёнными, поскольку их топологические границы определяются рисунком одной маски, используемой при формировании p^+ - областей. На последующей операции формирования n^+ - областей эмиттеров биполярных транзисторов и коллекторов элементов логики реализуется возможность подгонки коэффициентов усиления биполярных транзисторов без изменения электрических характеристик элементов логики.

ИС принадлежит к серии КР514ИД1 – микросхема дешифратор двоично-десятичного кода для 7-сегментного светодиодного индикатора с общим катодом. Данные ИГ выпускаются в настоящее время в ОАО Компания Днепр (г. Херсон) и реализуются по розничной цене 12 руб. за штуку.

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДАТЧИКАХ ВОЛНОВОГО ФРОНТА

^{1*}К.С. Захаров, ¹Л.В. Волкова, ²С.Ю. Казанцев, ¹В.Г. Николаев

(¹Московский Политехнический Университет, 107023, Россия, Москва, ул. Большая Семёновская 38, ²Московский Технический Университет Связи и Информатики, 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная 8а, *vthpbr@mail.ru, volkova@inbox.ru, s.i.kazantsev@mtuci.ru, t_07@mail.ru)

Полимерные пленки широко используются в качестве упаковочного и полиграфического материала, на который требуется наносить скрытную маркировку [1]. В работах [2,3] была показана возможность использования промышленных плёнок полиэтилентерефталата (ПЭТФ) в датчиках волнового фронта на основе эффекта Тальбота. С целью определения рабочего диапазона управляющих воздействий для формирования изображений на пленках, исследовалось изменение их оптических характеристик при нагреве. Представлены данные о спектральных и поляризационных характеристиках образцов полистирола и ПЭТФ, подвергнутых термической обработке. Показана перспективность, обнаруженных эффектов для нанесения скрытой маркировки.

1. Николаев А.А., Кондратов А.П. Оптическая маркировка полимерной упаковки из полимеров с интерференцией в поляризованном свете. //Технологии информационного общества: Сб. трудов XVI Международной отраслевой научно-технической конференции.– Москва, 2022.- С.126-128.
2. Андреев С.Н., Казанцев С.Ю., Музыка А.Ю. Датчик волнового фронта широкоапертурных лазерных пучков. //X Международная конференция по фотонике и информационной оптике. Сб.Трудов.– Москва, 2021.– С. 401-402
3. Волкова Л.В., Казанцев С.Ю., Музыка А.Ю., Скобелева В.С. Датчик волнового фронта широкоапертурных лазерных пучков и его применения. //ЖТФ.– 2022.– Т.92. вып. 9.– С.1410-1414.

ИНФРАКРАСНЫЕ СВЕТОВОДЫ НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ СИСТЕМЫ $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{AgI}$

*А.А. Шукина, С.Е. Барыкина, Д.А. Воробьева, А.Е. Львов, Д.Д. Салимгареев,
А.А. Южакова, А.С. Корсаков, Л.В. Жукова*

(Уральский Федеральный университет имени первого президента России

Б.Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

В данной работе был изготовлен и исследован инфракрасный световод на основе кристаллов галогенидов серебра системы $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{AgI}$. Разработка световодов включала в себя исследование новой фазовой диаграммы системы $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{AgI}$, определение области гомогенности, которая составила от 0 до 18 мол. % AgI в $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$, синтез монокристалла состава 5 мол. % AgI в $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ и изготовление по методу экструзии ИК световода. Был получен ИК световод длиной 1 м, диаметром 450 мкм, в РЕЕК оболочке. Диапазон пропускания световода охватил область от 3,4 до 24 мкм, таким образом за счет введения AgI в кристаллическую решетку твёрдого раствора $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ удаётся расширить диапазон спектрального пропускания волокон.

Ключевые слова: инфракрасный световод, средний ИК диапазон, дальний ИК диапазон, галогениды серебра, галогенидсеребряные монокристаллы

In this work, an infrared fibers based on silver halide crystals of the $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{AgI}$ system was manufactured and studied. Optical fibers development included the $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{AgI}$ system's phase diagram study, the homogeneity range determination, which ranged from 0 to 18 mol. % AgI in $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$, synthesis of a single crystal with a composition of 5 mol. % AgI in $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ and manufacture by extrusion of an IR fiber. The fiber was 1 m long, 450 μm in diameter, in a PEEK sheath. The fiber's transmission range covered the region from 3.4 to 24 μm , thus, due to the introduction of AgI into the $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$, it is possible to expand the spectral transmission range.

Keywords: infrared fiber, middle IR, far IR, silver halides, halides single crystals

В современном мире для развития инфракрасной и волоконной оптики актуален поиск нетоксичных, пластичных, негигроскопичных и радиационно-стойких материалов, прозрачных от видимого до дальнего ИК диапазона без окон поглощения.

Разработка таких материалов продиктована необходимостью и перспективами их применения в химии и физике, а именно в лазерной и медицинской технике, оптоэлектронике, ИК-волоконной оптике, космических исследованиях, низкотемпературной ИК-пирометрия и прочим [1].

Коллективом научной лаборатории Волоконных технологий и фотоники была исследована фазовая диаграмма системы $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{AgI}$, в которой была обнаружена область гомогенности с содержанием 0-18 мол.% AgI в $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$. В данной области были синтезированы монокристаллы, которые являются негигроскопичными, нетоксичными, пластичными, не подвергаются эффекту рекристаллизации, и фотостойкие, в сравнении с монокристаллами $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ [2]. За счет пластичности из монокристалла состава

5 мол. % AgI в $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ по методу экструзии был изготовлен световод длиной 1 м, диаметром 450 мкм, с РЕЕК оболочкой. Диапазон оптического

пропускания световода измеряли на ИК Фурье спектрометре IR Prestige-21 (Shimadzu). Диапазон пропускания охватил область от 3,4 до 24 мкм, что является лучшим показателем в сравнении с твердым раствором $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ (2-20 мкм) [2].

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

- 1 Simhon D., Gabay I., Shpolyansky G., Vasilyev T., Nur I., Meidler R., Hatoum O. A., Katzir A., Hasmonai M., Kopelman D. Temperature-controlled laser-soldering system and its clinical application for bonding skin incisions. // J. Biomed. Opt. 2015. V. 20, № 12. p. 128002
- 2 Zhukova L.V., Primerov N.V., Korsakov A.S., Chazov A.I. $\text{AgCl}_x\text{Br}_{1-x}$ and $\text{AgCl}_x\text{Br}_y\text{I}_{1-x-y}$ crystals for IR engineering and optical fiber cables. // Inorg. Mat. 2008. V. 44, №12. С.1372–1377.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ

$\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$

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

(Уральский Федеральный университет имени первого президента России
Б.Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

Монокристаллы и оптическая керамика на основе системы $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$ обладает широким диапазоном пропускания в видимой, инфракрасной и терагерцовой областях от 0,4 до 50,0 мкм без окон поглощения, являются негигроскопичными и фотостойкими. С целью исследования устойчивости к ионизирующему излучению, было изучено влияние β -облучения на прозрачность монокристаллов и оптической керамики системы $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$. Образцы подвергались поэтапному набору дозы от 0 до 1000 кГр, с шагом 200 кГр и показали высокую устойчивость к β -облучению без снижения уровня пропускания материалов.

Ключевые слова: монокристалл, оптическая керамика, ИК диапазон, ТГц диапазон, галогениды серебра и таллия

Single crystals and optical ceramics based on the $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$ system have a wide transmission range in the visible, infrared and terahertz regions from 0.4 to 50.0 μm without absorption windows, are non-hygroscopic and photoresistant. In order to study the resistance to ionizing radiation, the influence of β -irradiation on the materials transparency of single crystals and optical ceramics of the $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$ system was studied. Samples were dosed stepwise from 0 to 1000 kGy in 200 kGy increments and showed high resistance to β -irradiation without reducing the materials transmission.

Keywords: single crystals, optical ceramics, infrared range, terahertz range, silver and thallium halides

В рамках недавних исследований в научной лаборатории «Волоконных технологий и фотоники» была изучена фазовая диаграмма системы твердых растворов $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$ и найдены области составов, подходящих для синтеза монокристаллов и оптической керамики [1]. Целью данного

исследования является изучение устойчивости к ионизирующему излучению монокристаллов и оптической керамики системы $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$.

Процедуре облучения предшествовало определение спектров пропускания исходных образцов. В ходе предварительной подготовки спектр пропускания кристаллов и оптической керамики измерялся спектроскопическим методом на ИК Фурье спектрометре IRPrestige-21 (Shimadzu) в видимом и инфракрасномдиапазонах от 0,4 до 50,0 мкм.

В ходе эксперимента монокристаллы и оптическая керамика на основе системы $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$ поэтапно подвергались радиационному воздействию дозой 200кГр, после чего проводилось измерение спектров пропускания образцов. Облучение проводилось в Инновационно-внедренческом центре «Радиационной стерилизации» Уральского федерального университета на новом линейном ускорителе электронов УЭЛР-10-10Сс энергией до 10 МэВ [2].

Исходя из проведенного исследования, монокристаллы и оптическая керамика на основе системы $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$ показали высокую устойчивость к β -облучению без снижения уровня пропускания материалов с небольшим просветлением в области 0,4-5,0 мкм в результате радиационного отжига.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №21-73-10108, <https://rscf.ru/project/21-73-10108/>.

- 1 Salimgareev D., Yuzhakova A., Lvov A., Kondrashin V., Korsakov A., Zhukova L. Optical ceramics based on $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$ system transparent from visible to far IR region. // Opt. Mat. 2022. V. 131. P. 112735
- 2 Грозных М. В., Алимханов А. Т., Стурис А. Ю., Рябухин О.В Разработка устройства непрерывного измерения энергии электронов ускорителя УЭЛР-10-10С для контроля процесса радиационной стерилизации. // Тезисы докладов V Международной молодежной научной конференции, посвященной памяти Почетного профессора УрФУ В.С. Кортова, 14-18 мая 2018.– С. 48-49

ПОДБОР ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ И МНОГОСЕРДЦЕВИННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

*А. А. Южакова, Д. В. Шатунова, И. В. Южаков, Д. Д. Салимгареев, А. Е. Львов,
А. С. Корсаков, Л. В. Жукова*

(Уральский Федеральный университет имени первого президента России
Б. Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

С целью высокоточного моделирования световодов сложной структуры предложено комбинированное граничное условие, объединяющее свойства идеально-согласованного слоя и граничного условия рассеяния. Рассмотрены модели с разными граничными условиями на примере микроструктурированных световодов на основе галогенидов серебра. В результате получено наибольшее число мод с низкой ошибкой расчета по сравнению с известными типами условий, и обнаружена фундаментальная мода. Комбинированное граничное условие показало наибольшую эффективность с сохранением низких затрат вычислительной мощности.

Ключевые слова: граничные условия, моделирование световодов, компьютерное моделирование, микроструктурированные световоды

For the purpose of high-precision complex structure fibers modeling, a combined boundary condition is proposed that unites the properties of a perfectly matched layer and a scattering boundary condition. Models with different boundary conditions are considered on the example of microstructured fibers based on silver halide. As a result, in the case of combined boundary condition the largest modes number with a low calculation error was obtained in comparison with the known conditions' types, and the fundamental mode was found. The combined boundary condition showed the highest efficiency while maintaining low computational costs.

Keywords: boundary condition, fibers modeling, computer modeling, microstructured fiber

Одним из популярных методов моделирования, реализованных в коммерчески доступных программах и подходящих для проектирования волоконной оптики является метод конечных элементов. При моделировании по данному методу, с целью достижения качественных и точных результатов требуется наложение определенных граничных условий и задание входных параметров. Основная задача накладываемого на модель граничного условия в методе конечных элементов состоит в усечении расчетной области и обеспечении затухания излучения при его вытекании из оболочки световода. Для решения данной задачи используются идеально согласованные слои (PML)[1] или граничные условия рассеяния [1].

Для определения наиболее корректного и эффективного граничного условия были сравнены случаи при наличии PML, введении граничного условия рассеяния и комбинированное условие в виде PML с заданной границей рассеяния при моделировании микроструктурированных световодов (МС) на основе галогенидов серебра. В каждом случае сетка моделируемого объекта задавалась с одним и тем же размером, однако при наличии PML присутствовали слои с доменами прямоугольной формы.

В результате моделирования МС при различных граничных условиях были получены эффективные показатели преломления (ПП). Действительная часть эффективных ПП в первых двух случаях граничных условий показала одинаковые значения, мнимые части показателя были близки, таким образом эти методы могут быть взаимозаменяемыми. Комбинированное граничное условие дополнительно показало еще одну моду, мнимая часть эффективного показателя преломления которой во много раз меньше, что приводит к малым потерям на ее удержание структурой МС. Дополнительно найденная мода является фундаментальной и ее распространение в МС наиболее устойчиво к изгибу и потерям на удержание, поэтому ее наличие в световоде наиболее вероятно. Таким образом, наибольшую эффективность показало комбинированное граничное условие, обладающее наибольшей точностью при сохранении запрашиваемых вычислительных ресурсов.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEUZ-2020-0058 (Н687.42Б.223/20).

1.COMSOL Multiphysics® v. 5.6 (Version 5.6): программное обеспечение для математического моделирования. // Разработчик COMSOL. Stockholm:

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ СИСТЕМЫ $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{AgI}$ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФРАКРАСНОЙ ОПТИКИ

Д. В. Шатунова, А. Е. Львов, Д. Д. Салимгареев, П. В. Пестерева, Л. В. Жукова
 (Уральский Федеральный университет имени первого президента России Б. Н.
 Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

В данной работе была исследована фазовая диаграмма системы $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{AgI}$ методами ДТА и РФА, определена область существования однофазных устойчивых твердых растворов в температурном диапазоне 25 – 412 °С (298 – 685 К) и составом от 0 до 16 мол. % AgI в $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ при давлении 1 атм, в которой можно выращивать монокристаллов и изготовления оптических изделий.

Ключевые слова: оптические материалы, средний ИК диапазон, дальний ИК диапазон, галогениды серебра, галогенидсеребряные монокристаллы

In this work, the phase diagram of the $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{AgI}$ system was studied by DTA and XRD methods, the region of existence of single-phase stable solid solutions was determined in the temperature range of 25 – 412 °C (298 – 685 K) and the composition from 0 to 16 mol. % AgI in $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ at a pressure of 1 atm, in which it is possible to grow single crystals and manufacture optical products.

Keywords: optical materials, middle IR, far IR, silver halides, halides single crystals

В современном мире для развития инфракрасной и волоконной оптики актуален поиск нетоксичных, пластичных, негигроскопичных и радиационно-стойких материалов, прозрачных от видимого до дальнего ИК диапазона для применения в лазерной и медицинской технике, оптоэлектронике, ИК-волоконной оптике. Система $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{AgI}$ является перспективной для получения таких материалов [1], поэтому было необходимо исследовать фазовую диаграмму этой системы и определить в ней области существования устойчивых твердых растворов.

Для изучения фазовой диаграммы системы $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{AgI}$ были использованы два метода – дифференциально-термический (ДТА) и рентгенофазовый (РФА) анализы. Исследование проводили от 0 до 100 мас. % AgI в $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ с шагом в 5 и 10 мас. %, при температуре от 25 до 550 °С (от 373 до 823 К) при давлении 1 атм. Обработка полученных дифрактограмм проводилась, используя два взаимодополняющих метода – метода двух касательных, и метода введения поправки. Рентгенофазовый анализ проводили на установке Rigaku MiniFlex 600. Используемые для анализа поликристаллические пластинки обладают хорошей плоскопараллельностью, что позволяет достичь хорошего качества рентгенограмм. Проведение процесса РФА проводили при следующем режиме: материал анода – медь, излучение $\text{CuK}\alpha$ с длиной волны 1,541862 Å, диапазон съемки от 3° до 90°, шаг 0,02°, скорость сканирования 10 °/мин.

Проведенные исследования показали, что в данной фазовой диаграмме в температурном интервале 25 – 412 °С (298 – 685 К) от 0 до 16 мол. % AgI в $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ существуют устойчивые твердые растворы на основе $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}(\text{Fm}\bar{3}m)$, которые можно использовать для выращивания монокристаллов и изготовления оптических изделий.

Область составов от 16 до 98 мол. % и температуре 25 – 122 °С (298 – 395 К) присутствует смесь двух фаз, твердого раствора $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}(\text{Fm}\bar{3}\text{m})$ и β -модификация иодида серебра (вюрцит, $\text{P6}_3\text{mc}$), а от 98 мол. % AgI в $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ и до чистого иодида серебра наблюдается смесь двух кристаллических фаз AgI в β и γ модификациях. При температуре выше 122 °С (395 К) в концентрационном диапазоне от 16 до 92 мол. % происходит полиморфный переход фазы β - AgI в α - AgI . На диаграмме также существует точка минимума при 33 мол. % AgI в $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$.

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

1. Zhukova L.V., Primerov N.V., Korsakov A.S., Chazov A.I. $\text{AgCl}_x\text{Br}_{1-x}$ and $\text{AgCl}_x\text{Br}_y\text{I}_{1-x-y}$ crystals for IR engineering and optical fiber cables // *Inorg. Mat.* 2008. V. 44, № 12. С. 1372–1377.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЗРАЧНОСТИ В ТГц ДИАПАЗОНЕ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ $\text{AgBr} - \text{AgI}$

*Д. В. Белоусов, Д. В. Шатунова, П.В. Пестерева, А.Е. Львов, Д. Д. Салимгареев,
Л. В. Жукова*

(Уральский Федеральный университет имени первого президента России
Б. Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

В данной работе была исследована зависимость диапазона пропускания от состава твердых растворов системы $\text{AgBr} - \text{AgI}$. Показано существование окна прозрачности в терагерцовой области от 0,3 до 0,79...1,0 ТГц, что соответствует длинам волн от 300...380 до 1000 мкм с максимальной прозрачностью до 60 %. При увеличении содержания йодида серебра в твердом растворе происходит смещение коротковолновой границы ТГц спектра пропускания в область более длинных волн от 300 до 380 мкм, а также снижается уровень пропускания. На всех образцах наблюдается гармонические колебания спектра, что мы связываем с интерференцией в материале.

Ключевые слова: оптические материалы, ТГц, галогениды серебра, твердые растворы

In this work, the dependence of the transmission range on the composition of solid solutions of the $\text{AgBr} - \text{AgI}$ system was studied. The existence of a transparency window in the terahertz region from 0.3 to 0.79...1 THz is shown, which corresponds to wavelengths from 300...380 to 1000 μm with a maximum transparency of up to 60%. With an increase in the content of silver iodide in the solid solution, the short-wavelength boundary of the THz transmission spectrum shifts to longer wavelengths from 300 to 380 μm , and the transmission level also decreases. Harmonic oscillations of the spectrum are observed on all samples, which we attribute to interference in the material.

Keywords: optical materials, THz, silver halides, solid solution

Для широкого внедрения ТГц оборудования требуется наличие материалов и устройств, служащих для генерации и передачи данного излучения. На сегодняшний день число материалов, прозрачных в ТГц области, ограничено. Это high resistivity float zone silicon (HRFZ-Si), кристаллический кварц, сапфир и некоторые полимерные материалы. Таким образом, разработка прочных, технологичных и высокопрозрачных в ТГц области материалов является актуальной задачей оптики и ТГц материаловедения. Ранее мы уже показали, что твердые растворы на основе AgBr с кристаллической структурой Fm $\bar{3}$ m прозрачны ТГц-области [1]. В настоящей статье мы исследуем зависимость диапазона пропускания от состава твердых растворов системы AgBr – AgI. Исследование проводили на спектрометре СТД-21, применяя в качестве источника ТГц излучения лампу обратной волны (ЛОВ) с использованием ячейки Голея фирмы Tидех в качестве детектора. В ходе работы использовалось несколько ламп, которые перекрывают диапазон частот от 0,05 до 1 ТГц, соответствующий длинам волн от 289 до 1000 мкм. Для системы AgBr – AgI были взяты образцы монокристаллы составами 0, 8, 16 мол. % AgI в AgBr и оптической керамики состава 25 мол. % AgI в AgBr.

У всех образцов имеется окно прозрачности в терагерцовой области от 0,3 до 0,79...1,0 ТГц, что соответствует длинам волн от 300...380 до 1000 мкм с максимальной прозрачностью до 60 %. При увеличении содержания йодида серебра в твердом растворе происходит смещение коротковолновой границы ТГц спектра пропускания в область более длинных волн от 300 до 380 мкм, а также снижается уровень пропускания. Смещение границы коротковолнового спектрального пропускания характерно не только для ТГц спектрального диапазона, аналогичное поведение наблюдается и в видимой области спектра [2]. Снижение уровня пропускания скорее всего связано с увеличением показателя преломления и, соответственно, потерями на отражении от межфазной границы.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, <https://rscf.ru/project/21-73-10108/>.

1. Zhukova L., Salimgareev D., Korsakov A., Yudin N., Komandin G., Spektor I., Lvov A., Yuzhakova A. The optical transparency investigation of crystals based on the AgHal – THal solid solutions systems in the terahertz range. // Opt. Mat. 2021. V. 113. 110870.
2. Salimgareev D., Lvov A., Zhukova L., Belousov D., Yuzhakova A., Shatunova D., Korsakov A., Ishchenko A. Optical properties of the AgBr – AgI system crystals. // Opt. and Laser Tech. V. 149. 107825.

ИНФРАКРАСНАЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРО- И ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ

*А. Тураби, Н. Н. Акифьева, А.А. Южакова, А. Е. Львов, Д. Д. Салимгареев,
А. С. Корсаков, Л. В. Жукова*

Работа посвящена исследованию инфракрасной волоконно-оптической системы на основе световодов системы AgBr-AgI, которые прозрачны в среднем ИК диапазоне от 3 до 26 мкм. Система предназначена для контроля температуры и тепловой защиты элементов электро- и энергооборудования, которые работают в температурном интервале от +300 до -20 °С, что соответствует спектральному диапазону от 5,1 мкм до 11,5 мкм. Преимуществом волоконно-оптических датчиков перед традиционными терморезистивными и термоэлектрическими датчиками, является отсутствие токоведущих связей чувствительного элемента с приемником. Это преимущество делает волоконно-оптические датчики температуры более надежными при работе в условиях сильных электромагнитных полей.

Ключевые слова: инфракрасные кристаллы, датчики температуры, тепловая защита

The work is devoted to the study of an infrared fiber-optic system based on AgBr-AgI fibers, which are transparent in the mid-IR from 3 to 26 μm . A system designed for temperature control and thermal protection of electrical and power equipment elements that operate in the temperature range from +300 to -20 °C, which corresponds to the spectral range from 5.1 to 11.5 μm . The advantage of fiber-optic sensors over traditional thermoresistive and thermoelectric sensors is the absence of current-carrying connections between the sensing element and the receiver. This advantage makes fiber optic temperature sensors more reliable when operating in strong electromagnetic fields.

Keywords: infrared crystals, temperature sensors, thermal protection

Инфракрасная волоконно-оптическая система на основе световодов системы AgBr-AgI, предназначенная для контроля температуры в системах тепловой защиты элементов электро- и энергооборудования, включает источник ИК излучения, канал передачи и приемник, которым является фототранзистор [1-2]. Канал передачи выполнен в виде волоконной сборки диаметром 2 мм и длиной 35 см, состоящей из 16 световодов, каждый диаметром 525 мкм, изготовленных методом экструзии из монокристаллов системы AgBr-AgI. На входном торце волоконной сборки установлена собирающая линза, оптически связанная с источником ИК излучения. Выходной торец волоконной сборки оптически связан с фототранзистором, выдающим дискретный сигнал. Дискретный сигнал используется в алгоритмах тепловой защиты электро- и энергооборудования, выполняемой контроллером. Передача ИК сигнала по волоконной сборке позволяет передать информацию о значении температуры объекта через оптическую преграду, допуская при этом изгибы до 90 градусов, при радиусе 50 мм. С целью испытания системы исследовался отклик фототранзистора на излучение, полученное от ИК источника типа - глобар и доставленное до фототранзистора волоконной сборкой. Эта волоконная сборка позволяет измерять тепловое поле исследуемого объекта. Уровень фототока от транзистора SFH-309 при детектируемой температуре на выходном торце световода 30-55 °С составляет от 0 до 1,1 мкА, в зависимости от приложенного напряжения «эмиттер-коллектор». Так при отсутствии внешнего напряжения на фототранзисторе при детектируемой температуре 51,4 °С уровень тока составляет 0,6 мкА, при напряжении 5В – 0,8 мкА, при 20В – 1,1 мкА.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEUZ-2020-0058 (Н687.42Б.223/20).

1. Planck M. The theory of Heat Radiation // P. Blakiston's Son & Co. 1914. P. 252.
2. Шмыгалев А.С. Экспериментальное исследование теплопереноса инфракрасными галогенидсеребряными световодами: автореф. канд. дисс. на соиск. степени канд. техн., г. Новосибирск. 2018. –С. 24.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ AgBr –AgI

*А. Тураби, Н. Н. Акифьева, А. С. Корсаков, Л. В. Жукова, А.А. Южакова,
Д. Д. Салимгареев, Ю. О. Зеленкова*

(Уральский Федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

Целью работы является исследование электрических свойств, необходимых для практического применения кристаллических материалов систем AgBr-AgI в опто-электронных приборах, предназначенных для работы в электромагнитных полях, в частности в качестве датчиков температуры вместо термоэлектрических преобразователей на высоковольтном оборудовании. При высоких напряжениях наблюдается ухудшение оптических свойств кристаллических материалов системы AgBr-AgI. С изменением состава образца варьируется величина разрушающей разности потенциалов. Значение разрушающей разности потенциалов исследуется путем приложения постоянного напряжения, однако в случае переменного электрического тока наблюдаются аналогичные явления. Определено, что электрический пробой приводит к ухудшению пропускания более чем на 20% во всем спектральном диапазоне.

Ключевые слова: галогениды серебра, йодиды серебра, вольт-амперная характеристика, электрический пробой

The work's aim is to study the electrical properties necessary for the practical application of crystalline materials of the AgBr-AgI systems in optoelectronic devices designed to operate in electromagnetic fields, in particular as temperature sensors instead of thermoelectric converters on high-voltage equipment. At high voltages, there is a deterioration in the optical properties of the crystalline materials of the AgBr-AgI system. With a change in the composition of the sample, the value of the destructive potential difference varies. The value of the destructive potential difference is investigated by applying a constant voltage, however, in the case of an alternating electric current, similar phenomena are observed. It has been determined that electrical breakdown leads to a deterioration in transmission by more than 20% over the entire spectral range.

Keywords: silver halide, silver iodide, volt-ampere characteristic, electrical breakdown

Материалы на основе твердых растворов системы AgBr-AgI прозрачны в спектральном диапазоне от 0,46 до 41,0 мкм [1], отличаются пластичностью, негигроскопичностью, фото- и радиационной стойкостью, что делает их востребованными для тепловизионной, лазерной техники и спектроскопии. Кроме того, это перспективный материал для волоконной оптики. Для проектирования оптического оборудования, работающего в электрических полях, необходима информация об электрических свойствах материала, наиболее полно характеризующихся вольтамперной характеристикой (ВАХ).

В этой работе изучались оптические материалы состав от 4 до 76 мол. % AgI в системе AgBr. Исследовалась зависимость ВАХ материалов от состава и температуры в диапазоне от 20 до 100 °С для тонких пластин толщиной 0,5 и 1,7 мм. К образцу каждой толщины при каждом из выбранных значений температуры прикладывалось напряжение от 0,6 В до напряжения пробоя.

В ходе выполнения работы установлены ВАХ, полученные для пластины из кристалла состава $\text{AgBr}_{0.74}\text{I}_{0.26}$. Для температур ниже 100 °С зависимость силы тока от напряжения более типична для диэлектрика. Сила тока при увлечении напряжения в малой степени возрастает до напряжения электрического пробоя. Значение напряжения электрического пробоя уменьшается с увеличением температуры материала. Электрический пробой приводит к разрушению кристалла и появлению серебряной "дорожки". ВАХ кристаллов состава $\text{AgBr}_{0.74}\text{I}_{0.26}$, измеренные путем приложения напряжения к пластинам толщиной 500 мкм и 1,7 мм, до определенного напряжения (около 2-3 вольт) демонстрируют линейную зависимость тока от приложенного напряжения. Определено, что электрический пробой приводит к ухудшению пропускания более чем на 20% во всем спектральном диапазоне.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEUZ-2020-0058 (Н687.42Б.223/20).

1. Salimgareev D., Lvov A., Zhukova L., Belousov D., Yuzhakova A., Shatunova D., Korsakov A., Ishchenko A. Optical properties of the AgBr – AgI system crystals. // Opt. Las. Tech. 2022. V.149. 107825.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ СИСТЕМ

$\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ и $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФРАКРАСНОЙ ОПТИКИ

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

(Уральский Федеральный университет имени первого президента России Б. Н.

Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

В данной работе были исследованы фазовые диаграммы систем $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ и $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75} - \text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ методами дифференциально-термического и рентгенофазового анализа. Для обеих систем определены две области существования однофазных устойчивых твердых растворов со структурой $\text{Pm}\bar{3}\text{m}$

(от 0 до 7 мол. % $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ в $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ и от 0 до 8 мол. % $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ в $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$) и $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$ (от 93 до 100 мол. % $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ в $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ и от 94 до 100 мол. % $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ в $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$), в которых возможно выращивать монокристаллы, а также две области, расположенные между ними, в которых возможно получать оптическую керамику со структурами $\text{Pm}\bar{3}\text{m}+\text{R}-3$ и $\text{Fm}\bar{3}\text{m}+\text{R}-3$.

Ключевые слова: оптически материалы, средний ИК диапазон, дальний ИК диапазон, галогениды серебра, галогениды таллия, твердые растворы

In this work, the phase diagrams of the $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75} - \text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ and $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75} - \text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$ systems were studied by DTA and XPA methods. For $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75} - \text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ and $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75} - \text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$ systems, two regions of existence of single-phase stable solid solutions with the $\text{Pm}\bar{3}\text{m}$ structure (from 0 to 7 mol.% $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ in $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$, 0 to 8 mol % $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ in $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$) and $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$ (93 to 100 mol % $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ in $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$, 94 to 100 mol % $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ in $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$), in which it is possible to grow single crystals, and two regions located between them, in which it is possible to obtain optical ceramics with the structures $\text{Pm}\bar{3}\text{m} + \text{R-3}$ and $\text{Fm}\bar{3}\text{m} + \text{R-3}$.

Keywords: optical materials, middle IR, far IR, silver halides, thallium halides, solid solution

В современном мире для развития инфракрасной и волоконной оптики актуален поиск нетоксичных, пластичных, негигроскопичных и радиационно-стойких материалов, прозрачных от видимого до дальнего инфракрасного диапазона для применения в лазерной и медицинской технике, оптоэлектронике, ИК-волоконной оптике. Твердые растворы $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$, $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ и $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$ является широко известными материалами. Из кристаллов $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ получают хорошие инфракрасные световоды, но они обладают высокой чувствительностью к ультрафиолету [1]. Кристаллы $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ и $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$ пригодны для изготовления различных оптических окон, линз и призм. Данные кристаллы являются фотостойкими, однако световоды на их основе со временем перекристаллизуются и становятся хрупкими. Поэтому представляло интерес изучить фазовые диаграммы систем $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75} - \text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ и $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75} - \text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$ с целью получить новые твердые растворы, соединяющие наилучшие свойства всех вышеуказанных соединений. Для изучения фазовых диаграмм были использованы два метода – дифференциально-термический (ДТА) и рентгенофазовый (РФА) анализы. Исследование проводили с шагом в 5 и 10 мас. %, при температуре от 25 до 550°C

(от 373 до 823 К) при давлении 1 атм. Рентгенофазовый анализ проводили на установке Rigaku MiniFlex 600. Проведение процесса РФА проводили при следующем режиме: материал анода – медь, излучение $\text{CuK}\alpha$ с длиной волны 1,541862 Å, диапазон съемки от 3° до 90°, шаг 0,02°, скорость сканирования 10°/мин.

Для систем $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75} - \text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ и $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75} - \text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$ определены две области существования однофазных устойчивых твердых растворов со структурой $\text{Pm}\bar{3}\text{m}$ (от 0 до 7 мол. % $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ в $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ и от 0 до 8 мол. % $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ в $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$) и $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$ (от 93 до 100 мол. % $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ в $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ и от 94 до 100 мол. % $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ в $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$), в которых возможно выращивать монокристаллы, а также две области, расположенные между ними, в которых возможно получать оптическую керамику со структурами $\text{Pm}\bar{3}\text{m} + \text{R-3}$ и $\text{Fm}\bar{3}\text{m} + \text{R-3}$.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, <https://rscf.ru/project/21-73-10108/>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОСТОЙКОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ И КРИСТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ

$TlBr_{0,46}I_{0,54} - AgI$, $TlCl_{0,74}Br_{0,26} - AgI$

П. В. Пестерева, А. Е. Львов, Д. Д. Салимгареев, А. А. Южакова, И. В. Южаков,
Л. В. Жукова

(Уральский Федеральный университет имени первого президента России Б. Н.
Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

В данной работе было проведено исследование по устойчивости оптической керамики и кристаллов на основе систем $TlBr_{0,46}I_{0,54} - AgI$, $TlCl_{0,74}Br_{0,26} - AgI$ к ультрафиолетовому облучению. Данные материалы являются негигроскопичными, пластичными и пропускают в видимом, инфракрасном областях от 0,4 до 50,0 мкм без окон поглощения, а также в терагерцовой области. Образцы подвергались УФ-облучению с диаметром луча 8 мм и мощностью 2 Вт с периодами облучения 0, 20, 50, 170 и 530 мин. Образцы показали высокую фотостойкость к ультрафиолетовому облучению, при увеличении содержания йодида серебра фотостойкость незначительно уменьшалась.

Ключевые слова: оптическая керамика, фотостойкость, монокристаллы, ИК-диапазон, галогениды серебра и таллия

In this paper, a study was conducted on the stability of optical ceramics and crystals based on $TlBr_{0,46}I_{0,54} - AgI$, $TlCl_{0,74}Br_{0,26} - AgI$ systems to ultraviolet irradiation. These materials are non-hygroscopic, plastic and pass in the visible, infrared regions from 0.4 to 50.0 microns without absorption windows, as well as in the terahertz region. The samples were subjected to UV irradiation with a beam diameter of 8 mm and a power of 2 W with irradiation periods of 0, 20, 50, 170 and 530 min. The samples showed high photo-resistance to ultraviolet irradiation, with an increase in the content of silver iodide, the photo-resistance decreased slightly.

Keywords: optical ceramics, single crystals, photoresistance, infrared range, silver and thallium halides

Оптическая керамика и кристаллы на основе галогенидов серебра и одновалентного таллия являются материалами негигроскопичными, с широким диапазоном пропускания без окон поглощения в видимом, инфракрасном и терагерцовом диапазоне. Из оптической керамики и кристаллов систем $TlBr_{0,46}I_{0,54} - AgI$, $TlCl_{0,74}Br_{0,26} - AgI$ можно получать световоды и оптические изделия для применения их в инфракрасной оптики и фотонике [1]. Целью данного исследование является изучение устойчивости к УФ-облучению оптической керамики и кристаллов систем $TlBr_{0,46}I_{0,54} - AgI$, $TlCl_{0,74}Br_{0,26} - AgI$.

В научной лаборатории «Волоконных технологий и фотоники» были получены образцы оптической керамики и монокристаллов на основе систем $TlBr_{0,46}I_{0,54} - AgI$, $TlCl_{0,74}Br_{0,26} - AgI$. При исследовании фотостойкости все образцы подвергаются облучению в диапазоне длин волн от 260 до 370 нм с мощностью 2 Вт, диаметр ультрафиолетового пучка 8 мм, время облучения

0, 20, 50, 170 и 530 мин. Для каждого образца до и после каждого периода облучения снимаются спектры пропускания на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IRPrestige-21 с рабочим диапазоном длин волн $6500 - 350 \text{ см}^{-1}$ ($1,54 - 28,57 \text{ мкм}$), для съемки использовался делитель луча из KBr, детектор DLaTGS, количество сканирований – 20 при разрешении 4 см^{-1} . Устойчивость образцов к УФ-облучению определяется путем сравнения спектров пропускания до облучения (принимается за нулевой) и после каждого облучения.

По результатам исследования было установлено, что оптическая керамика и кристаллы на основе систем $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54} - \text{AgI}$, $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$ обладают высокой фотостойкостью к ультрафиолетовому облучению. Пропускание кристалла $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ падает на 5-7 % на длине волны 6000 см^{-1} при максимальном времени облучения 530 мин, для кристалла $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26}$ максимальное значения падения пропускания достигает до 25 %. Полученные результаты подтверждают высокую фотостабильность монокристаллов и оптической керамики систем $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54} - \text{AgI}$, $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, <https://rscf.ru/project/21-73-10108/>.

- 1 Salimgareev D., Yuzhakova A., Lvov A., Kondrashin V., Korsakov A., Zhukova L. Optical ceramics based on $\text{TlCl}_{0,74}\text{Br}_{0,26} - \text{AgI}$ system transparent from visible to far IR region. // Opt. Mater. 2022. V. 131. 112735.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ПРОФИЛЕЙ ЛЕГИРОВАНИЯ В ЛАЗЕРНЫХ КРИСТАЛЛАХ НА ОСНОВЕ ZnSe:Fe И ZnS:Fe

¹ Е.Е. Алексеев, ² Д.В. Болотов, *² С.Ю. Казанцев,^{2,3} Л.С. Машковцева,
² Ж. Рабенандрасана

(¹НИИЦ "Курчатовский институт", 123182, Россия, Москва, площадь Академика Курчатова, 1, ²Московский технический университет связи и информатики, 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 8а, ³Всероссийский институт научной и технической информации РАН, Москва, ул. Усиевича, 20, *s.i.kazantsev@mtuci.ru)

Проанализирована публикационная активность в области создания мощных ZnSe(S):Fe лазеров, выявлены основные тенденции и точки роста развития этих лазерных источников. Показано, что основными факторами, ограничивающими максимальную импульсную мощность и энергию ZnSe(S):Fe лазеров, являются: разрушение активного кристалла и развитие паразитной генерации. На основе численного моделирования предложены неоднородные профили легирования лазерного кристалла, которые позволяют повысить максимальную энергию лазера при импульсной накачке.

Ключевые слова: ZnSe:Fe лазер, ZnS:Fe лазер, оптическая прочность, термоупругие деформации, паразитная генерация

The publication activity in the field of creating high-power ZnSe(S):Fe lasers is analyzed, and the main trends and points of growth in the development of these laser sources are

identified. It is shown that the main factors limiting the maximum pulse power and energy of ZnSe(S):Fe lasers are the destruction of the active crystal and the development of parasitic generation. On the basis of numerical simulation, inhomogeneous doping profiles of the laser crystal are proposed, which make it possible to increase the maximum laser energy under pulsed pumping.

Keywords: ZnSe:Fe laser, ZnS:Fe laser, optical strength, thermoelastic deformation, parasitic generation

В последнее время кристаллы ZnSe и ZnS, легированные ионами Fe²⁺, являются предметом интенсивных исследований [1,2]. Эти материалы интересны, как наиболее перспективные активные среды для мощных лазеров среднего ИК диапазона спектра [2]. К основным областям применения ZnSe:Fe(Cr) и ZnS:Fe лазеров, спектр которых лежит в области среднего ИК диапазона, относятся: дистанционный контроль окружающей среды, лазерные системы воздушной связи, спектроскопические исследования, медицина, а также разработка систем оптико-электронного противодействия [1]. С целью выявления основных тенденций в области ZnSe:Fe и ZnS:Fe лазеров, согласно методике [3] был проведен наукометрический анализ публикаций, индексируемых в базе данных SCOPUS. Этот анализ показал значительный рост интереса к этим лазерам за последние 10 лет и позволил выявить основные тенденции развития этого направления. Основными факторами, ограничивающими максимальную импульсную мощность и энергию ZnSe(S):Fe лазеров, являются: разрушение активного кристалла и развитие паразитной генерации [4,5]. На основе численных моделей [5] проведено компьютерное моделирование термоупругих напряжений, возникающих в лазерных кристаллах ZnSe:Fe и ZnS:Fe при мощной импульсной оптической накачке. Показано, что применение неоднородных профилей легирования этих кристаллов позволяет увеличить энергетические характеристики ZnSe:Fe и ZnS:Fe лазеров.

1. Mirov S.B. et al. // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. 2018. V. 24. N. 5. P. 1-29.
2. Gavrishuk E. et al. Growth of high optical quality zinc chalcogenides single crystals doped by Fe and Cr by the solid phase recrystallization technique at barothermal treatment. // J. Crystal Growth. 2017. V. 468. P. 655-661.
3. Машковцева Л.С. и др. Наукометрический анализ публикаций по источникам одиночных фотонов для систем связи с квантовым распределением ключей // Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы. – 2022. – № 1. – С. 22-31.
4. Ruan Petal. Performance improvement of a Fe²⁺:ZnSe laser pumped by non-chain pulsed HF laser. // Optik. 2021. V. 242. P. 167005.
5. Alekseev E.E. et al. Parasitic lasing and thermoelastic deformations in Fe²⁺:ZnSe crystals under high-power pulsed optical pumping. // JOSAB. 2021. V. 38. N. 8. P. B59-B64.

В данной работе методом разложения функции Грина в непрерывную дробь изучалась локальная плотность электронных состояний в YAG. Использовалось масштабирование матрицы полуэмпирического гамильтониана.

Ключевые слова: мнимая часть функции Грина, разложение гамильтониана в непрерывную дробь, полуэмпирический гамильтониан, локальная плотность электронных состояний.

In this work, the method of decomposing the Green function into a continuous fraction studied the local density of electronic states in YAG. Scaling of the semi-empirical Hamiltonian matrix was used.

Keywords: imaginary part of the Green function, decomposition of the Hamiltonian into a continuous fraction, semi-empirical Hamiltonian, local density of electronic states.

В настоящее время использование полупроводников в различных приборах все больше и чаще смещается в сторону широкозонных материалов SiC, GaN, AlN, YAG и т.п. [1]. Последний имеет ширину запрещенной зоны около 6 эВ и поэтому вызывает большой интерес в плане разработки на его основе различных датчиков и излучателей в различных участках спектра. Большая ширина запрещенной зоны позволяет с помощью введения различных примесей создавать системы электронных уровней, разница по энергии между которыми меньше 6 эВ. Это приводит к малому поглощению как вводимых, так и выводимых излучений, что значительно повышает эффективность работы приборов. Поэтому изучение электронной структуры YAG имеет важное значение. При этом примеси могут занимать разные позиции в решетке, поэтому интересно изучение именно локальной плотности состояний (ЛПС).

В данной работе использовался полуэмпирический гамильтониан, в котором диагональные члены матрицы есть потенциалы ионизации атомов [5], а недиагональные - их суммы с различными весовыми коэффициентами, умноженными на интегралы перекрытия. Последние определялись по работе [6]. Использовались атомные орбитали слэйтеровского типа [4]. ЛПС в базисе ЛКАО есть мнимая часть функции Грина (с множителем $1/\pi$). Использовался метод разложения функции Грина в непрерывную дробь [2] с масштабированием матричных элементов путем деления на самое большое значение диагонального элемента матрицы, что позволяет избавиться от переполнения в ходе расчетов. Оно возникает из-за того, что данный алгоритм использует умножение гамильтониана само на себя. Однако достоинства этого метода - замена матрицы на два одномерных массива, что позволяет отказаться от матриц большого размера, генерируя матричные элементы по ходу расчета, записав в память некоторые повторяющиеся элементы. Гамильтониан строился в несимметризованном варианте, так как это позволяет рассматривать системы с частичной заменой основных атомов решетки на примесные. В этом случае нарушается симметрия кристалла, что не позволяет использовать уменьшение матрицы гамильтониана за счет симметризации.

В качестве модели кристалла YAG использовался октант от элементарной ячейки приведенный на рис. 4 в статье [3]. В принципе в нем 33 атома, но два атома, которые находятся на диагонали, не связаны с атомами данного октанта. Поэтому кластер для расчета содержал 31 атом. Расчет проводился для центрального атома октанта. В YAG это атом алюминия. Проводился также расчет для октанта, в котором алюминий в центре октанта заменен на атом галлия. ЛПС обычно имеет характерные максимумы вблизи потенциалов ионизации атомов. Замена алюминия на галлий в центре приводит к сдвигу максимумов к величинам характерным для галлия, что близко к результатам работы [7].

- 1 Polovchenko S.V., Chartii P.V., Shemann V.G., Privalov V.E. // J. Optical Technology. 2016. Т.83. № 5. Р. 43-49.
- 2 Solid State Physics. 1980. V.35. Acad. Press, N.Y.
- 3 Menzer G. // Zeitschrift für Kristallografie. Leipzig. 1928. В.69, Р.300-396.
- 4 Clementi E., Raimondi D.L. // J. Chem. Phys. 1963. V.38. Р. 2686-2689.
5. Левин А.А. Введение в квантовую химию твердого тела. -М. «ХИМИЯ», 1974.
6. Бацанов С.С., Звягина Р.А. Интегралы перекрывания. -Новосибирск. «НАУКА», 1966.
7. Munoz-Garcia A.B., Sejo L. // Phys. Rev. 2010. В 82. Р. 184118 .

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

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОЦЕНКИ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВЯЗИ

*С.Ю. Казанцев, Н.Е. Мирошникова, П.А. Титовец, А.А. Смольский, *М.О. Федюк*
(Московский технический университет связи и информатики, Москва,
*m-fedyuk@mail.ru)

Создание физических моделей позволяет исследовать имитируемые среды в лабораторных условиях без снижения достоверности получаемых результатов. Разработанная уникальная научная установка даёт возможность проводить различные исследования по тематике беспроводной оптической подводной связи. Данный стенд позволяет изменять различные параметры гидросферы для имитации разнообразных подводных условий.

Ключевые слова: оптическая система, уникальная научная установка, физическая модель, подводная связь.

Creating physical models allows research imitated environments in a laboratory without decrease in reliability of obtained results. Our developed unique scientific facility gives access to run various wireless optical underwater researches. The facility allows to change different parameters of the hydrosphere to imitate multiple environmental conditions.

Keywords: optical system, unique scientific facility, physical model, underwater communication.

В настоящее время ведется активное освоение гидросферы Земли с применением различных стационарных и подвижных подводных аппаратов. Для решения этих задач, необходима беспроводная связь между аппаратами.

Эту задачу позволяет решить комплекс беспроводной подводной лазерной связи.

Уникальная научная установка «Аппаратно-программный комплекс оценки основных технических характеристик оборудования беспроводной подводной лазерной связи» позволяет проводить широкий спектр научных исследований, в частности, полунатурное испытание перспективного оборудования для беспроводной оптической подводной связи, измерение их основных параметров и характеристик. В отличие от известных методик и соответствующих лабораторий. Существует возможность создания различных контролируемых параметров таких как соленость воды, мутность и турбулентность, что приближает условия выполнения измерений к реальным. Также позволяет задавать и контролировать на протяжении исследования параметры и обеспечивает повторяемость выполняемых измерений.

Комплекс позволяет производить сравнение параметров оборудования при одинаковых параметрах гидросферы. Разработанная математическая модель позволяет дать рекомендации по достижению требуемых параметров оборудования беспроводной подводной лазерной связи.

1. Мирошникова Н.Е., Титовец П.А., Липаткин В.И., Кулешов А.Н. Экспериментальные исследования подводного оптического канала связи. //Труды X международная конференция «Фотоника и информационная оптика».–2021.– 27-29 января 2021.
2. Miroshnikova N. E., Petruchin G. S., Titov P. A. Estimation Of The Effect Of Dispersion On The Communication Range In A Wireless Underwater Optical Channel. //2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO). 2021. P. 1-4. doi: 10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488389.

КРЕМНИЕВЫЕ ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ УМНОЖИТЕЛИ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

¹Асаёнок М.А., ²Казанцев С. Ю., ²Мирошникова Н.Е., ²Титовец П.А., ²*Федюк М.О.,
²Рабенандрасана Ж., ²Смольский А.А.

¹Белорусская государственная академия связи, Минск, Беларусь, ²Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия,
e-mail: *m-fedyuk@mail.ru)

Представлен анализ перспектив применения кремниевых фотоэлектронных умножителей для систем подводных коммуникаций. На основе анализа научных публикаций выявлен значительный интерес к фотоприемным устройствам на основе ФЭУ для систем связи с квантовым распределением ключей. Показана перспективность использования кремниевых ФЭУ для подводных беспроводных систем связи.

Ключевые слова: кремниевые фотоэлектронные умножители, системы инфокоммуникаций, квантовая связь, подводная лазерная связь

An analysis of the prospects for the use of silicon photomultipliers for underwater communication systems is presented. Based on the analysis of scientific publications, a

significant interest in PMT-based photodetectors for communication systems with quantum key distribution has been revealed. The use of silicon PMTs for underwater wireless communication systems is shown to be promising.

Keywords: silicon photoelectronic multipliers, infocommunication systems, quantum communication, underwater laser communication.

Исследования [1,2] указывают на перспективность применения в системах инфокоммуникаций в качестве приемников информации кремниевых фотоэлектронных умножителей (Si-ФЭУ). Наукометрический анализ научных публикаций, выполненный по методике, описанной в [3], подтверждает высокий интерес исследователей к использованию Si-ФЭУ в системах подводной квантовой связи. Это связано с тем, что Si-ФЭУ по сравнению с лавинными фотодиодами: 1) имеют достаточно большую площадь фоточувствительной поверхности; 2) обладают высоким быстродействием и высокой чувствительностью в спектральной области, соответствующей окнам прозрачности атмосферы и воды, что позволит обеспечить высокую скорость передачи данных. Высокая чувствительность и быстродействие Si-ФЭУ позволяют организовывать канал связи с подвижными объектами на основе модуляции отраженного от этого объекта излучения, направляемого от лазерного источника. Преимущества реализации подобного канала связи проявляются при использовании малоразмерных беспилотных подводных и воздушных дронов, с которыми необходимо вести высокоскоростной и защищенный обмен данными. Для проведения исследований в области применения Si-ФЭУ в системах защищенной беспроводной лазерной связи под водой была разработана программа исследований, включающая исследования характеристик фотоприемников на основе Si-ФЭУ производства ОАО «Интеграл» Республика Беларусь; разработку пакета программ для моделирования прохождения и регистрации лазерного излучения на подводных трассах различной протяженности, а также создание экспериментального стенда для верификации результатов численного моделирования, которые проводятся на базе УНУ «Аппаратно-программный комплекс оценки основных технических характеристик оборудования беспроводной подводной лазерной связи» [4].

1. Асаёнок М.А., Зеневич А.О., Новиков Е.В. Кинетика и амплитуда фотоотклика кремниевых фотоэлектронных умножителей. // Изв. вузов. Электроника.–2019.– Т. 24, № 4.– 391–397.
2. Асаёнок М.А., Зеневич А.О., Новиков Е.В., Кочергина О.В., Лагутик А.А. Реализация режима счета фотонов матричными многоэлементными лавинными фотоприемниками видимого и ближнего инфракрасного диапазонов. // Успехи прикладной физики.–2020. –Т. 8.№ 6.–С.464–471.
3. Машковцева Л.С. и др. Наукометрический анализ публикаций по источникам одиночных фотонов для систем связи с квантовым распределением ключей // Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы.– 2022.– № 1.- С. 2-31.
4. https://mtuci.ru/science/unique_scientific_solutions/

ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ И ЛАЗЕРЫ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Х.А. Баалбаки

(Томский государственный университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36)

Предлагается использовать физико-информированные нейронные сети (ФИНС) как метод расчета параметров плазмы лазеров на парах металлов (ЛПМ); рассмотрено преимущества в решении этой задачи и препятствия на пути его применения.

Ключевые слова: Лазер на парах металлов (ЛПМ), плазма, глубокого обучения, физико-информированные нейронные сети (ФИНС).

In this thesis Physics-Informed Neural Networks (PINN) were suggested as method to calculate plasma parameters of metal vapor laser (MVL) and were defined its advantages in solving our problem and the obstacles to applying it.

Keywords: Metal vapor laser (MVL), plasma, deep learning, physics-informed neural networks (PINN).

Пространственно-временная зависимость параметров плазмы (температура электронов, температура плазмы, состояния населенностей и др.) определяет кинетику процессов в активной среде лазера, демонстрирует основные причины ограничения частотно-энергетических характеристик ЛПМ [1].

Измерение этих параметров оптическими и спектроскопическими методами сложно и затруднительно. Ранее для расчета этих параметров использовались аппроксимации дифференциальными уравнениями в узких пространственно-временных диапазонах и в ряде случаев без возможности построения общей модели [2].

С появлением науки о данных и развитием алгоритмов глубокого обучения и машинного обучения интерес к их использованию в качестве новых методов значительно возрос в различных областях науки, таких как химическая технология [3], оптическая метрология [4], тепловой транспорт [5], биоматериалы [6] и др.

Целью PINN является аппроксимация решения системы одного или нескольких дифференциальных, возможно, нелинейных уравнений, путем явного кодирования формулировки дифференциального уравнения в нейронной сети. Как известно [7] все процессы в плазме ЛПМ описываются дифференциальными уравнениями, поэтому в этих случаях для построения модели может быть использован PINN.

Небольшие данные считаются самой большой проблемой в этом случае, здесь можно предложить два подхода, во-первых, о данных, собирая их из предыдущих исследований или экспериментально, а второй подход - использование метода переноса обучения для обучения PINN с уменьшенным количеством эпох и вычислительные затраты.

В заключение представлены PINN как новый метод улучшения экспериментальных исследований ЛПМ и представлены его сильные

стороны.

1. Soldatov A.N., Yudin N.A., Polunin Yu.P., Yudin N.N. On the mechanism of limitation of the frequency-energy characteristics of metal vapor lasers. // Atmospheric Ocean. Opt. 2018. V. 31. P.424-430.
2. Torgaev S.N., Kulagin A.E., Evtushenko T.G.; Evtushenko G.S. Kinetic modeling of spatio-temporal evolution of the gain in copper vapor active media. // Optics Communications. 2019. V. 440. P 146-149.
3. Alexander T., Johannes W., Jan K., Calvin T., Ruth M. Maximizing information from chemical engineering data sets: Applications to machine learning. // Chemical Engineering Science. 2022. V252. 117469.
4. Chao Z. et al. Deep learning in optical metrology: a review. // Light: Science & Applications. 2022. V11. P. 39.
5. Xin Q., Ronggui Y. Machine learning for predicting thermal transport properties of solids. // Materials Science and Engineering. 2021. V 146. 100642.
6. Bikramjit B., Gowtham N.H., Yang X., Surya R.K., Kam W.L. Biomaterialomics: Data science-driven pathways to develop fourth-generation biomaterials. // Acta Biomaterialia. 2022. V. 143, P. 1-25.
7. Cheng C., Sun W. Study on the kinetic mechanisms of copper vapor lasers with hydrogen-neon admixtures. // Opt. Comm. 1997. V. 144. P. 109-117.

ГИБРИДНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВИДЕОПотока

Часиб Хасан Аль-Дарраджи, И.Н. Горбачев, А.В. Бутусов

(Юго-Западный государственный университет, Курск, SFilist@gmail.com)

Исследование направлено на разработку новых методов машинного обучения для классификации снимков в потоке видеоданных на основе полносвязных нейронных сетей.

Ключевые слова: классификация изображений, области интереса, ортогональные преобразования, локальное окно

The study is aimed at developing new machine learning methods for classifying images in a video data stream based on fully connected neural networks.

Key words: image classification, regions of interest, orthogonal transformations, local window

Для сегментации и классификации изображений широко используются, как сверточные нейронные сети (СНС), так и полносвязные искусственные нейронные сети (ИНС) [1]. При использовании полносвязных ИНС для анализа изображений дескрипторы формируются в локальном окне (маске). Передвигая маску по изображению, каждой координате ставят в соответствие вектор дескрипторов, который является входным вектором полносвязной ИНС. При этом каждому положению маски соответствует процедура принятия решения по отнесению пикселя, определяющего координаты маски, к определенному классу. Это является одним из

недостатков такой модели классификации по сравнению с СНС, в которой классифицируется изображение в целом.

В предлагаемой модели классификатора предполагается классифицировать не пиксель-координату маски, а весь фрагмент изображения, попавший в маску. Для этого в среде интерактивной сегментации лицо, принимающее решение (ЛПР) должно выделить из текущих изображений предмет поиска в виде сегментов, которые являются дата сет для обучения полносвязной ИНС [2, 3]. Ключевой процедурой вычисления дескрипторов является двумерное ортогональное преобразование. Процесс получения дескрипторов включает следующие этапы. ЛПР создает базу данных фрагментов (сегментов) изображения определенного класса, которые необходимо выделить из текущего видеоряда. Синтез дескрипторов начинается с преобразования пикселей, попавших в маску, посредством двумерного ортогонального преобразования. Следующий этап – фильтрация спектральных коэффициентов, которые после фильтрации поступают на блок обратного дискретного ортогонального преобразования. После этой процедуры исходный сегмент изображения сравнивается с изображением, полученным на выходе блока обратного преобразования по определенному критерию - функционалу ошибки. По результатам сравнения осуществляется коррекция параметров фильтра, расположенного между блоком прямого дискретного преобразования и блоком обратного дискретного преобразования. После окончательной настройки фильтра он используется в качестве инструмента вычисления дескрипторов на входе полносвязной ИНС при классификации неизвестного образца. В качестве такого фильтра можно использовать полносвязную нейронную сеть.

Таким образом, для классификации изображений видеоряда предложена гибридная интеллектуальная модель, интегрирующая методологию спектрального анализа, нейросетевой классификации и адаптивной фильтрации в спектральной области.

- 1 Белых В.С., Ефремов М.А., Филист С.А. Разработка и исследование метода и алгоритмов для интеллектуальных систем классификации сложноструктурируемых изображений. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение.– 2016.– № 2 (19).- С. 12-24.
- 2 Филист С.А., Томакова Р.А., Брежнева А.Н. и др. Клеточные процессоры в классификаторах многоканальных изображений. // Радиопромышленность.– 2019.– № 1.– С. 45-52.
- 3 Филист С.А., Дабагов А.Р., Томакова Р.А., и др. Метод каскадной сегментации рентгенограмм молочной железы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение.– 2019.– Т. 9. № 1 (30).– С. 49-61.

МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ КЛАССИФИКАТОРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ

А.А. Кузьмин, Е.В. Петрунина, София Кадырова, Р.А. Карачевцев
(Юго-Западный государственный университет, Курск, SFilist@gmail.com)

Исследование направлено на разработку новых методов машинного обучения для классификации функционального состояния кардиореспираторной системы.

Ключевые слова: обучаемый классификатор, система дыхания, электрокардиосигнал, вейвлет-преобразование

The study is aimed at developing new machine learning methods for classifying the functional state of the cardiorespiratory system.

Key words: trainable classifier, respiratory system, electrocardiosignal, wavelet transform

Функциональное состояние кардиореспираторной системы (ФСКРС) является наиболее чувствительным предиктором функционального состояния организма в целом. Для его диагностики используют методы машинного обучения, основанные на анализе электрокардиосигнала (ЭКС) с использованием вейвлет-анализа [1]. Предлагаемый многоэтапный метод синтеза дескрипторов основан на том, что определенные фрагменты вейвлет-плоскости ЭКС связаны с ритмом дыхания (РД), который, в свою очередь, коррелирует с определенным ФСКРС. Для конкретного заболевания для вычисления дескрипторов используются только определенные строки растрового изображения вейвлет-плоскости, связанные с определенными системными ритмами. Этот подход позволяет использовать полносвязные нейронные сети для анализа изображений, что значительно упрощает процедуру обучения нейронной сети и сокращает время принятия решения. Для построения классификаторов ФСКРС было предложено использовать иерархические системы классификаторов, основанные на принципе усиления показателей качества слабых классификаторов [2, 3]. В качестве дескрипторов слабых классификаторов использовались дескрипторы, основанные на анализе вариабельности РД, показатели которой могут быть получены путем анализа сигнала пневмограммы или показателей газообмена легких. Показано, что аналогичную информацию о вариации РД можно получить при анализе мониторингового ЭКС, апертюра которого соответствует длинам волн VLF-диапазона. Поскольку частотный диапазон РД уникален для каждого человека, для его определения было предложено рассчитать Фурье-спектр ЭКС и проанализировать спектральный состав его цуга, принадлежащего РД. Имея информацию о частотном диапазоне цуга РД, рассчитывают параметры для построения вейвлет-плоскости ЭКС. Таким образом, метод формирования дескрипторов для классификаторов ФСКРС включает анализ спектрального диапазона РД, построение вейвлет-плоскости мониторингового ЭКС, перекрывающей частотный диапазон РД, и определение вариаций РД по соответствующим строкам вейвлет-плоскости. Метод позволил выделить из ЭКС РД и медленные волны более высокого порядка. Анализ спектральных характеристик этих волн позволяет

сформировать дескрипторы для классификаторов ФСКРС, в том числе и для классификаторов коморбидных заболеваний, характерных для ФСКРС.

1. Мяснянкин М.Б., Филист С.А., Киселев А. В.И др. Формирование дескрипторов для классификаторов функционального состояния системы дыхания на основе спектрального анализа электрокардиосигнала. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение.– 2020.– Т. 10, № 3/4.– С. 8-28.
2. Филист С. А., Шаталова О. В., Ефремов М. А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений // Нейрокомпьютеры. Разработка и применение.–2014.– № 6.– С. 35–39.
3. Киселев А.В., Кузьмин А.А., Мяснянкин М.Б., и др. Классификация функционального состояния системы дыхания на основе анализа variability медленных волн VLF диапазона. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение.– 2022.– №1. Том 12.– С. 8-32.

МОДИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ВОЙТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕСКРИПТОРОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАТОРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ БИОМАТЕРИАЛА

Р.И. Сафронов, А.В. Серебровский, Н.С. Стадниченко, А.Ю. Новоселов
(Юго-Западный государственный университет, Курск, SFilist@gmail.com)

Рассмотрена модификация модели Войта биоматериала, предназначенная для построения классификаторов функционального состояния биообъектов.

Ключевые слова: обучаемый классификатор, модель Войта, рекуррентный алгоритм, дескрипторы

A modification of the Voigt model of a biomaterial, intended for constructing classifiers of the functional state of biological objects, is considered.

Key words: trainable classifier, Voight model, recurrent algorithm, descriptors

Для формирования дескрипторов для классификаторов функционального состояния биообъектов[1] предлагается модифицированная модель Войта импеданса биоматериала, параметры звеньев которой определяются посредством решения системы нелинейных уравнений, полученной из уравнения

$$Z_{\text{voigt}}(\omega) = \sum_{i=1}^L \left(\left(\frac{R_i(\omega C_i r_i + 1)}{\omega C_i r_i (1 + \omega C_i R_i)} \right)^{-1} + j \frac{\omega C_i}{1 + \omega C_i r_i} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где $\{C_i R_i r_i\}$ – множество параметров модифицированных звеньев Войта, L – число звеньев в модели, полученных на основе анализа импедансной диаграммы, которое определяется посредством рекуррентного алгоритма, минимизирующего ошибку моделирования экспериментальной импедансной диаграммы системой уравнений типа (2), полученной на текущем шаге итерации[2, 3].

Модифицированная модель отличается от модели Войта наличием резистора

r , подключенному последовательно конденсатору C . Такая двухзвенная модель принимает вид системы нелинейных алгебраических уравнений (2). В результате решений таких уравнений вычисляются параметры моделей, начиная от однозвенной модели и последовательно, наращивая звенья в модели до тех пор, пока функционал ошибки аппроксимации моделью экспериментальной импедансной диаграммы не достигнет допустимого значения. После решения системы уравнений типа (2) получаем параметры двухполюсников в модифицированной модели Войта. Если точность аппроксимации экспериментальной импедансной кривой, текущей модифицированной моделью Войта не удовлетворительная, то добавляем в систему уравнений (2) еще два уравнения (частотный отсчет на графике Коула), решаем ее и строим модель Войта заново.

$$\left. \begin{aligned} a(\omega_1) &= \frac{\omega_1^2 R_1 r_1 C_1 (r_1 C_1 + R_1 C_1) + R_1}{1 + \omega_1^2 (r_1 C_1 + R_1 C_1)^2} + \frac{\omega_1^2 R_2 r_2 C_2 (r_2 C_2 + R_2 C_2) + R_2}{1 + \omega_1^2 (r_2 C_2 + R_2 C_2)^2}; \\ b(\omega_1) &= \frac{-\omega_1 R_1^2 C_1}{1 + \omega_1^2 (r_1 C_1 + R_1 C_1)^2} + \frac{-\omega_1 R_2^2 C_2}{1 + \omega_1^2 (r_2 C_2 + R_2 C_2)^2}; \\ a(\omega_2) &= \frac{\omega_2^2 R_1 r_1 C_1 (r_1 C_1 + R_1 C_1) + R_1}{1 + \omega_2^2 (r_1 C_1 + R_1 C_1)^2} + \frac{\omega_2^2 R_2 r_2 C_2 (r_2 C_2 + R_2 C_2) + R_2}{1 + \omega_2^2 (r_2 C_2 + R_2 C_2)^2}; \\ b(\omega_2) &= \frac{-\omega_2 R_1^2 C_1}{1 + \omega_2^2 (r_1 C_1 + R_1 C_1)^2} + \frac{-\omega_2 R_2^2 C_2}{1 + \omega_2^2 (r_2 C_2 + R_2 C_2)^2}; \\ a(\omega_3) &= \frac{\omega_3^2 R_1 r_1 C_1 (r_1 C_1 + R_1 C_1) + R_1}{1 + \omega_3^2 (r_1 C_1 + R_1 C_1)^2} + \frac{\omega_3^2 R_2 r_2 C_2 (r_2 C_2 + R_2 C_2) + R_2}{1 + \omega_3^2 (r_2 C_2 + R_2 C_2)^2}; \\ b(\omega_3) &= \frac{-\omega_3 R_1^2 C_1}{1 + \omega_3^2 (r_1 C_1 + R_1 C_1)^2} + \frac{-\omega_3 R_2^2 C_2}{1 + \omega_3^2 (r_2 C_2 + R_2 C_2)^2}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $a(\omega)$ и $b(\omega)$ – координаты точки на импедансной диаграмме биоматериала при $\omega = const$.

Модель (2) отличается от модели-прототипа тем, что для каждого ее звена недостаточно одного частотного отсчета, поэтому число используемых отсчетов на импедансной диаграмме должно быть кратно трем.

1. Филист С. А., Шаталова О. В., Ефремов М. А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений. // Нейрокомпьютеры. Разработка и применение. – 2014. – № 6. – С. 35-39.
2. Мирошников А. В., Стадниченко Н. С., Шаталова О. В. и др. Модели импеданса биоматериала для формирования дескрипторов в интеллектуальных системах диагностики инфекционных заболеваний. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. № 4(31). – С. 1-14.
3. Мирошников А. В., Шаталова О. В., Стадниченко Н. С. и др. Классификации биологических объектов на основе многомерного биоимпедансного анализа. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2020. – Т. 10. № 3/4(31). – С. 29-49.

НЕЧЕТКИЕ РЕШАЮЩИЕ ПРАВИЛА В МОДЕЛЯХ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

РИСКА ЗАБОЛЕВАНИЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Е.В. Крикунова

(Юго-Западный государственный университет, Курск, SFilist@gmail.com)

Рассмотрен синтез моделей нечеткие решающие правила для медицинских информационных систем прогнозирования риска патологии периферической нервной системы с учетом адаптационного потенциала.

Ключевые слова: нечеткое решающее правило, адаптационный потенциал, система управления сердечным ритмом, частное решающее правило, агрегатор

The synthesis of models of fuzzy decision rules for medical information systems for predicting the risk of pathology of the peripheral nervous system is considered, taking into account the adaptive potential.

Key words: fuzzy decision rule, adaptive potential, heart rate control system, partial decision rule, aggregator

Для оценки уверенности UPP в появлении и развитии заболеваний периферической нервной системы используются частные нечеткие решающие правила по общим и специфическим факторам риска, которые агрегируются в финальную прогностическую модель в соответствии с общими рекомендациями методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП). В частности, для прогнозирования риска патологии системы управления сердечным ритмом (СУСР) агрегация осуществляется с использованием выражения вида [1, 2]:

$$UPP_{II}(q + 1) = UPP_{II}(q) + Q_{II}(q + 1)[1 - UPP_{II}(q)], \quad (1)$$

где UPP_{II} – уверенность в появлении и развитии патологии СУСР (периферическая нервная система); $Q(q)$ – оценка риска патологии по частому решающему правилу, q – номер фактора риска в расчетах UPP_{II} .

В задаче оценки состояния СУСР для выделения классов неудовлетворительная адаптация (НА) и срыв механизмов адаптации (СМА) на экспертном уровне использовались показатели адаптационного потенциала (АП) [1, 2]. С учетом этого и общих рекомендаций МСГНРП для оценки патологии СУСР решения принимаются с использованием следующей системы продукционных правил:

$$\text{если } (UPP_{II} < UPP_{II}^I) \text{ то } (R=\text{БП}), \quad (2)$$

$$\text{если } [(UPP_{II} \geq UPP_{II}^I) \text{ и } (АП \leq 8,24)] \text{ то } (R=\text{П}) \quad (3)$$

$$\text{если } [(UPP_{II} \geq UPP_{II}^I) \text{ и } (8,24 < АП \leq 9,85)] \text{ то } (R=\text{РД}) \quad (4)$$

$$\text{если } [(UPP_{II} \geq UPP_{II}^I) \text{ и } (АП > 9,85)] \text{ то } (R=\text{ДО}) \quad (5)$$

где UPP_{II}^I – порог принятия решений по показателям UPP_{II} ; R – решение с уверенностью UPP_{II} ; БП – без патологии; П – прогноз; РД – ранняя диагностика заболевания; ДО – направить на дообследование.

Для решаемой в работе задачи принято $UPP_{II}^I = 0,5$. Результаты математического моделирования и экспертного оценивания показали, что уверенность в правильном решении по моделям (2) и (3) превышает уровень 0,9.

1 Корневский Н.А., Родионова С.Н., Крикунова Е.В., Стародубцева Л.В.,

- Скиданчук М.В. Количественная оценка защитных механизмов организма по его оксидантному статусу.// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение.– 2021.– № 4.– С. 146-162.
- 2 Сфронов Р.И., Родионова С.Н., Крикунова Е.В., Стародубцева Л.В., Сергеева С.С., Титова А.В. Использование показателей, характеризующих адаптационные механизмы для оценки уровня защиты организма от воздействия внешних факторов риска.// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение.– 2021.– № 4.– С. 163-179.

О ВНЕШНЕЙ НАЧАЛЬНО-КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ МАРГЕРРА-ВЛАСОВА

¹Е.В. Колпакова, ²Е.А. Кривonos

¹Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, Новороссийск, Россия, ²Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия,
ivasha64@yandex.ru)

Выполнен анализ дифференциальных свойств обобщенных решений начально-краевой задачи модели Маргерра-Власова колебаний пологих оболочек с шарнирным закреплением края оболочки. Показано, что возможно ослабить дифференциальные свойства обобщенных решений вблизи границ области.

Ключевые свойства: обобщенные решения начально-краевой задачи, модель Маргерра-Власова, колебаний пологих оболочек, граница области

The analysis of differential properties of generalized solutions of the initial-boundary value problem of the Marguerre-Vlasov model of oscillations of shallow shells with hinged fastening of the shell edge has been carried out. It is shown that it is possible to weaken the differential properties of generalized solutions near the boundaries of the domain.

Key properties: generalized solutions of the initial-boundary value problem, Marguerre-Vlasov model, oscillations of shallow shells, domain boundary

В данной работе анализируются дифференциальные свойства обобщенных решений начально-краевой задачи модели Маргерра-Власова колебаний пологих оболочек с малой инерцией продольных перемещений срединной поверхности с шарнирным закреплением края оболочки. При этом рассматривается случай, когда оболочка проектируется на неограниченную область Ω с границей $\Gamma \in C^1$, являющуюся дополнением в R^2 конечного объединения ограниченных односвязных областей с непересекающимися границами. Начально-краевая задача тогда имеет вид:

$$\begin{aligned} \rho h w_{tt} - \gamma \Delta w_{tt} + D \Delta^2 w + \delta \Delta^2 w_t &= Z + (N_1 w_{x_1})_{x_1} + (N_2 w_{x_2})_{x_2} + (N_{12} w_{x_1})_{x_2} + (N_{12} w_{x_2})_{x_1} - N_1 k_1 - N_2 k_2 \\ - \Delta u - \frac{1 + \mu}{1 - \mu} \theta_{x_1} &= \frac{2}{1 - \mu} \left[(k_1 w)_{x_1} + w_{x_1 x_1} w_{x_1} + \mu (k_2 w)_{x_1} + \mu w_{x_1 x_2} w_{x_2} \right] + w_{x_1 x_2} w_{x_2} + w_{x_1} w_{x_2 x_2} + X, \\ - \Delta v - \frac{1 + \mu}{1 - \mu} \theta_{x_2} &= \frac{2}{1 + \mu} \left[(k_2 w)_{x_2} + w_{x_2 x_2} w_{x_2} + \mu (k_1 w)_{x_2} + \mu w_{x_1 x_2} w_{x_1} \right] + w_{x_1 x_2} w_{x_1} + w_{x_2} w_{x_1 x_1} + Y, \end{aligned}$$

с краевыми условиями шарнирного закрепления

$$w|_{\Gamma} = \left(\frac{d^2 w}{dn^2} - \mu \chi \frac{dw}{dn} \right) |_{\Gamma} = 0, \quad u|_{\Gamma} = v|_{\Gamma} = 0$$

и дополнительными условиями на границе

$$w|_{|x| \rightarrow \infty} = 0, \quad u|_{|x| \rightarrow \infty} = 0, \quad v|_{|x| \rightarrow \infty} = 0$$

Поэтому интерес вызвала возможность применения схемы Воровича И.И. [1], что частично было показано в [2]. В данном случае было проведено детальное рассмотрение возможности введения собственного спектра бигармонического оператора, позволяющего ослабить в дальнейшем условие на границы области Ω по схеме, описанной в [3]. Также была изменена краевая задача на собственный спектр бигармонического оператора, что в условиях внешней начально-краевой задачи позволило выделить обобщенный спектр.

В итоге стало возможным, ослабить дифференциальные свойства обобщенных решений вблизи границ области.

Теорема. Пусть граница области $\Omega \in C^2$. Пусть $w \in \tilde{H}_2^2(\Omega, \mu)$, $w_1 \in L_2(\Omega)$, а

при $\gamma > 0$ $w_1 \in L_2(\Omega) \cap \mathring{H}_2^1(\Omega)$, $X = X_{1x_1} + X_{2x_2}$, $Y = Y_{1x_1} + Y_{2x_2}$, где $X_1(\cdot, 0), X_2(\cdot, 0), Y_1(\cdot, 0), Y_2(\cdot, 0) \in L_2(\Omega)$, $X_1, X_2, Y_1, Y_2 \in L_{2,1}^{0,1}(\Omega \times [0, t_f])$, $Z \in L_2(\Omega \times [0, t_f])$. Тогда существуют обобщенные решения w, u, v , удовлетворяющие условиям

$$w \in L_{2,\infty}^{2,0}(\Omega \times [0, t_f]) \cap L_{2,\infty}^{0,1}(\Omega \times [0, t_f]) \cap C([0, t_f], H_r^1(\Omega)), \text{ для всех } r \geq 2 \text{ и}$$

$$u, v \in L_{\infty}([0, t_f], \mathring{H}_2^1(\Omega)).$$

1. Ворович И.И. Математические проблемы нелинейной теории пологих оболочек.— М.: Наука, 1989. — 376 с.
2. Колпакова Е.В. Существование обобщенных решений моделей Маргерра-Власова колебаний пологих оболочек с шарнирным закреплением края в неограниченной области. // Вестник ИжГТУ.— 2010.— № 1(45).— С. 144-146.
3. Колпакова Е.В., Седенко В.И. Обобщенный спектр бигармонического оператора в задаче с краевыми условиями шарнирного закрепления. // Вестник СевКав ГТИ.— 2012.— С. 29-32.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ НА МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ СДВИГИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

И.Б.Алчинова, М.Ю. Карганов

(ФГБНУ «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии», Москва, alchinovairina@yandex.ru)

Методом лазерной корреляционной спектроскопии проведена оценка частоты встречаемости метаболических сдвигов у школьников начальных классов. Школьная компьютерная нагрузка не изменяла количества нормологических сдвигов. При отсутствии такой нагрузки, только внешкольные компьютерные занятия увеличивали количество анаболических сдвигов.

Ключевые слова: лазерная корреляционная спектроскопия, компьютерные нагрузки, метаболические сдвиги.

The method of laser correlation spectroscopy was used to estimate the frequency of occurrence of metabolic changes in primary school students. School computer load did not change the number of normological shifts. In the absence of such a load, only extracurricular computer classes increased the number of anabolic shifts.

Keywords: laser correlation spectroscopy, computer loads, metabolic shifts.

В вопросах обеспечения безопасности цифровизации образования основное внимание уделяется проблемам повышения устойчивости обучающихся в образовательной среде. Главное негативное последствие учебных нагрузок заключается в появлении так называемого общего утомления организма. Функциональные напряжения организма чаще всего мало связаны с конкретными заболеваниями и, как правило, сопутствуют самой нагрузке, в силу чего фиксируются службами здравоохранения только в том случае, когда приводят к патологическим состояниям.

Для скринингового исследования метаболических сдвигов у школьников использовали метод лазерной корреляционной спектроскопии (ЛКС). В основе метода лежит изменение спектральных характеристик монохроматического когерентного излучения гелий-неонового лазера в результате светорассеяния при прохождении через дисперсную систему биологических жидкостей.

Рото-глоточные смывы (РГС) были получены от учеников начальных классов двух московских школ с разным уровнем компьютерных нагрузок. Весь диапазон ЛК-спектра для РГС по размерам частиц делится на 4 информативные дискретные зоны: I - 0-50 нм; II - 51-400 нм; III – 400-2000 нм; IV – выше 2000 нм[1]. Соотношение процентных вкладов в светорассеяние частиц разных зон характеризует направление метаболического сдвига в организме. Оценка степени компьютерных нагрузок проводилась анкетированием в балльной системе.

Ранее нами было показано, что у учащихся начальной школы существует корреляционная связь между уровнем внешкольной компьютерной нагрузки и индексом массы тела (ИМТ). Связь между уровнем урочной компьютерной нагрузки и ИМТ отсутствует [2].

Интегральная оценка метаболических сдвигов методом ЛКС РГС показала, что школьная компьютерная нагрузка в рамках гигиенических норм не оказала воздействия на частоту встречаемости нормологических спектров, их доля составляла 35-40% в обеих школах.

В то же время по мере нарастания внешкольных компьютерных нагрузок у детей, в школе которых не использовали компьютерные технологии, происходило снижение представительства нормологических спектров (1

балл внешкольной компьютерной нагрузки – 33%, 2 балла – 11%, 3 балла -0) и возрастание анаболически-подобных сдвигов (18, 45 и 75%, соответственно).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта №19-29-14104мк «Инструментальная оценка влияния цифровизации образования на физиологический баланс организма».

- 1 Karganov M., Alchinova I., Arkhipova E., Skalny A. Laser Correlation Spectroscopy: Nutritional, Ecological and Toxic Aspects. In: “Biophysics”. / A.N. Misra ed. InTech, 2012. ISBN 978-953-51-0376-9. P.1-16
- 2 ПанковаН.Б., АлчиноваИ.Б., КовалёваО.И., ЛебедеваМ.А., ХлебниковаН.Н., ЧереповА.Б., НоскинЛ.А., КаргановМ.Ю. Связьдинамикифизическогогоразвитиямладшихшкольниковсуровнемкомпьютернойнагрузки. // Science for Education Today. 2020. Т. 10. № 3. С. 196-210

СЕКЦИЯ Г-4 – GEOTEХНОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ

М.М. Кугейко

(Белорусский государственный университет, Минск, kugeiko@bsu.by)

Рассмотрен способ определения концентрации парниковых газов в атмосфере с учетом перекрытия их спектральных линий. Основан на использовании регрессионных связей, устанавливаемых между определяемыми и измеряемыми параметрами исследуемой среды как для фиксированных значений температуры и давления, так и для заданного диапазона их значений. Для установления регрессионных соотношений использовалось компьютерное моделирование процессов рассеяния света в атмосфере. Исследована эффективность метода.

Ключевые слова: коэффициенты поглощения, концентрация газов, перекрытие спектральных линий, регрессионная связь, главные компоненты.

A method for determining the concentration of greenhouse gases in the atmosphere is considered, taking into account the overlap of their spectral lines. It is based on the use of regression relationships established between the determined and measured parameters of the medium under study both for fixed values of temperature and pressure, and for a given range of their values. To establish regression relationships, computer simulation of light scattering processes in the atmosphere was used. The effectiveness of the method has been studied.

Keywords: absorption coefficients, gas concentration, spectral line overlap, regression relationship, principal components.

Любое химическое соединение имеет свой спектр излучения или поглощения и по виду полученных спектров можно определить его состав, т. е. провести качественный анализ. Из оптических методов наиболее часто применяется дифференциальный метод. Он основан на измерении поглощения на двух длинах волн λ_0 и λ_1 . Последовательного или одновременного пропускается через анализируемую среду зондирующее излучения $I(\lambda_0)$, совпадающее с максимумом полосы поглощения $k(\lambda_0)$ определяемого компонента, и $I(\lambda_1)$, совпадающее с минимумом поглощения $k(\lambda_1)$.

Для многокомпонентных сред при перекрытии их спектральных линий используются многоспектральные измерения (устанавливаются комбинации длин волн), требующие решения обратной задачи. При этом задача нахождения концентрации газовых компонент из результатов измерений относится к классу некорректных математических. Решение таких задач может быть неустойчивым по отношению к малым вариациям (погрешностям) измеряемых данных, приводит к большим погрешностям в определении компонентного состава смеси.

Типично все алгоритмы решения обратных задач основаны на сравнении результатов измерения с функцией, описывающей связь регистрируемых сигналов с параметрами исследуемой среды, или же используют калибровочные модели, полученные заранее с использованием эмпирического (экспериментального) моделирования. Как отмечено в [1] решения обратной задачи существенно зависит: 1) от типа выбранной физической модели среды и приближений; 2) от объема и качества априорной информации; 3) размерности вектора неизвестных параметров и измеренных значений; 4) от качества определения характеристик погрешности измерений.

Задача контроля многокомпонентных газовых сред еще больше усложняется, когда их спектральные линии сильно перекрываются. В этом случае использование выбранных спектральных каналов измерения, соответствующих линиям поглощения исследуемых компонент, требует учета вклада их перекрытия.

Новый подход к решению обратной задачи оптического зондирования на основе установления регрессионных соотношений между определяемыми параметрами и измеряемыми оптическими характеристиками был предложен в [1]. В данной работе рассматривается возможности использования данного подхода для определения концентраций водяного пара и углекислого газа в атмосфере по спектральным измерениям в диапазоне 2660-2840 нм, в котором наиболее сильно перекрываются их линии поглощения.

Регрессионный метод решения обратных задач предполагает, что искомые параметры среды (в частности, концентрация газовых компонент) могут быть найдены при помощи некоторой статистической функции от измеряемых оптических характеристик. В настоящей работе в качестве функциональной связи использовались линейные множественные регрессии: между процентной концентрацией M паров воды (имеется в виду основной изотоп воды H_2^{16}O) и CO_2 (имеется в виду основной изотоп углекислого газа $^{12}\text{CO}_2$) и главными компонентами ζ_i , выделенными из спектральных значений их коэффициентов поглощения $\varepsilon(\lambda_i)$:

$$M = a + \sum_{i=1}^N b_i \zeta_i,$$

где N – количество главных компонент (ГК), a и b_i – коэффициенты регрессии, вычисляемые на основе выборки с использованием метода наименьших квадратов.

Эти соотношения могут устанавливаться как для фиксированных значений температуры и давления, так и для задаваемого диапазона их значений. При расчете величины поглощения учитываются все перекрытия спектральных линий с учетом их уширения при разных температурах и давлении. Это позволяет использовать метод в многокомпонентных средах с сильно перекрывающимися спектральными линиями. Более того, устанавливаемые регрессионные соотношения устойчивы к погрешностям измерительной информации, поскольку при получении их эти погрешности учитываются. Все это приводит к повышению точности предлагаемого метода определения концентраций компонентного состава газовой среды. К тому же, позволяет определять их оперативно, поскольку расчет концентраций с использованием аналитических выражений между определяемыми и измеряемыми величинами не представляет вычислительных сложностей, не требует отбора проб.

1. Кугейко М.М., Лысенко С.А. Лазерная спектрофелометрия аэродисперсных сред.– Минск: БГУ, 2012.– 208 с.

ЗОНДИРОВАНИЕ ЛИДАРОМ ПОД ВОДОЙ СКВОЗЬ ПОЛУПРОЗРАЧНЫЕ ПРЕПЯТСТВИЯ НА ДИСТАНЦИЮ 9 МЕТРОВ

¹С.М.Першин, ¹М.Я.Гришин, ¹В.А.Завозин, ²П.А.Титовец, ^{2*}М.О.Федюк,

(¹Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, ²Московский технический университет связи и информатики, Москва, [*m-fedyuk@mail.ru](mailto:m-fedyuk@mail.ru))

Использование лидара для зондирования пространства вокруг погружного робота сквозь полупрозрачные препятствия позволяет более эффективно решать задачу подводной навигации. Такой способ менее подвержен влиянию мутности и рассеивания в воде. Получены экспериментальные данные на физической модели подводной среды длиной 9 метров и подтверждены математической моделью.

Ключевые слова: оптическая система, лидар, подводная навигация.

Application of a LiDAR for sensing environment around an underwater robot through semitransparent obstacles allows to navigate underwater more efficiently. Such method is less affected by water turbidity and scattering properties. Experimental results have been obtained on our water environment physical model and proofed by our mathematical model.

Keywords: optical system, LiDAR, underwater navigation.

Гидросфера занимает огромную территорию и требует развития инструментов для её исследования. Подводная навигация является важной проблемой для автономных подводных исследовательских платформ, т.е. подводных роботов или дронов. Обычно погружные роботы применяют сонары и видеокамеры для навигации под водой. Но данные способы ограничены мутностью и рассеиванием в воде, что значительно ограничивает возможную дальность зондирования. Мы предлагаем активное оптическое зондирование лидаром: лазер испускает короткие импульсы, а рассеивающиеся обратно фотоны обнаруживаются и подсчитываются.

Нами был разработан компактный лидар на основе импульсного Nd:YAG лазера с диодной накачкой (532 нм, ~2 нс, ~2 мкДж/импульс, 4 кГц) и детектора на однофотонном лавинном диоде. Уникальный статистический режим работы нашего лидара позволяет осуществлять зондирование сквозь полупрозрачные препятствия и сильнозагрязнённые среды.

1. Miroshnikova N.E., Petruchin G.S., Sherbakov A.V., Titov P.A. A statistical model of the propagation of optical radiation in the hydrosphere. //В Сб.: 2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. SYNCHROINFO 2020. С. 9166104.
2. Бункин А.Ф., Клинков В.К., Леднев В.Н., Першин С.М., Юльметов Р.Н. Дистанционное зондирование полярных акваторий компактным лидаром: достижения и перспективы. Труды ИОФАН. 2013. Т. 69. С. 148-170.

АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ В УФ ОБЛАСТИ МЕТОДОМ ДОАС

П.П. Гейко

(Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск,
ppg@imces.ru)

Предложен макет портативного газоанализатора, который может использоваться для дистанционных трассовых измерений газовых загрязнений приземной атмосферы и аэрозольного ослабления. Проанализированы источники ошибок при измерении концентраций газов активным методом дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии (ДОАС). Предложены пути повышения чувствительности трассового газоанализатора

Ключевые слова: дифференциальная оптическая абсорбционная спектроскопия, газоанализатор

Set up of a portable gas analyzer, which can be used for remote trace measurements of gas pollution and aerosol extinction of the atmosphere is proposed. The sources of error in the measurement of gas concentrations by active method of differential optical absorption spectroscopy (DOAS) were analyzed. The ways to improve the sensitivity of the trace gas-analyzer are suggested.

Keywords: differential optical absorption spectroscopy, gas-analyzer

Активный метод дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии (DOAS) изначально был разработан для мониторинга газового поглощения в атмосфере и является эффективным средством для трассовых измерений концентрация атмосферных и примесных газов[1]. Однако, этот подход также позволяет контролировать аэрозольное ослабление вдоль горизонтальной трассы при обеспечении стабильности интенсивности источника излучения. В качестве источника излучения в газоанализаторах, реализующих метод DOAS, используются ксеноновые лампы высокого давления, требующие высоковольтного питания, что делает такого рода газоанализаторы громоздкими и энергозависимыми. Благодаря достижениям последних лет в области создания УФ светодиодов и технологии оптических волокон нам удалось создать макет портативного энергонезависимого газоанализатора для дистанционных трассовых измерений [2].

Основными элементами измерителя являются набор светодиодов; коаксиальный телескоп, одновременно исполняющий роль коллиматора и приемника излучения; ретрорефлектор; световод; детектор для регистрации спектра; компьютер и программное обеспечение для управления прибором, проведения измерений и обработки данных. Световой пучок излучения светодиодов формируется с помощью сферического зеркала и направляется на открытую атмосферную трассу длиной от десятков до сотен метров, отражается уголковым кварцевым отражателем и поступает в приемный канал телескопа. Проведена серия измерений концентраций газов монооксида брома, диоксида хлора и диоксида азота в южной части города Томска. Протяженность трассы составила до 480 м (240 м до ретрорефлектора, высота 10 м.). Проанализированы источники возможных ошибок измерений. Так, например, спектр исходного излучения не идеальный и содержит тонкие спектральные структуры, которые при

обработке ошибочно могут быть приняты за спектры поглощения газов. Также, чувствительность отдельных пикселей детектора неодинакова, и это приводит к возникновению паразитных тонких структур. Несмотря на то, что их относительная величина составляет доли процента от регистрируемого сигнала, для дифференциального метода это много. Кроме того, при регистрации как опорного, так и атмосферного спектров возникают паразитные структуры в самом спектрографе, вследствие неравномерного освещения дифракционной решетки или ее дефектов. Все описанные выше структуры накладываются друг на друга и регистрируются совместно. Для исключения паразитных спектральных структур при обработке, необходимо, добиваться идентичности для опорного и атмосферного спектров и минимизировать их. Восстановлено аэрозольное ослабление в области 360-400 нм. Для объективной оценки полученных результатов планируется сопоставление с результатами одновременных наблюдений интегрирующего нефелометра.

1. Platt U., Stutz J. Differential optical absorption spectroscopy. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 2008. 593 p.
2. Geiko P.P., Smirnov S.S. Implementation of the DOAS Method for Measuring Concentrations of Chlorine and Bromine Oxide Molecules in the Atmosphere in the UV Region of the Spectrum. // Russ. Phys. J. 2020. V. 63. № 6. P. 1030–1036.

ИЗМЕРЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА МОЛЕКУЛАМИ ВОДОРОДА

¹Э. И. Воронина, ²В.Е. Привалов, ³Ю.В. Чербачи, ^{1,3}В.Г. Шеманин

(¹Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, Россия, vshemanin@mail.ru, ²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия, vaevpriv@yandex.ru, ³Филиал Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова в Новороссийске, Новороссийск, Россия)

На лидаре комбинационного рассеяния света с излучением на длине волны второй гармоники 532 нм YAG–Nd-лазера получена зависимость энергии импульса комбинационного рассеяния света молекулами водорода от расстояния зондирования. Выполненная корректировка результатов позволила по лидарному уравнению вычислить дифференциальное сечение комбинационного рассеяния молекулами H_2 равное $(4,3 \pm 0,9) \cdot 10^{-30}$ см²/ср в хорошем согласуется с данными других авторов.

Ключевые слова: лидар комбинационного рассеяния света, дифференциальное сечение, молекула водорода

The dependence of the pulse energy of Raman scattering of light by hydrogen molecules on the probing distance has been obtained by Raman lidar with YAG–Nd laser radiation at the 532 nm wavelength of its second harmonic. The correction of the lidar equation results made it possible to calculate the Raman differential cross section for H_2 molecules, equal

to $(4.3 \pm 0.9) \cdot 10^{-30}$ cm²/sr in good agreement with other data.

Keywords: Raman lidar, differential cross section, hydrogen molecule

Принцип лазерного дистанционного зондирования методом комбинационного рассеяния света заключается в регистрации излучения, рассеянного молекулами водорода в направлении назад с частотным сдвигом, характерным именно для этих молекул. В спектре комбинационного рассеяния света молекулой H_2 наблюдается мощная полоса собственных колебаний с волновым числом $\nu_0 = 4161$ см⁻¹ [1].

Лидар комбинационного рассеяния света построен аналогично [1, 2] по моностатической схеме. В качестве излучателя использовался YAG–Nd-лазер с излучением на длине волны второй гармоники 532 нм. Длина волны полосы комбинационного рассеяния исследуемой молекулы водорода при зондировании на длине волны излучения второй гармоники YAG–Nd-лазера 532 нм с таким волновым числом равна 683,2 нм. Это было учтено в экспериментальном лидаре комбинационного рассеяния света. Импульс YAG–Nd-лазера длительностью 10 нс и энергией 10 мДж на длине волны 532 нм направлялся в специальную кювету с окнами под углом Брюстера, заполненную чистым водородом, концентрация которого была $2,7 \cdot 10^{19}$ см⁻³. Часть излучения лазера стеклянной пластиной направлялось на фотодиод для контроля энергии лазерного импульса и синхронизации работы всего лидара (сигнал U_0 — опорный сигнал, который задает начало отсчета времени, а его амплитуда — энергию лазерного импульса),

Излучение комбинационного рассеяния света молекулами H_2 в направлении назад собиралось приемным телескопом типа Ньютона со сферическим зеркалом диаметром 0,4 м и линзовым объективом в волоконный световод и через интерференционный светофильтр с максимумом пропускания на длине волны комбинационного рассеяния полушириной 2 нм на ФЭУ-79, сигнал U_{RC} которого пропорционален энергии импульса излучения комбинационного рассеяния света молекулами водорода. Импульс напряжения с ФЭУ записывался специальной микропроцессорной измерительной системой [3], работающей на линии с ПК. По данным значениям энергии комбинационного рассеяния света, получена зависимость энергии импульса комбинационного рассеяния света молекулами водорода $E(\lambda, R)$ от расстояния зондирования R .

В нашей экспериментальной ситуации энергия регистрируемого излучения комбинационного рассеяния в предположении однократного рассеяния в направлении назад и отсутствии ослабления излучения на воздушной трассе длиной до 2 м можно описать лидарным уравнением для комбинационного рассеяния света типа [4, 5]:

$$E(\lambda, R) = E_L K_1 \Delta R A_0 (d\sigma / d\Omega) N / R^2,$$

где $E(\lambda, R)$ — энергия импульса комбинационного рассеяния на фотоприемнике на длине волны λ , проходящего с расстояния R ; E_L — мощность лазера; λ_L — длина волны лазера; K_1 — постоянная лидара; ΔR — шаг по расстоянию, $\Delta R = c\tau_L/2$; A_0 — площадь приемного телескопа; $(d\sigma/d\Omega)$ — дифференциальное сечение комбинационного рассеяния света исследуемой

молекулой на длине волны лазерного излучения и N — концентрация молекул. Далее, в постоянной лидара K_1 можно выделить сомножитель $\xi_p(\lambda)$, зависящий от спектральной чувствительности фотокатода фотоприемника в виде выражения $K_1 = K_2 \xi_p(\lambda)$, где K_2 — новая постоянная лидара, равная 0,495 на длине волны 532 нм (по данным наших измерений [2, 4]). Спектральная чувствительность фотокатода фотоприемника была взята для ФЭУ-79 из [2, 6], фотодиодов — тоже [2].

Решение лидарного уравнения с параметрами нашего варианта лидара [4] позволило найти дифференциальное сечение комбинационного рассеяния ($d\sigma/d\Omega$) молекулами H_2 при возбуждении лазерным излучением с длиной волны 532 нм равное $(4,3 \pm 0,9) \cdot 10^{-30}$ см²/ср, что хорошо согласуется с другими данными [5, 7]. Этот результат позволит измерять концентрацию молекулярного водорода N в газовых потоках и чистой атмосфере на заданных расстояниях от излучателя с высокой точностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ, проекты 19-42-230004 и 19-45-230009.

1. Воронина Э.И., Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Зондирование молекул водорода на лабораторном лидаре КР. // Письма в Журнал технической физики.— 2004.— Т. 30, вып.5.— С.14-17
2. Привалов В.Е., Фотиади А.Э., Шеманин В.Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы.—СПб.: Лань, 2013.— 288 с.
3. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Об определении минимальной энергии импульса при лазерном зондировании на гармониках Nd-YAG лазера. // Оптика и спектроскопия.—1997.— Т.82.— №5.— С. 873-875.
4. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Лидарное уравнение с учетом конечной ширины лазерной линии. // Известия РАН. Серия Физическая.— 2015.— Т. 79.— №2.— С.170-180
5. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование.— М.: Мир, 1987.— 550 с.
6. Справочник по лазерам. Т. I/ Под ред. А.М. Прохорова.— М.: Советское Радио. 1978.— 591 с.
7. Лазерный контроль атмосферы./Под. ред. Э.Д. Хинкли.—М.:Мир, 1979.—416с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИИ, ГЕОХИМИИ И МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЕЙ В АТМОСФЕРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ЮГА РОССИИ

В.В. Дьяченко, В.Г. Шеманин

(Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Россия, v-v-d@mail.ru)

Рассмотрены методы исследования аэрозолей в атмосферном пограничном слое. Наиболее перспективным методом мониторинга загрязняющих веществ в атмосфере является использование лазерных технологий и созданных на их основе лидаров.

Ключевые слова: Лазерные методы, лидар, аэрозольное загрязнение атмосферы, дисперсный состав, средний объемно-поверхностный диаметр частиц

The article methods for studying aerosols in the atmospheric boundary layer have been considered. The most promising method for monitoring pollutants in the atmosphere is the use of laser technologies and lidars based on them.

Key words: Laser methods, lidar, aerosol pollution of the atmosphere, dispersion composition, particles average volume-surface diameter, modified spectral transparency method

Актуальность этой научной проблемы определяется тем, что атмосферный канал загрязнения делает его всепроникающим и наиболее опасным для здоровья людей. Долговременный характер выпадения частиц и различных химических соединений из атмосферы приводит к изменению химического и гранулометрического состава почв, появлению загрязнения[1], деградации биогеоценозов, а также повышению заболеваемости населения [2, 3]. По данным В.В. Добровольского 80-90% тяжелых металлов в аэрозолях содержатся в тонкой фракции, с размером частиц менее 1 мкм[4]. Кроме того, следует отметить неожиданность и часто скоротечность развития ситуаций, связанных с авариями или природными катастрофами, негативными последствиями которых является распространения загрязнения в атмосфере. Зачастую облако загрязнения накрывает большие территории, а его виновник остается безнаказанным ввиду неустановления, либо отсутствия доказательной базы. Учитывая, что более 90 % массы веществ переносится в атмосфере на высоте до 2 км изучение химического и дисперсного состава аэрозолей, особенностей воздушного переноса в атмосферном пограничном слое (АПС) очень важны, для чего необходим постоянный мониторинг процессов в АПС в реальном времени с высоким пространственно-временным разрешением. Такими возможностями обладают лазерные методы зондирования.

Новизна наших исследований заключается в том, что для получения объективных данных о процессах формирования дисперсного и химического состава аэрозолей, а также создания моделей массопереноса в АПС и идентификации аэрозолей различного генезиса, производится их сопряженное исследование методами дистанционного лазерного зондирования и непосредственного изучения аэрозолей, в том же объеме. Так же, изучаются частицы, осаждающихся в аэродинамических ловушках высотных зданий и тонкодисперсная часть почв региона, подверженных дефляции. Полученные результаты упрощают интерпретацию данных дистанционного зондирования и повышают их достоверность. Это основной фактор, обеспечивающий надежность получаемых результатов.

Кроме того, новизна исследований заключается и в междисциплинарном изучении почв региона (источник дефляционных аэрозолей и накопитель загрязнения) методами атомной эмиссионной спектроскопии, детального изучения аэрозольного материала, собранного из аэродинамических ловушек на разных высотах в населенных пунктах, методами микроскопии и гранулометрии. Синхронно с этими измерениями выполняется мониторинг аэрального переноса дистанционным зондированием аэрозольным лидаром и лидаром дифференциального ослабления и рассеяния. Экспериментальные площадки размещены в Новороссийске – в лабораторном корпусе, на

территории Дендропарка НПИ КубГТУ и в центре города, в главном корпусе.

Для натуральных экспериментов используется многоволновая лидарная система, изготовленная авторами в рамках Госзадания Минобрнауки РФ, проекты № 2284 и №5.7721.2017/БЧ, что дает ряд преимуществ по сравнению с другими методами[5]. Это хорошее пространственно-временное разрешение, оперативность обнаружения и передачи данных, непрерывность и дистанционность наблюдений, возможность быстрой корректировки алгоритма измерений и введения оптических характеристик аэрозолей в базу данных, которая постоянно совершенствуется. Фактически речь идет о создании и внедрении нового метода лазерного зондирования аэрозольных частиц и определения их функции распределения по размерам в АПС по результатам измерений лидарных сигналов рассеяния Ми и оптической плотности на 4 длинах волн лазерного излучения в диапазоне 355 – 1064 нм. В итоге лазерная система мониторинга позволяет зондировать аэрозольное загрязнение на расстояниях до 1,5 км с пространственным разрешением 7,5 м за время одного измерения 50 нс, что приводит к быстрому обнаружению загрязнения [6, 7]. Полный набор измеренных данных (концентрация, высота, скорость и направление движения, распределение частиц по размерам и т.д.) несет информацию о месте события и позволяет прогнозировать его развитие и область распространения, необходимые для минимизации ущерба.

Для определения природных и техногенных геохимических особенностей аэральной миграции тонкодисперсная часть почв из зон загрязнения и фоновых районов региона (фракция мельче 0,1 мм, основной носитель загрязнения) и твердая фаза аэрозолей, собранных из аэродинамических ловушек подвергаются химическому анализу на содержание 20 наиболее технофильных металлов и металлоидов, гранулометрическому анализу ситовым методом и на установке MasterSizer-3000, а также микроскопическому - для изучения минерального, вещественного состава и морфологии аэрозольных частиц. Геохимический подход к изучению аэрозолей позволяет решить непростые вопросы токсичности и идентификации аэрозолей, что необходимо для определения источников их эмиссии, поскольку поставщиков взвешенных частиц много. Для оценки вклада различных источников в загрязнение окружающей среды нужно знать фоновые особенности атмосферного аэрозоля, геохимические и микрофизические характеристики частиц различных техногенной источников и дефляционной составляющей. Сравнительный анализ природных и техногенных аэрозолей позволил выделить местные и региональные маркеры генезиса аэрозолей по химическому составу.

Комплексное применение различных прямых и лидарных методов позволяет объективно оценить параметры аэрозоля, установить его оптические постоянные и уточнить алгоритм работы лидарной системы [8, 9]. Все это способствует определению масштаба и геохимической специфики воздушного переноса, выявлению основных источников аэральноего загрязнения атмосферы.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 19-42-230004 и 19-45-230009.

- 1 Дьяченко В.В. **Геохимия и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа**: диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2004. – 326 с.
- 2 Vladimir Dyachenko, Irina Matasova, Olga Ponomareva The Trace Elements Concentrations Dynamics in the Soil Landscapes of the Southern Russia. // *Universal Journal of Geoscience*. 2014. Vol. 2(1), P. 28 – 34. DOI: 10.13189/ujg.2014.020104
3. Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Малыхин Ю.А. Проблемы загрязнения ландшафтов Краснодарского края и здоровье населения. // *Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]*. – Краснодар: КубГАУ, 2014. №07(101).
4. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. – М.: Мысль, 1983. – 269 с.
5. Privalov V.E. Dyachenko V.V., Shemanin V.G. Laser ranging of the atmospheric aerosol and determination of its disperse composition. // *IEEE Xplore Digital Library*, 2019. 3 p. DOI: 10.1109/EEeXPolytech.2019.8906882.
6. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Об определении минимальной энергии импульса при лазерном зондировании на гармониках Nd-YAG лазера. // *Оптика и спектроскопия*. – 1997. – Т. 82. – № 5. – С. 873-875.
7. Половченко С.В. и др. Восстановление функции распределения частиц по размерам на основе данных многоволнового лазерного зондирования. // *Оптический журнал*. – 2016. – Т. 83. – № 5. – С. 43-49.
8. Дьяченко В.В., Шеманин В.Г. Лазерные системы в экологическом мониторинге окружающей среды и контроле технологической деятельности предприятий // *Экология и промышленность России*. – 2021. – Т. 25. – № 10. – С. 36-42.
9. Dyachenko V. V., Privalov V. E., Shemanin V. G. Computer Simulation of the Raman Lidar Equation for the Carbon Cycle Molecules in the Atmosphere. // *Optical Memory and Neural Networks*. 2022. V. 31. No. 1. P. 36–45.

ДИСТАНЦИОННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ СУММАРНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРЕДЕЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ В ВЫБРОСАХ В АТМОСФЕРУ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

¹Э.К. Аблязов, ²А.О. Васильев, ²В.В. Дьяченко, ²Е.Ю. Заколова, ²П.В. Чартий,
^{2,3}В.Г. Шеманин

(¹Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия, ²Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, Россия,

v-v-d@mail.ru, ³Филиал Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова в Новороссийске, Новороссийск, Россия, vshemanin@mail.ru.)

Разработана лазерная система дифференциального поглощения в средней области ИК спектра поглощения на длине волны 3,4 мкм для дистанционного измерения суммарной концентрации предельных углеводородов в воздушных выбросах предельных углеводородов нефти. Сделана оценка погрешности системы по н-гексану. Экспериментальные измерения суммарной концентрации предельных углеводородов нефти дают основания заключить, что такая система позволяет делать измерения по одному компоненту в пределах установленной погрешности 25%

Ключевые слова: лазерное излучение, лидар дифференциального поглощения, н-гексан, суммарной концентрации предельных углеводородов, погрешность

The laser differential absorption system has been developed for the middle region of the IR absorption spectrum at the 3.4 mm wavelength for remote measurement of the total concentration of alkane hydrocarbons in the air emissions of oil hydrocarbons. The estimation of the system error has been made with n-hexane. Experimental measurements of the total concentration of alkane hydrocarbons of oil give the basis to conclude that such a system allows measurements to be made on one component within the established error of 25%

Keywords: laser radiation, lidar of differential absorption, n-hexane, total concentration of alkane hydrocarbons, error

Проблема качества окружающего атмосферного воздуха на предприятиях морского транспорта, связанного с хранением и транспортировкой нефти и нефтепродуктов, перешло в разряд таких же проблем, как и в нефтегазовой отрасли [1-3]. Основным источником воздушных выбросов на предприятиях нефтегазовой отрасли являются испарения нефти и нефтепродуктов во время хранения и сливно-наливных операций. Процесс испарения происходит при любой температуре вследствие теплового движения молекул нефтепродукта. В герметичном резервуаре процесс испарения происходит до тех пор, пока газовое пространство емкости хранения над жидкостью не будет заполнено насыщенным паром.

Целью настоящей работы была разработка лазерной системы дифференциального поглощения в средней области ИК спектра поглощения для дистанционного измерения суммарной концентрации предельных углеводородов в воздушных выбросах при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов [4 - 6]. Данный метод измерения поглощения инфракрасного излучения в области 3,4 мкм для определения концентрации предельных углеводородов реализован в двух лучевой схеме [7]. При этом решались вопросы метрологического обеспечения предлагаемого метода [8]. С этой целью 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. Выполнена 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 [6, 7] и получать результаты измерений суммарной концентрации легких фракций нефти в пределах установленной относительной погрешности 25% и диапазоне концентрации до 60 г/м³.

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 обеспечение взрыво- и пожаробезопасности в области рабочей зоны, а также мониторинг эксплуатации инженерно-технических средств по сокращению потерь [7, 9]. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 19-42-230004 и 19-45-230009.

1. Privalov V.E., Dyachenko V.V., Shemanin V.G.. Laser ranging of the atmospheric aerosol and determination of its disperse composition. // IEEE Xplore Digital Library, 2019. doi: 10.1109/EEExPolytech.2019.8906882.
2. Privalov V.E., Shemanin V.G. Lidar Probing of a Mixture of Hydrogen Sulfide and Methane Molecules in the Atmosphere from a Flying Platform. // Optics and Spectroscopy. 2019. V.127. No.6. P. 1177–1181. doi:10.1134/S0030400X19120191.
3. Васильев А.О., Шеманин В.Г., Чартий П.В. Мониторинг выбросов углеводородов при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов. // Безопасность в техносфере. 2011. № 5. С. 3-7.
4. Привалов В.Е., Шеманин В. Г. Параметры лидара дифференциального поглощения для обнаружения молекулярного йода в атмосфере. // Оптический журнал.–1999.– Т. 66. №2.– С. 40-42.
5. Воронина Э.И., Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Лидарное зондирование молекул йода при низких давлениях. // Оптика и спектроскопия.– 2002.– Т. 93 №4.– С. 699-701
6. Привалов В.Е., Шеманин В. Г. Дистанционное лазерное зондирование углеводородов в атмосфере. // Письма в Журнал технической физики.–2001.– Т.27.– №21.– С. 71-75.
7. Vasilyev A.O., Charity P.V., Shemanin V.G. IR detector for hydrocarbons concentration measurement in emissions during petroleum and oil products storage and transportation. // Proc. SPIE. 2011. V. 8155. P. 81550T-1-81550T-10
8. Васильев А.О., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Метрологическое обеспечение инфракрасного детектора выбросов углеводородов в атмосферу. // Безопасность в техносфере.– 2012.– Т.1. №5.– С. 19-24.
9. Привалов В.Е., Фотиади А.Э., Шеманин В. Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. – СПб.: Лань, 2013.– 288 с.

ЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО АЭРОЗОЛЯ ПО РАССЕЯНИЮ МИ И ОСЛАБЛЕНИЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

¹Е.И. Веденин, ¹С.В. Половченко, ¹И.А. Сарычев, ¹П.И. Сарычев, ¹П.В. Чартий,
^{1,2}В.Г. Шеманин

(¹Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, Россия, pvc-60@yandex.ru, ²Филиал Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова в Новороссийске, Новороссийск, Россия, vshemanin@mail.ru.)

Средний объемно-поверхностный диаметр частиц d_{32} , измерялся по дифференциальному ослаблению лазерного излучения и рассеянию Ми частицами цементного аэрозоля, что позволяет восстанавливать функцию распределения частиц по размерам с достаточной точностью. Была создана лазерная система для одновременного измерения оптической плотности на трех длинах волн лазерного излучения и мощности рассеяния Ми в направлении назад на длине волны 532 нм. Результаты моделирования подтверждают результаты экспериментов с хорошей точностью

Ключевые слова: лазерное излучение, лидар дифференциального ослабления и рассеяния, аэрозольный лидар, функция распределения частиц цементного аэрозоля по размерам

The average volume-surface particle diameter d_{32} has been measured by the differential extinction of laser radiation and Mie scattering by the cement aerosol particles, which makes it possible to reconstruct the particle size distribution function with sufficient accuracy. The laser system was created to simultaneously measure the optical density at three wavelengths of laser radiation and the Mie back scattering power at the 532 nm wavelength. The computer simulation results confirm the experimental results with good accuracy

Keywords: laser radiation, differential attenuation and scattering lidar, aerosol lidar, size distribution function of cement aerosol particles

Выбросы аэрозоля при производстве цемента оказывают значительное негативное влияние на окружающую среду. Атмосферное загрязнение таким аэрозолем приводит не только к загрязнению окружающей среды, но также и к потерям произведенного сырья [1, 2]. Один из основных параметров выброса аэрозоля, которым управляют в реальном производстве, является распределение частиц по размерам или дисперсный состав. Числовым параметром, характеризующим функцию распределения частиц по размерам, является средний объемно-поверхностный диаметр частиц - d_{32} , который можно измерить интегральными методами лазерного зондирования [3] и хорошо коррелирует с другими средними параметрами распределения, такими как, средний геометрический диаметр и стандартное геометрическое отклонение логарифмически нормального распределения [4]. Этот же параметр измеряется по дифференциальному ослаблению, как и в [5], что позволяет восстанавливать функцию распределения частиц по размерам с достаточной степенью точности. Лидарный сигнал рассеяния Ми частицами аэрозоля так же будет зависеть от этой функции [5].

Поэтому целью работы является исследование зависимости сигнала аэрозольного лидара от диаметра d_{32} частиц цементного аэрозоля. Диаметры частиц цементного аэрозоля находятся в диапазоне от 0,1 до 100 мкм [7]. Функция распределения размера частиц правильно описывается функцией логарифмически нормального распределения [7].

Сигнал аэрозольного лидара в направлении назад из измерительного объема, сформированного лабораторным генератором частиц цементных аэрозоля в воздушном потоке [6], регистрировался приемным телескопом типа Ньютона диаметром 120 мм и через волоконный ввод подавался на вход микро спектрометра типа FSD-8, работающего под управлением ПК. В лабораторном лидаре в качестве излучателя использовался YAG-Nd лазер, работающий на второй гармонике с длиной волны 532 нм в непрерывном

режиме с мощностью до 0,2 Вт. Через воздушный поток, сформированный на выходе газохода, пропускались четыре лазерных луча, один на 532 нм – лидара и три луча на 405, 650 и 1064 нм в схеме дифференциального ослабления направлялись на один фотоприемник со своей схемой обработки сигнала как в [7]. Калибровка всей установки была выполнена в лабораторных условиях на расстояниях до 2 м [8].

Результаты лабораторных измерений позволили определить по известным оптическим константам и заданной геометрии мощность сигнала лидара на длине волны 532 нм, приходящуюся на единицу размера частиц около d_{32} диаметра, которое равно $(6,7 \pm 1,6)$ Вт/м. Проверка этих данных была выполнена численным решением лидарного уравнение для упругого рассеяния Ми для частиц цементного аэрозоля [5], в котором коэффициент рассеяния был представлен как линейная функция диаметра частиц d_{32} . Результаты моделирования для реальных цементных частиц дали значение мощности сигнала лидара, приходящуюся на единицу размера частиц около диаметра d_{32} , равное $(5,6 \pm 0,9)$ Вт/м. Результат моделирования подтверждает результаты экспериментов с хорошей точностью.

Таким образом, была создана лабораторная лазерная система для одновременного измерения спектрального коэффициента пропускания лазерного излучения на трех длинах волн и мощности рассеяния Ми в направлении назад на длине волны 532 нм [8]. Решение этой задачи дает возможность восстановить реальную функцию распределения частиц по размерам [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 19-42-230004 и 19-45-230009.

1. Дьяченко В.В., Чартий П.В., Чартий Р.П., Шеманин В.Г. Исследование дисперсного состава приземного атмосферного аэрозоля оптическими методами// ЛАЗЕР-ИНФОРМ.– 2005.– №18.– С. 7-10.
2. Дьяченко В.В., Чартий П.В., Чартий Р.П., Шеманин В.Г. Контроль аэрозолей в приземном слое атмосферы//Безопасность в техносфере.–2008.– №3.– С.36-43.
3. Веденин Е.И., Дьяченко В.В., Чартий П.В., Шеманин В.Г.// Безопасность в техносфере.–2017. –Т.6.–№6.– С. 3-11.
4. Половченко С.В., Привалов В.Е., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Восстановление функции распределения частиц по размерам на основе данных многоволнового лазерного зондирования. // Оптический журнал.–2016.– Т.83.– №5.– С. 43-49.
5. Веденин Е.И., Половченко С.В., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Функции распределения частиц по размерам при различных режимах работы пылеулавливающего оборудования.//Безопасность в техносфере.–2016.–№ 1(58).– С. 41-47.
6. Лапшин А.Б. Технология обеспыливания в цементном производстве. Новороссийск: НПО «Стромэкология», 1995. 150 с.

7. Privalov V.E., Rybalko A.V., Charty P.V., Shemanin V.G. Effect of noise and vibration on the performance of a particle concentration laser meter and optimization of its parameters.// Technical Physics. 2007. V. 52. №3. P.352-355.
8. Privalov V.E., Shemanin V.G., Charty P.V. Polydisperse Aerosol in air flow Mie Scattering Indicatrix Experimental Studies.// Proc. SPIE. 2004. V.5447.P.242-250.

ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ЛИДАРНЫМИ МЕТОДАМИ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ И ЛАЗЕРНО - ИНДУЦИРОВАННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ

*И.А. Веселовский, М.Ю. Коренский, Б.В. Барчунов, Н.И. Касьяник, Д.В. Худяков,
А.В. Колготин, Д.С. Корнеев*

(Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Центр физического
приборостроения, 108840, Москва, Троицк, Калужское шоссе, д. 4/1,
igorv@pic.troitsk.ru)

Использование методов спектроскопии комбинационного (рамановского) рассеяния и лазерно - индуцированной флуоресценции совместно с лидарными технологиями позволяет дистанционно определять тип аэрозоля и его содержание в атмосфере с высоким пространственно – временным разрешением. В работе приводятся результаты флуоресцентных лидарных измерений аэрозоля проводимых в ЦФП ИОФ РАН в 2022г.

Ключевые слова: лидар, лазерно – индуцированная флуоресценция, аэрозоль

The use of Raman spectroscopy and laser-induced fluorescence in combination with lidar technologies, makes it possible to determine remotely the type of aerosol and its content in the atmosphere with high spatio - temporal resolution. The report presents the results of fluorescence lidar measurements of aerosol performed at PIC GPI RAS in 2022.

Keywords: lidar, laser-induced fluorescence, aerosol

Атмосферный аэрозоль может оказывать существенное влияние на радиационный баланс планеты, а также на процессы распространения лазерного излучения в атмосфере. Для получения информации о концентрации и типе частиц возможно использование лазерно - индуцированной флуоресценции. Многочисленные типы атмосферных аэрозолей, такие как биологические частицы, продукты горения биомассы, сульфаты и даже пыль, флуоресцируют при воздействии УФ излучения. При длине волны лазерной накачки 355 нм основная часть эмиссионных спектров обычно находится в диапазоне 400–650 нм. Спектр флуоресценции варьируется в зависимости от типа и состава аэрозоля, что делает возможным их идентификацию. Более того, поскольку частицы воды практически не флуоресцируют, измерение флуоресценции облаков позволяет получить информацию об аэрозольных частицах в облачном слое. Основные принципы анализа измерений флуоресцентного лидара были сформулированы в нашей недавней публикации [1]. Коэффициент обратного флуоресцентного рассеяния может быть рассчитан из отношения лидарных сигналов флуоресценции и комбинационного (рамановского) колебательного

рассеяния азота. Более того, диаграмма деполяризация – флуоресценция позволяет разделять основные типы аэрозоля: пыль, дым, континентальный аэрозоль и растительную пыльцу. Пыль характеризуется большой деполяризацией и слабой флуоресценцией; дым – малой поляризацией и большой флуоресценцией; континентальный аэрозоль – малой деполяризацией и слабой флуоресценцией; растительная пыльца – большой деполяризацией и сильной флуоресценцией.

В данной презентации мы приводим результаты, полученные в 2022 году на лидарной системе ЦФП ИОФ РАН. Измерения проводились с помощью многоволнового лидара на основе Nd:YAG-лазера с генератором третьей гармоники. Частота следования импульсов составляла 20 Гц при энергии в импульсе 70 мДж на длине волны 355 нм. Рассеянное в атмосфере излучение собирается телескопом с апертурой 40 см. Система предназначена для одновременной регистрации сигналов упругого и рамановского рассеяния. Часть широкополосного флуоресцентного сигнала выделялась интерференционным фильтром с центром на длине волны 466 нм при ширине полосы пропускания 44 нм. Полученные результаты демонстрируют возможность идентификации аэрозоля в тропосфере с высотным разрешением порядка 50 м при времени измерения 2 минуты.

1. Veselovskii I., Hu Q., Goloub P., Podvin T., Korenskiy M., Pujol O., Dubovik O., Lopatin A.: Combined use of Mie-Raman and fluorescence lidar observations for improving aerosol characterization: feasibility experiment.// *Atm. Meas. Tech.* 2020. V.13. P. 6691–6701.

МНОГОВОЛНОВАЯ ЛИДАРНАЯ СИСТЕМА ЦФП ИОФ РАН, ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ

^{1*}М.Ю. Коренский, ¹И.А. Веселовский, ¹Д.С. Корнеев, ¹А.В. Колготин, ¹Н.И. Касьянник
(¹Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, ЦентрФизического Приборостроения, 108840, Москва, Троицк, Калужское шоссе, д. 4/1, * miklekor@pic.troitsk.ru)

В работе представлены технические характеристики лидарной системы ЦФП ИОФ РАН и программного обеспечения, разработанного специально для проведения анализа полученных данных.

Ключевые слова: многоволновый лидар, программа, анализ данных.

The paper presents the technical characteristics of the lidar system of the PIC GPI RAS and the software developed specifically for the analysis of the data obtained.

Key words: multiwavelength lidar, program, data analysis.

Многоволновые лидары широко применяются для исследования физических параметров атмосферы. Начиная с 2000 года лидарная группа ЦФП ИОФ РАН проводит исследования с целью изучения микрофизических параметров атмосферного аэрозоля, концентрации водяного пара, метана и диоксида углерода. Для проведения экспериментов научными сотрудниками был разработан лидар с необходимыми техническими характеристиками, а так же программное обеспечение, позволяющее проводить полноценный анализ

данных.

Система, представленная в работе, состоит из приемной, передающей системы и блока электронной аппаратуры. Передающая система содержит в себе твердотельный импульсный YAG:Nd лазер с генератором второй и третьей гармоники, излучающий три длины волны 1064, 532 и 355 нм и внеосевой зеркальный коллиматор со специальным диэлектрическим покрытием, обеспечивающим максимальный коэффициент отражения на трех длинах волн и выдерживающий энергию лазерного импульса. Приемная система состоит из телескопа с апертурой 400 мм выполненного по схеме Кассегрена и анализатора спектра, позволяющего разделить принимаемое излучение на несколько спектральных каналов, необходимых для полноценного анализа микрофизических параметров атмосферного аэрозоля и концентрации газовых составляющих атмосферы.

Разработанное программное обеспечение, дает возможность в оперативном режиме просматривать лидарные сигналы, проводить их предварительную подготовку для дальнейших вычислений, строить высотно-временные зависимости физических параметров атмосферы.

Весь этот набор инструментов предназначен для проведения долговременных исследований состояния атмосферы в диапазоне высот от 500 до 15 км, с пространственным разрешением 50 м и с временным разрешением в 2-3 минуты, что в свою очередь делает возможным использования полученных результатов для оценки влияния атмосферных составляющих на климатические изменения в исследуемом регионе.

1. Veselovskii I., Hu Q., Goloub P., Podvin T., Korenskiy M., Pujol O., Dubovik O., Lopatin A. Combined use of Mie-Raman and fluorescence lidar observations for improving aerosol characterization: feasibility experiment. //Atm. Meas. Tech. 2020.V.13. P. 6691–6701

ПАРАМЕТРЫ ЛИДАРА КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МОЛЕКУЛ КАРБОНОВОГО ЦИКЛА В АТМОСФЕРЕ

Е. И. Веденин, В.В. Дьяченко, И.А. Сарычев, П.В. Чартий

(Новороссийский политехнический институт, Новороссийск, svetokdojdei@mail.ru)

Для исследования содержания молекул климатически активных газов в атмосфере разработан лидар КРС Э2022. В работе выполнено компьютерное моделирование лидарного уравнения КРС и рассчитано число фотонов, зарегистрированных фотоприемником лидара на разных частотах следования импульсов лазерного излучения и для разного времени измерения. В результате установлена зависимость числа фотонов КРС от частоты следования и времени измерения, определены значения оптимальных частот и времени измерения для проведения эксперимента в атмосфере.

Ключевые слова: лидар комбинационного рассеяния света, климатически активные газы, частота следования импульсов лазерного излучения, время измерения

To study the content of climatically active gases molecules in the atmosphere, the KRS E2022 lidar was developed. In this work, computer simulation of the Raman lidar equation has been performed and the number of photons registered by the lidar photodetector at different laser radiation pulse repetition rates and for different measurement times has been calculated. As a result, the dependence of the number of Raman photons on the

repetition rate and measurement time was established, and the values of the optimal frequencies and measurement time for conducting an experiment in the atmosphere were determined.

Key words: Raman lidar, climatically active gases, laser radiation pulse repetition rate, measurement time

Изменение климата на Земле связывают с усилением парникового эффекта, вследствие повышения в атмосфере концентраций молекул, так называемого «углекислотного цикла». При этом в России поэтапно вводится система отчетности и квотирования выбросов парниковых газов, что делает актуальной задачу контроля количества парниковых газов, поступающих в атмосферу для субъектов экономической деятельности.

В работе в качестве исследуемых веществ были рассмотрены молекулы азота, кислорода, углекислого газа, входящие в состав атмосферы. Априорно известная информация о содержании исследуемых веществ в атмосфере позволит установить оптимальные параметры лидара для определения времени измерения и частоты следования импульсов лазерного излучения.

В качестве метода измерения концентрации молекул углекислотного цикла в работе выбран метод комбинационного рассеяния света (КРС). Принцип действия метода основан на специфичности спектров КРС молекул, благодаря которой можно идентифицировать и обнаруживать их в атмосфере [1].

Для исследования содержания исследуемых в работе молекул в атмосфере был разработан лидар КРС Э2022. В телескоп лидара, оптическая ось которого расположена на одной оси с кюветой, собирается рассеянное излучение КРС молекулами исследуемых газов в измерительном объеме кюветы при зондировании лазерным излучением на длине волны 532 нм по данным [2]. Рассеянное излучение поступает на выход световода, расположенный в фокусе телескопа. Через световод излучение направляется на фотоприемник, после которого, преобразуясь в АЦП из электрического сигнала в цифровой, поступает на обработку в ПК.

Число фотонов $n(\nu, z)$ излучения комбинационного рассеяния света исследуемыми молекулами с концентрацией $N(z)$ на фотоприемнике лидара можно представить в виде [3]:

$$n(\nu, z) = \frac{c\tau_1}{2z^2} S_0 f N(z) I(\nu, z)$$

По измеренным в [4] значениям дифференциальных сечений КРС, выбранным значениям коэффициентов ослабления, по априорно известным значениям содержания частиц исследуемых молекул в атмосфере

были рассчитаны значения числа фотонов, зарегистрированного фотоприемником лидара $n(\nu, z)$ на частотах следования лазерных импульсов ν равных 1 Гц, 10 Гц, 1 кГц и 100 кГц для времени измерения 10 мс, 1 с, 10 с и 100 с.

Ультрамалые концентрации наиболее значимых компонентов карбоновых загрязнений атмосферы могут детектироваться с помощью дифференциальной схемы [5].

В результате установлено, что число фотонов, зарегистрированное фотоприемником лидара, прямо пропорционально увеличению частоты

следования импульсов или времени измерения. Исходя из максимального количества зарегистрированных фотонов за время одного измерения, по установленным зависимостям были определены максимальные значения оптимальных частот и времени измерения для проведения эксперимента на разработанном экспериментальном лидаре КРС.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 19-42-230004, 19-45-230009

1. Лактюшкин Г.В., Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Параметры зондирования молекулярного водорода в атмосфере на наклонных трассах лидаром с YAG: Nd лазером. // Журнал технической физики. – 1998. – Т. 68. – № 1. – С. 20-22.
2. Privalov V.E., Shemanin V.G. On the selection of a radiation source for one of the problems of laser probing. // Optics and Spectroscopy. 1997. Т. 82. № 4. С. 650-652.
3. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Лидарное уравнение с учетом конечной ширины лазерной линии. // Известия РАН. Серия Физическая. – 2015. – Т. 79. – № 2. – С. 170-180.
4. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. – М.: Мир, 1987. – 550 с.
5. Привалов В.Е., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Дифференциальная схема лидарного детектирования ультрамалых концентраций серосодержащих углеводородов. // Экологические системы и приборы. – 2002. – № 3. – С. 23-26.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЗРАЧНОСТИ ДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ

И.С. Кеда, В.В. Брюханова, Е.В. Ни

(Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск,
kedainna@mail.ru)

Распространение электромагнитного излучения в дисперсных системах сопровождается его ослаблением, которое обусловлено поглощением и рассеянием. В докладе обсуждаются результаты экспериментального исследования ослабления лазерного излучения в зависимости от концентрации рассеивающих частиц.
Ключевые слова: дисперсная система, поляризационное лазерное зондирование, водно-молочная эмульсия

The propagation of electromagnetic radiation in dispersed systems is accompanied by its weakening, which is due to absorption and scattering. Experimental results are obtained from studying the attenuation of laser radiation as a function of the concentration of scattering particles.

Keywords: disperse system, polarization laser sensing, milk emulsion

Определение свойств дисперсных систем является актуальной научной и прикладной задачей. Вследствие сопоставимости размеров частиц дисперсной фазы с длиной волны оптического диапазона возможность определения размеров и концентрации взвешенного вещества методами лазерного зондирования не вызывает сомнений.

Особенности оптических свойств дисперсных систем определяются природой частиц, их размерами, соотношением между длиной волны

электромагнитного излучения и размерами частиц.

В работах по изучению светорассеяния в дисперсных системах в качестве рассеивающей среды нередко используется водно-молочная эмульсия, которая является дисперсной системой: дисперсной фазой являются жировые частицы, а дисперсионной средой – смесь молока и воды (молочная плазма) [1].

Нами был собран лабораторный стенд [2] и на нем отработана методика исследования зависимости прозрачности водно-молочной эмульсии от концентрации жировых частиц. Пучок лазерного излучения от источника проходил через кювету с эмульсией и попадал на ПЗС-камеру. В эксперименте последовательно использовались 4 кюветы разной толщины, заполненные водно-молочной эмульсией до одинаковой высоты. Таким образом, при одинаковом количестве молока в кювете оптическая плотность эмульсии различалась. На основе закона Бугера определялись прозрачность, а затем – коэффициент рассеяния водно-молочной эмульсии.

В [3] было показано, что при известных параметрах микроструктуры дисперсной фазы (показатель преломления и функция распределения частиц по размерам) связь между массовой концентрацией гомогенного аэрозоля и коэффициентом рассеяния носит линейный характер.

Нами определен эмпирический коэффициент линейной зависимости коэффициента рассеяния водно-молочной эмульсии от концентрации жировых частиц.

1. Горбатова К.К., Гунькова П.И. Химия и физика молока и молочных продуктов. – СПб.: ГИОРД, 2012. – 336 с.
2. Ни Е.В., Брюханов И.Д., Свиридов Е.И. Лабораторный стенд для исследования характеристик многократного рассеянного назад излучения дисперсными средами // Труды Международной молодежной научной школы «Актуальные проблемы радиофизики». 25–26 сентября 2017. г. Томск: Изд-во НТЛ, 2017. – С. 70-74.
3. Зуев В.Е., Кауль Б.В., Самохвалов И.В. и др. Лазерное зондирование промышленных аэрозолей. – Н.: Наука, 1986. – 188 с.

ЛИДАРНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ С НИЗКИМИ ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМЫМИ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ

Е.И. Веденин, В.В. Дьяченко, И.А. Сарычев, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин

(Новороссийский политехнический институт, Новороссийск, pvc-60@yandex.ru)

Перевалка нефти и нефтепродуктов на морской транспорт сопровождается вытеснением газозооной смеси из танкерных емкостей при их заполнении. При этом происходит насыщение атмосферы парами летучих органических соединений. Значения концентраций этих соединений зависит от давления насыщенных паров, которое в свою очередь напрямую зависит от температуры окружающей среды. Очевидно, что наибольшие концентрации наблюдаются в летний период.

В Российской Федерации значительная часть нефти и нефтепродуктов

экспортируется через южные порты и сюда же выходят магистральные нефтепроводы экспортеров из других стран. Например, КТК в Новороссийском порту. В результате, в наиболее интенсивный рекреационный летний период, происходит интенсификация углеводородной эмиссии с большими значениями концентраций.

Наличие в выбросах серосодержащих соединений при рассеивании в приземном слое атмосферы прилегающих к нефтеналивным терминалам территориях при неблагоприятных метеоусловиях (НМУ) создает дискомфорт для проживающего здесь населения и отдыхающих на городских пляжах, которые попадают в зону влияния. Техническое решение сокращения этих выбросов является не оправданно дорогостоящим, поэтому предлагается решать эту проблему следующим организационно-техническим подходом.

Российское природоохранное законодательство предусматривает при наступлении НМУ соответствующим предприятиям переходить на менее интенсивные режимы работы, при которых выбросы загрязняющих веществ становятся приемлемыми. При наличии нескольких однородных предприятий, которые могут вносить свой вклад в загрязнение приземного слоя прилегающих территорий возникает задача выявления именно тех источников, которые вносят наибольший вклад в загрязнение атмосферы. Без этого придется необоснованно сокращать интенсивность технологических операций на всех этих предприятиях, а это сопряжено с неоправданными экономическими потерями. Дистанционное лазерное зондирование приземного слоя атмосферы непосредственно над источниками и над прилегающими территориями позволило бы установить пространственно-временное распределение загрязняющих веществ в приземном слое потенциально загрязняемой территории и решило бы задачу по определению именно тех источников, которые вносят наиболее весомый вклад. Результаты такого контроля стали ли бы объективным основанием для принятия мер по снижению выбросов, связанных с наступлением НМУ.

Наибольший дискомфорт для людей вносят присутствующие в нефтяных выбросах серосодержащие соединения, особенно метилмеркаптан. Однако его концентрации по сравнению с предельными углеводородами очень малы. Поэтому их контроль является непростой задачей. Ранее в [1- 5] было предложено проведение дистанционного лидарного зондирования малых концентраций серосодержащих соединений в реальном времени методом комбинационного рассеяния света, реализация которого осуществляется следующим образом. Непосредственно над устьем источника, где все компоненты имеют наибольшие значения концентраций, измеряются как предельные углеводороды, так и другие компоненты, в т.ч. и серосодержащие. А по мере удаления от источника, возможность контроля компонентов с малыми концентрациями исчезает. Однако в силу того, процессы турбулентной диффузии для всех составляющих выброса одинаковы, а трансформация этих составляющих за контролируемое время незначительна, можно считать, что относительные концентрации всех компонентов останутся теми же, что и непосредственно в устьях источников.

Для их определения предлагается использовать лидар комбинационного рассеяния света, который обладает высокой селективностью определения контролируемых ингредиентов. Но его основным недостатком является низкая концентрационная чувствительность. С его помощью возможно зондирование предельных углеводородов в выбросах, доля которых может составлять в выбросе более 90 %. В тоже время, серосодержащие (в первую очередь, метилмеркаптан) имея очень незначительную долю в выбросе, в силу своих одорирующих свойств могут оказаться более значимыми для населения и отдыхающих.

Предлагаемый подход является наиболее оптимальным для предприятий, потенциально загрязняющих атмосферу, а его реализация позволит повысить качество отдыха горожан и гостей города.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 19-42-230004, 19-45-230009

1. Привалов В.Е., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Дифференциальная схема лидарного детектирования ультрамалых концентраций серосодержащих углеводородов. // Экологические системы и приборы.–2002.–№ 3.– С. 23-26
2. Привалов В.Е., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Способ лидарного измерения ультрамалых концентраций серосодержащих загрязняющих веществ. //Безопасность жизнедеятельности.–2003.– № 9.–С. 26
3. Vasilyev A.O., Shemanin V.G., Chartiy P.V. IR detector for hydrocarbons concentration measurement in emissions during petroleum and oil products storage and transportation. // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. Ser. Infrared Sensors, Devices, and Applications; and Single Photon Imaging II. 2011. С. 81550Т.
4. Васильев А.О., Шеманин В.Г., Чартий П.В. Мониторинг выбросов углеводородов при хранении и транспортировки нефти и нефтепродуктов. // Безопасность в техносфере.–2011.– № 5.–С. 3-7.
5. Dyachenko V.V., Chartiy P.V., Shemanin V.G. Laser Systems for the Pollutants Control in the Oil and Gas Industry // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2019. 272. 032003. doi:10.1088/1755-1315/272/3/032003

СЕКЦИЯ Д-5 – ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ГЕОХИМИЯ АЭРАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НОВОРОССИЙСКА

В.В. Дьяченко, А.В. Шубин

(Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Россия, v-v-d@mail.ru)

В статье рассмотрены результаты исследования аэрозолей различного генезиса в районе города Новороссийска. Обнаружено, что городские аэрозоли интенсивно обогащены Ag, Zn, Pb и Cu - элементами полиметаллами, которые совершенно не характерны для местных, преимущественно карбонатных горных пород, что является следствием загрязнения.

Ключевые слова: тяжелые металлы, аэрозольное загрязнение атмосферы, почвы, дефляция

The article discusses the results of a study of aerosols of various genesis in the area of the city of Novorossiysk. It was found that urban aerosols are intensely enriched in Ag, Zn, Pb and Cu - polymetal elements that are completely uncharacteristic of local, predominantly carbonate rocks, which is a consequence of pollution

Key words: heavy metals, aerosol pollution of the atmosphere, soil, deflation

В районе Новороссийска расположены несколько цементных заводов, сырье для которых добывают из открытых карьеров. Цементные заводы выбрасывают в атмосферу сотни тысяч тонн взвешенных веществ в год. А сколько частиц выдувается с карьеров и ползущих вниз по склону осыпей? Это громадные по площади и производительности дефляционные поля. Недаром в Новороссийске все чаще доминируют превышения экологических нормативов по взвешенным веществам. В целом стационарные источники загрязнения Новороссийской агломерации обеспечивают 17-25 % выбросов взвешенных частиц всего Краснодарского края. Только с 2009 по 2019 год годовые выбросы в крае выросли со 147 до 999 тысяч тонн [1].

Для получения данных об особенностях геохимии воздушного загрязнения и идентификации генезиса аэрозолей, нами ведется сопряженное изучение почв региона (источник дефляционных аэрозолей) и ее наиболее «летучей» фракции (мельче 0,1 мм), а также городской пыли. Согласно визуальному, микроскопическому, химическим анализам, доминирующим фактором аэрозольного загрязнения во многих районах является цемент, пыль карбонатных горных пород и в значительно меньшей степени уголь, который грузится в порту. Спектральный анализ показал, что городские аэрозоли обладают очень специфическим химическим составом, большой контрастностью содержаний в разных районах и резко повышенных концентрациях микроэлементов – агентов загрязнения (табл. 1).

Относительно регионального кларка почв [3] микроэлементы в пыли образуют следующий ряд: Ag (9,46) > Zn (3,69) > Pb (3,09) > Cu (2,78) > Ba (1,96) > Sr (1,91) > Sn (1,07) > Mo (1,03) > Mn (0,95) > Cr (0,84) > W 0,81 > Co, Ga, Ni, Ti (0,75) > V (0,71) > Ge(0,6) > Li(0,57) > P (0,45). Таким образом, городские аэрозоли интенсивно обогащены Ag, Zn, Pb и Cu – элементами полиметаллами которые совершенно не характерны для местных, преимущественно карбонатных горных пород (в основном мергелей мелового возраста) и больше похоже на загрязнение Владикавказа [4].

Таблица 1 – Сравнение содержания микроэлементов в городской пыли ($\mu\text{г} \cdot 10^{-3}$ мас. %, с вероятностью 95 %) с региональными кларками почв [2] и мергелями - местными почвообразующими горными породами [3]

Показатели	Cu	Zn	Pb	Ag	Bi	As	Cr	Sn	Mo	W	Co
Среднее	13,8	38,0	10,3	0,0974	0,26	2,11	9,6	0,58	0,31	0,17	1,50
Ошибка	5,8	13,9	6,2	0,070	0,21	0,32	2,7	0,11	0,09	0,07	0,17
Региональные кларки почв	4,96	10,3	3,33	0,0103	*	*	11,4	0,54	0,30	0,21	1,99
Мергель (К)	2,58	2,64	1,46	0,0055	*	*	4,84	0,24	0,18	0,13	0,63
Показатели	Ta	Ga	Ge	P	Li	Ti	V	Ba	Sr	Ni	Mn
Среднее	0,10	1,39	0,12	40,3	3,16	384	9,1	133	38,4	3,58	81,6

Ошибка	0,02	0,21	0,03	14,6	0,37	166	2,5	110	6,9	0,69	14,2
Региональные кларки почв	*	1,85	0,20	90	5,56	510	12,9	68	20,1	4,79	86
Мергель (К)	*	0,52	0,09	36	2,64	246	4,82	50	59	1,38	93

* - низкий процент обнаружения

А вот микроэлементы тонкодисперсной части почв относительно регионального кларка образуют совершенно другой 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 (0,95) > Sn (0,82). Очевидно, два этих ряда сильно отличаются, что позволяет выделить определенные химические элементы в качестве маркеров, для идентификации генезиса (источника) аэрозолей. В частности, дефляционный фактор приводит к обогащению аэрозолей Ti, Sr и Zn, а техногенный – Ag, Zn и Pb. Что характерно, ведущие элементы этих парагенетических ассоциаций - Ag с одной стороны и Ti с другой – имеют пониженные содержания в другой ассоциации, что повышает объективность их использования как маркеров. Zn к таковым отнести нельзя, поскольку он концентрируется в генетически различных аэрозолях.

Причем, на самом деле тонкодисперсная часть городских аэрозолей обогащена тяжелыми металлами и другими микроэлементами в еще большей степени. Дело в том, что в техногенных аэрозолях встречаются частицы бетона, дорожного покрытия, кварца, кальцита, гипса и других минералов, величиной до 0,5 мм, которые не содержат тяжелых металлов и благодаря большим размерам оказывают понижающее влияние на их концентрацию в аэрозолях [5].

Проведенный анализ приводит к выводу, что важным фактором загрязнения природных ландшафтов, городской среды и негативного влияния на здоровье населения в части микроэлементов, являются аэрозоли. Причем, не только пыль техногенного происхождения, изначально содержащая повышенные концентрации тяжелых металлов (например, в рудных минералах или металлургических шлаках), но и первично дефляционная. Последняя – мигрируя внутри города, постепенно накапливает на себе различные загрязняющие вещества. А дефляционная составляющая является своеобразной матрицей, на которой осаждаются химические элементы, находящиеся в воздухе вследствие техногенных выбросов, в состоянии рассеяния, парогазовой форме и тд. Микроскопический анализ свидетельствует о том, что даже кварцевые частицы размером менее 0,1 мм облеплены множеством частиц мельче их в десятки и сотни раз. И чем мельче частицы пыли, тем больше суммарная площадь их поверхности и сильнее разнообразные процессы закрепления микроэлементов.

В сухом климате и при отсутствии тщательной влажной уборки в городе это может продолжаться десятилетиями. Города, являются своеобразными механическими геохимическими барьерами [5] для пыли приземного слоя атмосферы. Её аэральный вынос затруднен плотной высотной застройкой. В результате пыль, привнесенная или образующаяся в городе задерживается там надолго, накапливается и постепенно поглощает различные химические

элементы. Часть пыли, закрепляется в почвах и водных объектах [6], часть выносится за пределы города, а часть периодически поднимается ветром и попадает в наши органы дыхания, вызывая заболевания [7, 8].

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 19-42-230004, 19-45-230009

- 1 О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2019 году: Доклад .– Краснодар, 2020. – 550 с.
- 2 Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Региональные кларки химических элементов в почвах юга европейской части России // Почвоведение.–2016.–№ 10.– С. 1159-1166. DOI: 10.7868/S0032180X16100063
- 3 Дьяченко В.В. Геохимия и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа: диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук.– Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2004.– 326 с.
- 4 Дьяченко В.В. Особенности миграции химических элементов в почвах геохимических ландшафтов Центрального и Восточного Кавказа: диссертация на соискание ученой степени кандидата сельск. Наук.– Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 1996. –115 с.
- 5 Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Девисилов В.А. Науки о земле: Уч. Под ред. В.А. Девисилова.– М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019.– 345 с.
- 6 Дьяченко В.В., Матасова И.Ю., Дьяченко Л.Г. Картографирование геохимических ландшафтов юга России (аспекты практического использования) // География и природные ресурсы.–2019.- № 3.–С. 16-25 DOI: [10.21782/GIPR0206-1619-2019-3\(16-25\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2019-3(16-25))
- 7 V. Dyachenko, I. Matasova, O. Ponomareva The Trace Elements Concentrations Dynamics in the Soil Landscapes of the Southern Russia // Universal Journal of Geoscience. 2014. Vol. 2(1), pp. 28 – 34 DOI: 10.13189/ujg.2014.020104
- 8 Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Малыхин Ю.А. Проблемы загрязнения ландшафтов Краснодарского края и здоровье населения // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 07 (101).

СИСТЕМА ЛАЗЕРНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВЫБРОСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ НА НЕФТЯНЫХ ТЕРМИНАЛАХ И ТАНКЕРАХ

Е.Ф. Загурский, В.А. Туркин

(Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова,
Новороссийск, turvla@mail.ru)

Предложенная автоматизированная информационная система управления охраной окружающей среды территории морского порта включает вычислительную технику, программное обеспечение и методы, разработанные для облегчения поиска, использования и анализа, и представления пространственно привязанных данных

для решения вопросов обеспечения экологической безопасности. Для непрерывного контроля концентрации загрязняющих веществ необходимо использовать оборудование, проводящее исследование в автоматическом режиме с небольшой временной задержкой. Альтернативой станциям автоматической системы мониторинга может служить лидарная система, размещенная так, чтобы лазерный луч и приемный телескоп были направлены в область над портовой территорией с наиболее вероятным превышением уровней предельно допустимых концентраций молекул загрязняющих веществ.

Ключевые слова: нефтяные танкера и терминалы, углеводороды, система мониторинга, лидар

The proposed automated information system for managing the environmental protection of the seaport territory includes computers, software and methods designed to facilitate the search, use and analysis and presentation of spatially referenced data to address environmental safety issues. For continuous monitoring of the concentration of pollutants, it is necessary to use equipment that conducts research in automatic mode with a small time delay. An alternative to automatic monitoring system stations can be a lidar system placed so that the laser beam and the receiving telescope are directed to the area above the port area with the most likely excess of the maximum permissible concentrations of pollutant molecules.

Keywords: oil tankers and terminals, hydrocarbons, monitoring system, lidar

Основные направления автоматизации в области рационального природопользования и охраны окружающей природной среды порта можно разбить на две основные группы:

- разработка, адаптация, внедрение и использование производственных автоматизированных систем, автоматизированных технологий и информационных ресурсов, главной целью которых является автоматизация функций в сфере рационального природопользования и охраны окружающей природной среды порта и внедренных в единое информационное, программно-техническое и телекоммуникационное пространство;
- разработка, адаптация, внедрение и использование инфраструктурных, информационно-справочных и аналитических систем и технологий, интегрирующих информационные системы и ресурсы в сфере рационального природопользования и охраны окружающей природной среды порта в единое информационное, программно-техническое и телекоммуникационное пространство, а также представляющих всевозможные информационно-справочные и аналитические материалы в данных сферах.

Альтернативой станциям автоматической системы мониторинга может служить лидарная система контроля качества атмосферного воздуха, размещенная на доминирующем по высоте строении таким образом, чтобы лазерный луч и, соответственно, приемный телескоп лидара были направлены в область над промышленным предприятием с наиболее вероятным превышением уровней предельно допустимых концентраций (ПДК) исследуемых молекул загрязняющих веществ.

Лидарная система контроля качества атмосферного воздуха промышленного района работает круглосуточно и с периодичностью 1 раз в 100 с.

происходит излучение лазерного импульса и регистрация рассеянного в направлении 180° излучения. Импульс лазера на выбранной длине волны направляется в исследуемую область пространства над промышленной зоной. Часть лазерного излучения используется для создания опорного сигнала, который задает начало отсчета времени, а его амплитуда – энергию лазерного импульса. Показана оптическая схема лидарной система контроля качества атмосферного воздуха.

При нахождении в контролируемой области пространства превышения уровней ПДК исследуемых молекул, система в автоматическом режиме подает соответствующий сигнал по каналам связи на пульт оператора муниципальной ГИС для оперативного принятия решений или в автоматическом режиме контролирует качество атмосферного воздуха для предотвращения загрязнения путем контроля и управления технологическим процессом производства непосредственно на участке, где было зафиксировано превышение уровней ПДК, таким образом – контролировать качество атмосферного воздуха для предотвращения загрязнения припортовой территории.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

А.А. Стяжкин, В.А. Туркин

(Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, turvla@mail.ru)

Предложено для анализа безопасности эксплуатации судовых энергетических установок использовать не вероятностный, а возможностный подход, основанный на применении теории нечетких множеств. При этом осуществляется замена точечных оценок вероятностей конкретных предпосылок их интервальными оценками, выраженными в форме нечетких чисел. Используя метод нечетких чисел получено, что возможность останова главного двигателя в ходу судна будет оцениваться диапазоном изменения частоты от 0,0862 до 0,968 при наиболее вероятном значении 0,0915 год⁻¹. Вероятность движения танкера вблизи берега оценивается значением 0,04, а вероятность наличия штормовой погоды – 0,05. Тогда частота возникновения катастрофической ситуации с танкером вследствие разлива нефти будет равна $1,83 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹.

Ключевые слова: водный транспорт, судовые энергетические установки, безопасность эксплуатации, частота отказов, нечеткие числа

It is proposed to use not a probabilistic, but a possibilistic approach based on the application of the theory of fuzzy sets to analyze the safety of operation of ship power plants. In this case, point estimates of the probabilities of specific prerequisites are replaced by their interval estimates expressed in the form of fuzzy numbers. Using the fuzzy number method, it was obtained that the possibility of stopping the main engine during the course of the vessel will be estimated by the frequency change range from 0.0862 to 0.968, with its most probable value being 0.0915 year⁻¹. The probability of a tanker moving near the shore is estimated at 0.04, and the probability of stormy weather is 0.05. Then the frequency of occurrence of a catastrophic situation with a tanker due to an oil

spill will be equal to $1.83 \cdot 10^{-4} \text{ year}^{-1}$.

Keywords: water transport, ship power plants, operational safety, failure rate, fuzzy numbers

Для проведения анализа безопасности эксплуатации судовых энергетических установок (СЭУ) танкеров на основе оценки риска необходимо наличие достаточно представительных и однородных выборок по отказам основного механического оборудования, входящего в состав СЭУ. Несмотря на имеющуюся статистику отказов по танкерам различных типов ее нельзя в полной мере считать массовой и однородной, как этого требует классический вероятностный подход. Поэтому для анализа безопасности эксплуатации СЭУ танкеров был использован не вероятностный, а возможностный подход, основанный на применении теории нечетких множеств. Необходимость учета приближенной информации вызвана также нестационарностью и неэргодичностью процессов в человеко-машинных системах. Метод требует изменения отношения к интерпретации имеющихся исходных данных, а именно, представление их не точно известными, а приближенными величинами, заданными на некоторых интервалах возможных значений. При этом осуществляется замена точечных оценок вероятностей предпосылок их интервальными оценками, выраженными в форме нечетких величин и чисел.

Согласно сформулированному Л. Заде принципу обобщения категорий теории возможностей, на нечеткие числа могут быть распространены алгебраические операции: логические сложение и умножение, а также изменение знака (отрицание), деление и вычитание переменных. Такие преобразования могут быть проведены для любых нечетких чисел с непрерывными функциями принадлежности; однако наиболее просто это достигается при их аппроксимации L-R-типа. На основе принципа Л. Заде выполнено приближенное интервальное оценивание нечеткого прогноза вероятности возникновения аварийной ситуации «Остановка главного двигателя танкера в ходу судна». Применяв формализацию для качественного и количественного описания обстоятельств появления рассматриваемой ситуации представлена его причинная цепь в виде дерева отказов.

Используя метод нечетких чисел получено, что возможность остановки главного двигателя в ходу судна будет оцениваться диапазоном изменения частоты от 0,0862 до 0,968 при наиболее вероятном ее значении $0,0915 \text{ год}^{-1}$. Как показывает статистика катастрофических разливов нефти с танкеров, наиболее опасная ситуация может возникнуть в случае одновременного наличия следующих событий: следование танкера поблизости от берега и наличие штормовой погоды. На основании экспертных оценок установлено, что вероятность движения танкера вблизи берега оценивается значением 0,04, а вероятность наличия штормовой погоды – 0,05. Тогда частота возникновения катастрофической ситуации с танкером вследствие разлива нефти будет равна $1,83 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$. Имея значение частоты аварий можно оценить величину риска и предложить мероприятия по его снижению, если

риск будет превышать приемлемую величину.

ЛАЗЕРНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ ВЕЩЕСТВ СУДОВЫМИ ДИЗЕЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

*В.А. Туркин, Г.В. Игнатенко, Ю.В. Письменская, Р.И. Джиоев, Д.В. Гаркуша,
Т.А. Рягузов*

(Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова,
Новороссийск, turvla@mail.ru)

Измерение выбросов загрязняющих воздушную среду веществ судовыми дизельными двигателями предлагается осуществлять методом лазерного зондирования газового потока. Лазерное излучение направляется через газовую среду на мишень, а рассеянное мишенью излучение собирается телескопом с фотоприемником и анализатором спектра. Преимуществом лазерного метода является оперативность получения информации о концентрациях загрязняющих веществ. Приведены результаты экспериментально-расчетного определения постоянных молекул загрязняющих воздушную среду веществ, а также оптимальные режимы и параметры работы лазерных систем локального замера концентраций загрязняющих веществ в выбросах судовых дизельных двигателей. Определены оптимальные режимы работы и предложена схема судовой лазерной системы мониторинга, позволяющая осуществлять непрерывный контроль концентрации вредных веществ, решать задачи снижения токсичности отработавших газов.

Ключевые слова: судовые двигатели, вредные выбросы, лазерный мониторинг, система контроля выбросов

Measurement of air pollutant emissions from marine diesel engines is proposed to be carried out by the method of laser gas flow sensing. Laser radiation is directed through the gas medium to the target, and the radiation scattered by the target is collected by a telescope with a photodetector and a spectrum analyzer. The advantage of the laser method is the efficiency of obtaining information on the concentrations of pollutants. The results of experimental and computational determination of constant molecules of air pollutants, as well as the optimal operating modes and parameters of laser systems for local measurement of pollutant concentrations in marine diesel engine emissions are presented. Optimal operating modes are determined and a scheme of a shipboard laser monitoring system is proposed, which allows for continuous monitoring of the concentration of harmful substances, solving the problems of reducing the toxicity of exhaust gases.

Keywords: marine engines, harmful emissions, laser monitoring, emission control system

Актуальность исследования обусловлена ужесточением требований к экологическим нормативам водного транспорта, определяемым Российским законодательством в сфере охраны окружающей среды, а также VI Приложением Международной Конвенции МАРПОЛ 73/78. Новые технологические возможности лазерного мониторинга, реализованные на технологической базе современных компьютеров, дают возможности проведения прямых измерений выбросов загрязняющих воздушную среду веществ судовыми дизельными двигателями в процессе их эксплуатации. Технологии сканирования выбросов с применением «экологических» лазеров дают эффективный инструмент контроля судовладельцами, портовым службам и администрациям портов по выполнению Российского

законодательства в сфере охраны окружающей среды, а также требований VI Приложения Международной Конвенции МАРПОЛ 73/78.

Для оценки эффективности предложенных технологических решений оптимизации регулировочных параметров судового дизельного двигателя 6S60MC с целью снижения выбросов загрязняющих веществ необходимо получать информацию о текущих значениях их удельных выбросов. Получение такой информации в режиме реального времени предлагается осуществлять методом лазерного зондирования отработавших газов всех дизельных двигателей, установленных на судне. По результатам исследований на экспериментальной лазерной установке получены графические зависимости логарифма мощности комбинационного рассеяния молекул загрязняющих веществ от расстояния для разных длин волн лазерного излучения.

На основе экспериментальных исследований и вычислительного эксперимента определены постоянные молекул оксидов углерода, азота и серы, а также оптимальные режимы и параметры работы лазерных систем локального замера концентрации указанных выше загрязняющих веществ в выбросах судового энергетического оборудования. Установлено, что оптимальный режим работы системы на комбинационном рассеянии света обеспечивается Cu- или YAG: Nd лазерами.

Предложена схема судовой лазерной системы мониторинга, которая позволяет осуществлять непрерывный контроль концентрации вредных веществ, решать задачи контроля и снижения токсичности отработавших газов. Лазерная система может работать как автономно, так и во взаимодействии с другими локальными системами диагностирования, а также в составе комплексной системы автоматизации и контроля технического состояния судовой энергетической установки.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ: РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

М.Н. Чура, К.Г. Бондарев, А.В. Татаринцева, Н.Н. Чура
(Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова,
Новороссийск, nnchura@rambler.ru)

Направление подготовки «Техносферная безопасность» включает отдельные самостоятельные виды безопасности: промышленная, пожарная, экологическая, безопасность труда и др. Объединяющим началом здесь могут быть механизм оценки риска для определения уровня безопасности или риск-ориентированный подход в отдельных видах безопасности.

Ключевые слова: техносферная безопасность, виды безопасности, общие подходы

The direction of training «Technosphere Safety» includes separate independent types of safety: industrial, fire, environmental, labor safety, etc. The unifying principle here may be a risk assessment mechanism to determine the level of safety or a risk-based approach in certain types of safety.

Keywords: technosphere safety, types of safety, general approaches

Реализация образовательных задач направления подготовки «Техносферная безопасность» имела начальные затруднения в толковании самого термина при отсутствии законодательной трактовки. Понимая признак «техносферная» как интеграцию в области практической деятельности, связанной с безопасностью, в т.ч. техноприродных комплексов, коллеги-преподаватели сложили воедино отдельные виды безопасности, существующие самостоятельно и в настоящее время. В числе этих видов безопасности, в первую очередь, промышленная, пожарная, экологическая, безопасность труда – как часть охраны труда. Включение в этот состав отдельных видов: безопасности в чрезвычайных ситуациях, транспортной безопасности и др. можно объяснить решением задач специализации подготовки.

Для каждого из видов безопасности, согласно официальным трактовкам, установлены свои объекты защиты (воспринимающие опасность или реципиенты риска). Каждый из видов безопасности имеет свой исторический путь развития, свою законодательную и нормативную базу, методологию и методики, своих специалистов. Вместе с тем существуют и объединяющие начала. Прежде всего, в одном из обобщенных законодательных определений безопасности – как «состояния, при котором отсутствует недопустимый риск...» (№ 184-ФЗ), что предполагает выполнение процедур оценивания риска для реципиента и сравнения его с критерием допустимости. На этом основании может быть сделан вывод о безопасности кого-то или чего-то. В этом состоит универсальность показателя «риск» служить критерием оценки уровня безопасности для всех её видов, поскольку сама безопасность, как важнейшая характеристика состояния (или свойства) объекта, не имеет шкалы оценки [1].

Характерным примером здесь служит норматив индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях, который утвержден законодательно (№123-ФЗ) и не должен превышать значения одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода точке. В контрольно-надзорной деятельности поиск разумного соотношения между уровнем опасности и уровнем безопасности, предполагает выбор интенсивности (формы, периодичности) проведения контроля согласно категории пожарного риска.

В значительной степени риск-ориентированный подход применяется в последние годы в сфере охране труда. Работодатель теперь обязан проводить систематическое выявление опасностей, оценку профессиональных рисков, их мониторинг и переоценку, учет микротравм и расследование причин их появления. Профессиональный риск здесь обычно понимается как вероятность нанесения вреда здоровью работника на рабочем месте. Под мониторингом понимается постоянное наблюдение за опасностями на рабочих местах, уровнями их профессиональных рисков, а также теми мероприятиями, которые используются для снижения рисков. Например, выдача работнику средств индивидуальной защиты с достаточной степенью эффективности – это мера снижения профессионального риска.

1. Чура М.Н., Чура Н.Н. Техносферная безопасность: перспективы. // Лазерно-информационные технологии 2021.(13-18 сентября 2021 г.) Новороссийск: НФ БГТУ, 2021.–С. 213-215.

ТРИГГЕРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПОЛЗНИ

¹А.Е. Воробьев, ²Г.К. Кожоголова
(¹ГГНТУ, РФ, ²Научная станция РАН, Кыргызстан)

Раскрыты триггерные механизмы воздействия на оползни, представляющие собой проявление определенного рода пускового эффекта, обеспечивающего чрезвычайно быстрый и довольно облегченный переход какой-либо ранее организованной геосистемы из ее одного, ранее вполне стабильного функционального состояния, в принципиально иное, а уже далее, как правило, осуществляемое под воздействием внутренних лавинообразно развертывающихся процессов. Показано, что геомасса оползня переходит в кинетическое состояние под действием таких триггерных факторов, как землетрясения, вулканическая деятельность, изменения температуры окружающей среды, сильные или продолжительные дожди и/или таяние снега и др. Следовательно, наблюдаемое глобальное потепление в некоторых районах Земли вызовет более интенсивные осадки, что может привести к усилению оползневой активности. Оползни, вызванные дождями, в основном вызваны условиями, которые способствуют внезапному увеличению давления воды в порах и перекрытию почвы, т.к. увеличение содержания воды в почве существенно снижает устойчивость склона. Когда влажность превышает пределы пластичности, то горный склон начинает деформироваться. При этом сильный и продолжительный дождь может очень эффективно способствовать возникновению многочисленных оползней. При исследовании влияния землетрясений на возникновение оползней основное влияние уделяется их амплитуде.

Ключевые слова: оползни, передвижение, триггеры, механизмы.

Disclosed are trigger mechanisms for influencing landslides, which are a manifestation of a certain kind of trigger effect, which provides an extremely fast and rather facilitated transition of any previously organized geosystem from its one, previously quite stable functional state, to a fundamentally different one, and even further, as a rule, carried out under the influence of internal avalanche-like unfolding processes. It has been shown that the geomass of the landslide turns into a kinetic state under the influence of such trigger factors as earthquakes, volcanic activity, changes in environmental temperature, heavy or prolonged rains and/or melting of snow, etc. Consequently, the observed global warming in some areas of the Earth will cause more intense precipitation, which can lead to increased landslide activity. Landslides caused by rains are mainly caused by conditions that contribute to a sudden increase in water pressure in the pores and soil overlap, since an increase in water content in the soil significantly reduces the stability of the slope. When humidity exceeds the limits of plasticity, the mountain slope begins to deform. At the same time, heavy and prolonged rain can very effectively contribute to the occurrence of numerous landslides. When studying the impact of earthquakes on the occurrence of landslides, the main influence is their amplitude.

Keywords: landslides, movement, triggers, mechanisms.

Различные типы оползней имеют различные механизмы перемещения, имеющие, как правило, разные триггеры. В частности, геомасса оползня переходит в кинетическое состояние под действием таких триггерных факторов, как землетрясения, вулканическая деятельность, подрезка основания или пригрузка тела оползня, изменения температуры

окружающей среды, сильные или продолжительные дожди и/или таяние снега и др.

Известно, что существует большая вероятность возникновения оползней, когда интенсивность осадков, превышает примерно 100 % нормальной интенсивности для этого района [8]. Так, вероятность возникновения оползня в результате сильных дождей с интенсивностью осадков 100–250 мм/сутки является очень высокой.

Аналогичным триггером появления оползней может служить землетрясение с близрасположенным эпицентром [1], обусловленное некоторой потерей устойчивости из-за механического разрушения геомассы на крутых склонах сотрясательным воздействием со стороны сильных землетрясений или техногенных источников вибрации (например, взрывов, работы мощной техники и т.д.).

Во-первых, вибрация от землетрясения, из-за потери эффективного напряжения, может вызвать разжижение мелкозернистых отложений с однородным гранулометрическим составом [9]. Землетрясения также могут увеличивать напряжение сдвига на склоне, снижая коэффициент безопасности до уровня ниже единицы.

Среди многочисленных факторов, провоцирующих оползневые явления, возрастает техногенное воздействие, вызванное неадекватной планировкой (срезка откосов с целью получения геоматериалов или изменение геометрии откосов во время строительства может привести к их обрушению, если площадка не спроектирована должным образом) и неправильным землепользованием в городских районах, а также хищнической добычей полезных ископаемых и вырубкой растительности (обезлесение) на горных склонах.

В настоящее время наиболее важным вопросом является определение времени возникновения оползней. Однако, нехватка необходимых данных во многих регионах препятствует проведению количественного определения вероятности обрушения откосов или реактивации оползней в течение определенного промежутка времени, и тогда на помощь приходят специальные программы [6], способные решить эту проблему.

Вывод. Наиболее важной задачей в настоящее время является изучение проявления и контролируемого развития имеющихся триггерных механизмов возникновения оползней [2-5, 7]. Именно сочетание целенаправленного активного воздействия и последующего контролируемого проявления триггерного эффекта, связанного либо с выделением ранее накопленного собственного запаса энергии природной среды (например, как при осаждении влаги из атмосферы), либо с существенным изменением ее первоначальных свойств, форм (например, горных пород) и качественно-количественных характеристик, способствует появлению в геосистеме оползней.

1 Адушкин В.В. Триггерные эффекты при образовании оползней. //Триггерные эффекты в геосистемах. Материалы Всероссийского семинара-совещания. /Ин-т динамики геосфер РАН; под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна.– М.:

- ГЕОС. 2010.– С. 33-41.
- 2 Воробьев А.Е., Дьяченко В.В., Воробьев К.А. Триггерные механизмы возникновения природных и техногенных катастроф в геосферах Земли. //Безопасность в техносфере.– 2020.– №2 (март–апрель).– С. 20-30.
 - 3 Воробьев А.Е., Кожугулов К.Ч., Шамшиев О.Ш., Кожугулов Б.К., Воробьев К.А. Анализ триггерных механизмов возникновения катастрофических событий в геосистемах Земли. // Научно-технический журнал N 41 (Кыргызстан).– 2020.– С. 46-63.
 - 4 Воробьев А.Е., Кожугулов К.Ч., Разаков Ж.П., Кожугулов Б.К., Шамшиев О.Ш., Тагаев Р.А., Воробьев К.А. Геоинжиниринг: оружие поражения или технологии развития? / Под редакцией Л.Г. Ивашова.– Бишкек (Кыргызстан), 2020.–406 с.
 - 5 Воробьев А.Е., Кожугулов К.Ч., Шамшиев О.Ш., Воробьев К.А. Выявление и анализ триггерных механизмов возникновения катастроф в геосистемах Земли. // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Разакова. –2020.– № 2 (54).– С. 121-133.
 - 6 Воробьев А.Е., Нифадьев В.И., Усманов С.Ф. Исследование особенностей поведения оползней на основе программного комплекса LANDSLIDEMODELLER // В сб.: Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы.V Международная научно-практическая конференция.– 2017.– С. 114-120.
 - 7 Драбенко В. Миф и реальность климатического оружия. // Частный Корреспондент. 12 октября 2010 г.
 - 8 International Symposium on tackling the challenges of slope stabilization and landslide prevention. 2015.
 - 9 Naida Ademović. High magnitude earthquakes trigger landslides and floods. //Geotechnical Society of Bosnia and Herzegovina. GEO-EXPO 2017. Sarajevo, October 26th and 27th, 2017.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПРОБНОГО КОАГУЛИРОВАНИЯ ПРИ ПОДБОРЕ ЭФФЕКТИВНОГО ФЛОКУЛЯНТА ДЛЯ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ СУДОВЫХ ЛЬЯЛЬНЫХ ВОД

Е.И.Шацкова, И.Г.Берёза

(Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск,
kulekina.jennie@gmail.com)

Приведены результаты экспериментальных исследований по подбору высокомолекулярного флокулянта для реagentной обработки судовых льяльных вод при помощи метода пробного коагулирования

Ключевые слова: судовые льяльные воды, пробное коагулирование, предварительная реagentная обработка.

The results of experimental studies on the selection of a high molecular weight flocculant for the reagent treatment of ship bilge waters using the trial coagulation method are presented.

Key words: ship bilge water, trial coagulation, preliminary reagent treatment.

Судовые льяльные воды загрязнены значительным количеством нефтеводяных эмульсий, образовавшихся вследствие стабилизации комплекса микрокапель нефти с водой. В связи с этим возникают трудности разрушения данных соединений в системе очистки льяльных вод на судах.

Для дестабилизации нефтеводяных эмульсий и очистки загрязненных льяльных вод используется флотационная очистка с предварительной реагентной обработкой и дальнейшим введением высокомолекулярных флокулянтов для укрупнения нейтрализованных нефтяных загрязнений. Применение в качестве реагентов минеральных коагулянтов приводит к повышению солевого состава в очищенной воде, повышению коррозионной активности воды, необходимости поддержания оптимальной величины рН очищаемой воды. Избежать перечисленных негативных последствий можно при использовании высокомолекулярных ионогенных флокулянтов.

Важной задачей при реагентной обработке загрязненной воды является выбор наиболее эффективного флокулянта, а также создание оптимального режима его использования и системы контроля за дозированием флокулянта. Приоритетными факторами при выборе флокулянта для предварительной реагентной обработки льяльных вод являются характеристика фазово-дисперсного состояния нефтяных загрязнений (дисперсность и знак заряда загрязнений), а также химический состав самого вещества (заряд, кинематическая вязкость раствора, молекулярная масса).

Подбор флокулянта для предварительной реагентной обработки льяльных вод проводился на загрязненных водах (с исходной концентрацией нефтепродуктов – 2000 мг/л), полученных с судов-сборщиков, методом пробного коагулирования на установке «Джар-тест». Используемый метод заключается в обработке загрязненной воды флокулянтами в мерных стеклянных емкостях при определенном стандартном режиме смешения и хлопьеобразования. Флокулянты добавляют в исследуемую загрязненную воду в виде 0,1% растворов по основному веществу, затем перемешивают в течение одной минуты с интенсивностью 150 об/мин, в течение 10 минут интенсивность перемешивания снижают до 50 об/мин, и дальше отстаивают в течение 30 минут.

В ходе эксперимента анализировались следующие высокомолекулярные флокулянты: Праестол 852, Праестол 853, Праестол 2540, Зетаг 8165, Зетаг 8185, Бесфлок 6841.

В результате проведенной работы можно сделать вывод, что все исследуемые флокулянты по отношению к нефтепродуктам обладают позитивным дестабилизационным эффектом. Вероятно, это связано с наличием в составе судовых льяльных вод анионных и катионных групп загрязнений, что позволяет применять как катионные, так и анионные флокулянты для извлечения частиц нефтепродуктов.

Также, эксперимент показал, что наибольшую степень извлечения нефтяных загрязнений из раствора льяльных вод обеспечивают высокомолекулярные катионные флокулянты: Праестол 853, Зетаг 8185, Бесфлок 6841. Для них эффективность процесса извлечения нефтепродуктов составляла 90 - 95% при дозе 2 мг/л. При этом концентрация нефтепродуктов в очищенной

воде составляла 45 - 50 мг/л. Такая высокая эффективность очистки может быть связана с такими химическими свойствами данных веществ, как высокий заряд и большая молекулярная масса.

При переизбытке флокулянта в растворе, а именно при увеличении дозы катионных флокулянтов свыше 2 - 2,5 мг/л эффективность процесса очистки снижается, вследствие стабилизации эмульсионных систем.

1. Mihrin L.M. Prevention of marine pollution from ships and offshore structures. Spb. IPK Biont. 2005.
2. Gandurina L.V. Wastewater treatment with synthetic flocculants. Moscow. DAR/VODGEO. 2007.
3. Weitzer Y.I. High-molecular flocculants in water treatment processes. 2010. Moscow. ASV.
4. Tikhomirov G.I. Analysis of methods and technical means of bilge water treatment. Transportation in Russia. 2015. № 6. P. 288–292.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

А.Б. Санникова

(Новороссийский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»), Новороссийск, anna.san@bk.ru)

Хозяйственная деятельность человека в процессе освоения территорий преобразила природные ландшафты. Некоторые из них были изменены частично. Другие природные ландшафты исчезли совсем, а на их месте появились техногенные ландшафты. Биогеохимический мониторинг на эколого-геохимической основе позволяет оценить степень техногенной трансформации экосистем.

Ключевые слова: биогеохимия, ландшафты, мониторинг, тяжелые металлы, техногенез, количественная эколого-геохимическая оценка.

Human economic activity in the process of developing territories transformed natural landscapes. Some of them were partially changed. Other natural landscapes disappeared completely, and technogenic landscapes appeared in their place. Biogeochemical monitoring on an ecological and geochemical basis makes it possible to assess the degree of technogenic transformation of ecosystems.

Keywords: biogeochemistry, landscapes, monitoring, heavy metals, technogenesis, quantitative ecological and geochemical assessment.

На процессы накопления химических элементов, в том числе тяжелых металлов, растениями влияют прежде всего: биологические особенности конкретного вида; ландшафтно-геохимические условия среды произрастания; кристаллохимические факторы, определяемые свойствами ионов, входящих в состав растений; взаимосвязь между поглощаемыми элементами [1]. В проведенных исследованиях данные факторы, по возможности, были учтены. Опробовались листья дуба и тополя (одна морфологическая часть), наиболее распространенные виды в пределах изучаемых территорий. Биогеохимические

исследования проводились в одну фенофазу (летний период). Изучались особенности накопления меди, цинка, свинца, молибдена, бария, марганца, никеля, хрома в три этапа (в Каменском ТПК, Новороссийском районе, пойменных ландшафтах Западного Кавказа) в аналогичных ландшафтно-геохимических условиях. Растения опробовались в пойменных лесах с гидрокарбонатно-кальциевым классом водной миграции, трансупераквальных, на четвертичных аллювиальных отложениях. Исследуемые территории отличаются только интенсивностью техногенной нагрузки. Наибольшее её влияние наблюдается в районе Каменского ТПК, менее интенсивное – в Новороссийском районе, а пойменные леса Северо-Западного Кавказа мало подвержены техногенному воздействию.

Основными техногенными источниками поступления загрязняющих веществ в почвах пойменных лесов Каменского ТПК являются грунтовые воды, распространяющие тяжелые металлы из отстойников промышленных сбросов по всей изучаемой территории, а также, менее значительное по содержаниям исследуемых металлов, промышленные выбросы (атмосферный перенос). В почвах пойменных лесов Новороссийского района тяжелые металлы поступают, в основном, с промышленными выбросами (перенос с потоками атмосферного воздуха).

Степень загрязнения территорий можно оценить по содержанию тяжелых металлов в почвах[2]. Фоновое содержание в почве пойменных лесов Каменского ТПК составляет (в $\mu\text{г} \cdot 10^{-3} \%$): Cu 5,1; Zn 25,3; Pb 2,8; Mo 0,3; Ba 70,0; Mn 82,0; Ni 5,0; Cr 14,0. Фоновые содержания в почвах пойменных лесов Новороссийского района составляют (в $\mu\text{г} \cdot 10^{-3} \%$): Cu 5,0; Zn 18,5; Pb 4,0; Mo 0,2; Ba 65,0; Mn 75,0;

Ni 4,8; Cr 7,0. Фоновые содержания в почве пойменных лесов Западного Кавказа (в $\mu\text{г} \cdot 10^{-3} \%$): Cu 3,6; Zn 8,1; Pb 2,2; Mo 0,2; Ba 50,2; Mn 66,4; Ni 4,3; Cr 11,9.

Загрязнение грунтовых вод, почв, атмосферного воздуха тяжелыми металлами приводит к высоким содержаниям их в растениях. В ландшафтах пойменных лесов Каменского ТПК фоновые содержания в листьях дуба составляют (в $\mu\text{г} \cdot 10^{-3} \%$): Cu 16,1; Zn 15,4; Pb 2,6; Mo 0,6; Ba 72,4; Mn 53,7; Ni 2,0; Cr 3,2. В пойменных лесах Западного Кавказа фоновые содержания в листьях дуба составляют (в $\mu\text{г} \cdot 10^{-3} \%$): Cu 7,9; Zn 10,6; Pb 1,7; Mo 0,5; Ba 52,4; Mn 359,0; Ni 4,2; Cr 1,9. Фоновые содержания в листьях тополя в пойменных лесах Каменского ТПК и Новороссийского района составляют соответственно (в $\mu\text{г} \cdot 10^{-3} \%$): Cu 5,4 и 5,5; Zn 35,5 и 13,0; Pb 2,0 и 2,0; Mo 0,3 и 0,28; Ba 32,7 и 58,5; Mn 22,3 и 37,5; Ni 0,9 и 3,4; Cr 1,1 и 1,4.

Содержание в листьях дуба в лесах Каменского ТПК меди, цинка, свинца, молибдена, бария, хрома более высокие, по сравнению с пойменными лесами Северо-Западного Кавказа. Однако, содержания в листьях дуба, произрастающего в лесах Северо-Западного Кавказа, марганца в 6,7 раз, никеля в 2 раза выше, чем в Каменском ТПК. В почвах содержания марганца и никеля, как остальных металлов, в пойменных лесах Северо-Западного Кавказа более низкие, чем в Каменском ТПК. Марганец образует наименее устойчивые металлоорганические соединения в почвах, наиболее доступен растениям.

Кроме того, марганец наиболее биофильный элемент (для растений в целом характерны его высокие содержания) [3]. В условиях с невысокой техногенной нагрузкой содержания марганца наиболее велики в растениях. Высокие содержания никеля в листьях дуба в пойменных лесах Северо-Западного Кавказа, вероятно, связаны с относительно большими его концентрациями, по сравнению с медью, цинком, свинцом, барием, молибденом, в почвах [4].

Содержания меди, марганца, хрома, бария, никеля в листьях тополя, произрастающего в пойменных лесах Новороссийского района, более высокие, в сравнении с Каменским ТПК. Хотя в почвах лесных ландшафтов Новороссийского района содержание их ниже. Данную особенность можно связать с более высокими содержаниями этих металлов в промышленных выбросах Новороссийского района. Осаждаясь на ветвях и листьях тополей, выполняющих функцию механического барьера, металлы в результате устьичной транспирации попадают в растения.

Таким образом, в большинстве случаев высокие содержание тяжелых металлов в растениях связано с их техногенным поступлением в объекты окружающей среды. В различных ландшафтно-геохимических условиях процессы миграции и концентрации загрязняющих веществ различны [5].

В качестве показателя интенсивности накопления растениями химических элементов используется коэффициент биологического поглощения. По А.И. Перельману, при значении коэффициента биологического поглощения больше единицы химический элемент накапливается. Если коэффициент биологического поглощения меньше единицы, химический элемент лишь захватывается (поглощается).

Сравнивая ряды интенсивности биологического накопления (построенные на основе рассчитанных коэффициентов биологического поглощения) дубом в ландшафтах пойменных лесов Северо-Западного Кавказа и Каменского ТПК; тополем в пойменных лесах Каменского ТПК и Новороссийского района, можно утверждать следующее.

Молибден и медь являются элементами биологического накопления дубом и тополем в пределах территорий с разным антропогенным воздействием. Однако, в зависимости от интенсивности техногенной нагрузки, степени загрязнения (величин концентраций) объектов окружающей среды (почв, грунтовых вод, атмосферного воздуха) тяжелыми металлами, в их числе молибден и медь, значения коэффициентов биологического поглощения отличаются. В геохимических ландшафтах, с наиболее высокими концентрациями тяжелых металлов в почве, молибден и медь занимают первые позиции в ряду биологического накопления, по сравнению с аналогичными ландшафтами, отличающимися менее высокими содержаниями поллютантов.

Цинк в пределах территорий, в которых он является основным загрязнителем, наиболее интенсивно, в отличие от других металлов, накапливается тополем. В геохимических ландшафтах, где наиболее высоки концентрации других поллютантов, цинк является элементом биозахвата тополем. Дуб, в отличие от тополя, накапливает цинк в ландшафтах с различной техногенной нагрузкой. Коэффициенты биологического поглощения дубом цинка отличны, в зависимости от содержания его в почвах: чем больше концентрация цинка в

почве, тем интенсивнее он накапливается.

Барий, марганец, свинец, никель и хром являются элементами биологического поглощения тополем. Коэффициенты их биологического поглощения изменяются в зависимости от содержания в объектах окружающей среды. Интересно заметить, что никель, титан и хром являются элементами биозахвата и дубом, и тополем в ландшафтах с различной техногенной нагрузкой; меняются лишь коэффициенты их биологического поглощения. В ландшафтах с незначительной техногенной нагрузкой дубом наиболее интенсивно накапливается марганец, образующий наименее устойчивые металлорганические комплексы, легче остальных металлов переходящий в воднорастворимую форму, являющийся наиболее биофильным.

В ландшафтах, где основными загрязняющими веществами являются соединения меди, цинка, свинца, молибдена, накапливаются дубом интенсивнее остальных именно данные металлы. Однако, молибден, медь, цинк накапливаются и в ландшафтах, в которых техногенное загрязнение фактически отсутствует, но уступая первой позиции более биофильные металлы. Барий менее интенсивно, чем молибден, цинк, медь, но все же накапливается дубом, не зависимо от техногенной нагрузки. Свинец в условиях незначительного техногенного воздействия поглощается дубом, в случае его высокого содержания в почве – накапливается.

Тополь является биогеохимическим барьером для тяжелых металлов, отличающихся наиболее высоким содержанием в объектах окружающей среды. Необходимо его использование на территориях, испытывающих интенсивное техногенное загрязнение определенным химическим элементом.

Дуб является биогеохимическим барьером для большего числа тяжелых металлов, однако, накапливает их в меньших количествах. Необходимо его использование в пределах территорий с широким спектром загрязняющих веществ (тяжелых металлов).

1. Санникова А.Б. Тяжелые металлы в почвах и растениях геохимических ландшафтов Северо-Западного Кавказа. / Диссертация на соискание уч. степени канд. геогр. наук.–М., 2005.
2. Алексеенко В.А., Бофанова А.Б. Количественная оценка накопления химических элементов в почвах техногенных ландшафтов Западного Кавказа. // Известия ТРТУ.– 2001. – № 2 (20).– С. 85-89.
3. Санникова А.Б. Особенности региональной политики в сфере здравоохранения на примере Краснодарского края / В сб.: Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте. Труды XXVI Международной конференции.– Новороссийск, 2018.– С. 150–151.
4. Алексеенко В.А., Суворинов А.В., Санникова А.Б., Череп Е.И. Эколого-геохимические исследования: учебное пособие.– Краснодар: КубГТУ, 2003.– 170 с.
5. Алексеенко В.А., Бофанова А.Б., Головинский П.Л. К вопросу о возможном объединении парагенетических ассоциаций геохимических ландшафтов при ландшафтно-геохимическом картографировании территорий суши и прибрежных участков для целей охраны природы. // В книге: Развитие социально-культурной сферы Кубани.–Анапа, 1998.– С. 35-37.

УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ НА ЮГЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

А.Б. Санникова

(Новороссийский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Новороссийск, anna.san@bk.ru)

Статья посвящена проблеме экологически безопасного и устойчивого развития живых организмов в условиях природного и техногенного загрязнения тяжелыми металлами ландшафтов юга Краснодарского края (Северо-Западного Кавказа). Работа основывается на результатах качественной и количественной эколого-геохимической оценки состояния территории, выделении зон аномальных концентраций тяжелых металлов в почвах и растениях, а также на мониторинговых исследованиях произошедших изменений, полученных при сотрудничестве с НИИ Геохимии биосферы ЮФУ.

Ключевые слова: живые организмы, экологический мониторинг, загрязнение, тяжелые металлы, почвы, растения, изменения, аномалии, устойчивое развитие.

This article deals with the environmentally safety and sustainable development of the living organisms in a natural and technogenic pollution with the heavy metals landscapes at the South of Krasnodar region (North-Western Caucasus). This work is based on the results of qualitative and quantitative ecological and geochemical assessment of the territory status, the allocation of zones of the heavy metals anomalous concentrations in the soils and plants, as well as monitoring studies of the changes studied in the cooperation with Research Institute of Geochemistry of the biosphere SFU.

Keywords: living organisms, ecological monitoring, pollution, heavy metals, soils, plants, changes, anomalous, sustainable development.

Согласно В.И. Вернадскому, самое деятельное, а во многих случаях и решающее, воздействие на миграцию и концентрацию химических элементов, приведшее к современному облику биосферы, оказали сами организмы. Но, как известно, в процессе жизни и развития организмы не только создают определенные внешние условия в среде обитания, но и сами становятся зависимыми от них. Если изменение условий среды происходит катастрофически быстро (в сопоставлении с геохронологической шкалой), становятся возможными более частые мутационные изменения в организмах и вымирание отдельных видов. К сожалению, в последние десятилетия под влиянием техногенеза это случается все чаще [1]. Понятно, что техногенные факторы влияют и на безопасность жизнедеятельности самих людей. Человеческий организм, составное звено биосферы, испытывает как непосредственное негативное влияние различного рода загрязнений объектов биосферы (например, атмосферы), так и косвенное, получая химические элементы и их соединения в токсичных концентрациях с водой, животной и растительной пищей, поступающих из загрязненных мест [2].

Юг Краснодарского края с курортами Черноморского побережья является одной из важнейших рекреационных зон России. Значительная часть площади региона занята биогенными (природными) ландшафтами: лиственными, смешанными, хвойными лесами, субальпийскими и

альпийскими лугами. Однако, все большие площади лесов становятся техногенными ландшафтами. Опасны ли для живых существ, и в частности, человеческого организма, такие концентрации тяжелых металлов, которые находятся в настоящее время в горных породах, почвах, основных видах растительности региона?

Сопоставляя величины показателей абсолютного накопления тяжелых металлов в почвах, можно заключить, что в настоящее время на юге Краснодарского края влияние «природного загрязнения» (месторождений и рудопроявлений металлических полезных ископаемых и месторождений нефти и газа) в 7-20 раз интенсивнее техногенного (преобразования лиственных лесов в агроландшафты и населенные пункты). Но при техногенном загрязнении происходит более интенсивное перераспределение большого количества химических элементов. И хотя между содержаниями элементов в организмах и в среде их питания нет строгой прямой зависимости, в зонах техногенного загрязнения практически всегда повышены содержания загрязняющих веществ и в организмах [3]. Кроме этого, в выращиваемой сельхозпродукции часто выражен недостаток биофильных микроэлементов. В связи с этим, при выборе мест расположения населенных пунктов, агроландшафтов и другого необходимо учитывать результаты качественной и количественной оценки эколого-геохимических особенностей ландшафтов региона [4].

Абсолютный разброс концентраций тяжелых металлов в почвах геохимических ландшафтов юга Краснодарского края не превышает значений их абсолютного разброса в почвах и породах земной коры, что свидетельствует об отсутствии возникновения критических условий для живых организмов [5]. В настоящее время концентрации тяжелых металлов в ландшафтах региона не угрожают безопасности и устойчивому развитию живых организмов. Но в почвах техногенных ландшафтов региона, по сравнению с природными, выявлено увеличение (в 2 раза) абсолютного разброса фоновых концентраций Cu, Pb и уменьшение (в 3 раза) – Mn (наиболее биофильного из рассматриваемых тяжелых металлов).

Сопоставление значений относительного накопления тяжелых металлов, рассчитанных по отношению к их кларковым и фоновым содержаниям, также позволяет утверждать, что геохимические особенности почв, наиболее распространенных в регионе техногенных ландшафтов, значительно отличаются от геохимических условий, привычных для эволюционного развития живых организмов. Мониторинговые исследования, проведенные за 15-летний период, выявили увеличение до 2-х раз фоновых содержаний Cu, Pb, Sr, Zn, Ba, Ni, Cr, Ti в почвах региона. Данные тенденции изменений концентраций тяжелых металлов под влиянием техногенных факторов миграции в целом сохраняются. И это позволяет давать неблагоприятные прогнозы дальнейшему функционированию экосистем региона.

1. Санникова А.Б. Биологический мониторинг в условиях различной по интенсивности техногенной нагрузки. // Сб. науч. тр. 7-ой Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч-м «Экологические проблемы промышленных

- городов». Ч. 2. Саратов: СГТУ, 2015.– С. 181-185.
2. Санникова А.Б. Особенности региональной политики в сфере здравоохранения на примере Краснодарского края. / В сб.: Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте. Труды XXVI Международной конференции.– Новороссийск, 2018.– С. 150-151.
 3. Санникова А.Б. Тяжелые металлы в почвах и растениях геохимических ландшафтов Северо-Западного Кавказа: диссертация на соискание уч. степени канд. геогр. наук.– М., 2005.
 4. Санникова А.Б. Особенности регионального управления развитием сельского хозяйства в Краснодарском крае. // Фундаментальные исследования.– 2020.– № 5.– С. 155–159.
 5. Санникова А.Б. Экологические аспекты устойчивого развития живых организмов на юге Краснодарского края / В сб.: Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте. Труды XXIV Международной конференции.– Новороссийск, 2016.– С. 146-147.

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ПОЙМЕННЫХ САДОВ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

А.Б. Санникова

(Новороссийский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Новороссийск, anna.san@bk.ru)

Техногенез изменяет направление и интенсивность природной миграции химических элементов. Происходит перераспределение и накопление тяжелых металлов в различных частях ландшафта, и, в первую очередь, в почвах. Это отражается на выращиваемой сельхозпродукции, употребляемой людьми. В результате выполненных исследований было изучено влияние садоводства на накопление ряда металлов в почвах пойменных ландшафтов Черноморского побережья.

Ключевые слова: техногенез, тяжелые металлы, сельскохозяйственные ландшафты, сады, количественная эколого-геохимическая оценка.

Technogenesis changes the direction and intensity of natural migration of chemical elements. Heavy metals are redistributed and accumulated in various parts of the landscape, and primarily in soils. This is reflected in the grown agricultural products consumed by people. As a result of the studies performed, the influence of gardening on the accumulation of a number of metals in the soils of floodplain landscapes of the Black Sea coast was studied.

Keywords: technogenesis, heavy metals, agricultural landscapes, gardens, quantitative ecological and geochemical assessment.

Ландшафты Черноморского побережья испытывают возрастающее антропогенное воздействие – преобразование в сельхозугодья, выбросы промышленных предприятий и транспорта, расширение урбанизированных территорий, а также значительную рекреационную нагрузку. В результате техногенного воздействия происходит изменение направления и интенсивности

природной миграции химических элементов и их соединений, причем их формы поступления часто являются нехарактерными для природных геохимических ландшафтов. Химические элементы и их соединения перераспределяются в различных частях ландшафта, прежде всего, в почвах [1]. В результате выполненных исследований было изучено влияние садоводства на накопление ряда металлов в почвах пойменных ландшафтов Черноморского побережья.

Ландшафты садов можно классифицировать как техногенные ландшафты низкогорья, расположенные в поймах рек, с гидрокарбонатно-кальциевым классом водной миграции в почвах, образованных на четвертичных аллювиальных отложениях[2]. Почвы садов имеют серый цвет, по механическому составу представляют собой средний песчаный суглинок, сложение почв уплотненное, влажность почв средняя, структура ореховатая, корни довольно редки, а щебень в почве занимает 0,15 объема. Почвы фонового лиственного леса отличаются большим содержанием гумуса (темно-серые), сложением (рыхлые), зернистой структурой, корнями, густо пронизывающими почву и щебнем, занимающим 0,1 объема.

Для понимания факторов, которые регулируют концентрацию металла в природных водах, их химическую реакционную способность, биологическую доступность и токсичность, необходимо знать не только валовое содержание, но и долю свободных и связанных форм металла. Многие металлы образуют довольно прочные комплексы с органикой. Большинство органических комплексов образуются по хелатному циклу и являются устойчивыми и труднорастворимыми в обычных условиях. Комплексы, образуемые почвенными кислотами с солями меди, свинца других тяжелых металлов, относительно хорошо растворимы в условиях нейтральной, слабокислой и слабощелочной сред [3]. Тяжелые металлы входят в состав удобрений и пестицидов и могут попадать в водоемы вместе со стоком из сельскохозяйственных [4].

Токсичность металла в результате комплексообразования может сильно измениться. Так, хелатные формы Cu, Pb менее токсичны, нежели свободные ионы. Именно в подвижной воднорастворимой форме химические элементы наиболее доступны живым организмам. А ведь Pb относится к первому классу опасности, а Cu – ко второму. Свинец и медь используются в значительных объемах и в сельскохозяйственной, и в производственной деятельности. В результате накопления во внешней среде они представляют серьезную опасность с точки зрения их биологической активности и токсических свойств.

Согласно стандартным методикам, был проведен анализ водной вытяжки из почв пойменного яблоневого сада. Это ландшафт с гидрокарбонатно-кальциевым классом водной миграции в почвах на четвертичных аллювиальных отложениях. При определении наличия в водной вытяжке ионов хлора во всех пробах наблюдалось помутнение раствора и выпадение небольшого количества осадка хлорида серебра. Следовательно, можно сделать вывод о наличии в почве хлор-ионов. При определении наличия в водной вытяжке сульфат-ионов раствор большей части проб помутнел, образовалась белая муть. Это подтверждает концентрацию сульфатов в

почве исследуемого ландшафта пойменного сада.

Измеренное с помощью рН-метра и рассчитанное среднее арифметическое значение щелочности почв по водной вытяжке 250 отобранных почвенных проб составило 8,2. Можно сделать вывод, что почва сада имеет слабощелочную среду. Определенная максимальная гигроскопичность почвы ландшафта пойменного яблоневого сада составила 0,122 %.

Рассчитанное фоновое содержание свинца в водной вытяжке из почвы пойменного яблоневого сада составило 2,14 мг/кг. А фоновое содержание меди в водной вытяжке из почвы сада составило 6,14 мг/кг. Подвижным формам уделялось основное внимание, так как они являются наиболее доступными для живых организмов. Если содержания тяжелых металлов в подвижных формах превышают нормирующие показатели, то обстановка угрожает безопасности жизнедеятельности организмов [4].

Полученные содержания металлов, извлеченных водной вытяжкой из почв сада некорректно сравнить с ПДК подвижных форм, так как они рассчитывались для аммонийно-ацетатного буферного раствора с рН 4,8, поэтому их сопоставили с кларком для почв по А.П. Виноградову. Фоновое содержание подвижной формы Cu превышает кларк в 3 раза, а содержание Pb - в 2 раза. При этом содержания подвижных форм меди и свинца в почве сада составляют соответственно 5,2 % и 5,5 % их валовых концентраций. Можно предположить существенное загрязнение почв сада данными металлами.

Таким образом, результаты количественной оценки загрязнения почв ландшафтов садов тяжелыми металлами показали:

- за 10 лет возделывания данной сельхозкультуры валовые концентрации Mn, Ni, Pb, Cr, Zn, Sr, Cu возросли в 1,6–3,2 раза соответственно;
- валовые фоновые концентрации Mn, Ba, Sr, Zn, V, Ni, Pb, Co, Cu в почве яблоневого сада превышают кларковые значения от 1,5 (Ba, V) до 6 (Cu) раз;
- валовые фоновые концентрации Mn, Ni, Pb, Cr, Zn, Cu, Sr в почве сада превышают региональные фоновые концентрации Северо-Западного Кавказа от 1,5 (Pb, Mn) до 7,4 раз (Sr);
- валовые фоновые концентрации Co, Mo, V, Ba в почве сада практически не изменились за 10 лет, при этом они приближаются к значениям регионального фона;
- валовая фоновая концентрация Cu приближается к ОДК, фоновые концентрации Mn и Pb приближаются к ПДК, а Zn, Ni, Pb - меньше ОДК соответственно в 1,5–3,0 раза.
- в результате расчета ПАН было установлено, что в верхнем 30-сантиметровом слое почвы яблоневых садов накапливается тяжелых металлов от 0,6 (Ni) до 100,2 (Cu) т/км²;
- согласно величинам ПОН, рассчитанным относительно фоновых содержаний в почве леса, Cu, Sr, Cr, Zn, интенсивно накапливаясь в почве ландшафта сада, оказывают, по предварительной оценке, большее, чем остальные металлы, влияние на выращиваемую

- сельскохозяйственную продукцию и все живые организмы ландшафта;
- рассчитанные коэффициенты концентрации (Кс) тяжелых металлов в почве яблоневого сада, по сравнению с региональным фоном Северо-Западного Кавказа, имеют следующие значения: Sr – 7,4; Cu – 2,3; Zn – 2,2; Cr – 1,7; Pb, Ni, Mn – 1,5;
- согласно рассчитанного суммарного показателя загрязнения почвы яблоневого сада тяжелыми металлами степень загрязнения почвы сада относится к категории допустимого, и по изменениям показателей здоровья населения для данной степени загрязнения почвы характерен низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений;
- фоновое содержание подвижной воднорастворимой формы Cu, наиболее доступной для живых организмов, превышает кларк в 3 раза, а содержание Pb – в 2 раза, они составляют соответственно 5,2 и 5,5 % их валовых концентраций.

Фоновые содержания подвижной формы меди изначально высокие и в природном ландшафте. Следовательно, распределение меди связано не с мелиорацией почв ландшафта сада, внесением удобрений и обработкой пестицидами, а с особенностями горных пород Черноморского побережья Краснодарского края, характеризующихся множеством медных и полиметаллических месторождений. На основе полученных данных можно утверждать, что угрозы безопасности жизнедеятельности организмов в исследованных ландшафтах нет.

Рекомендуется и в дальнейшем продолжать мониторинговые эколого-геохимические исследования полеводческих ландшафтов, изучать изменения фоновых и аномальных концентраций тяжелых металлов в них и тщательно следить за количеством вносимых химических препаратов. Количественная оценка накопления (выноса) химических элементов в почвах необходима для оптимального размещения техногенных ландшафтов, подбора выращиваемых в полеводческих ландшафтах культур, определения вида и количества вносимых минеральных удобрений и используемых пестицидов. Полученные результаты исследований целесообразно использовать для прогноза изменений содержаний тяжелых металлов в почвах при замене биогенных ландшафтов техногенными полеводческими.

1. Санникова А.Б. Тяжелые металлы в почвах и растениях геохимических ландшафтов Северо-Западного Кавказа: дисс. на соиск. уч. ст. к. геогр. н. – М., 2005.
2. Алексеенко В.А., Бофанова А.Б., Головинский П.Л. К вопросу о возможном объединении парагенетических ассоциаций геохимических ландшафтов при ландшафтно-геохимическом картографировании территорий суши и прибрежных участков для целей охраны природы // В книге: Развитие социально-культурной сферы Кубани. – Анапа, 1998. – С. 35–37.
3. Алексеенко В.А., Суворинов А.В., Санникова А.Б., Череп Е.И. Эколого-геохимические исследования: учебное пособие. – Краснодар: КубГТУ, 2003. – 170 с.
4. Санникова А.Б. Особенности региональной политики в сфере

здравоохранения на примере Краснодарского края. / В сб.: Лазерно-информационные техноло-гии...Тр.ХХVI Междунар.конф.– Новороссийск, 2018.- С. 150–151.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ООПТ «СУДЖУКСКАЯ ЛАГУНА» В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2022 ГОДА

Н.А. Дмитриева, Е.О. Еремина, И.Ю. Матасова, Е.Е Сеничкина

(филиал ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» -

Новороссийский учебный и научно-исследовательский морской биологический
центр,

Новороссийск, biozentr@yandex.ru)

Рассмотрены результаты гидрохимических исследований гидрохимических показателей ООПТ «Суджукская лагуна» в летний период 2022 г. Сравнение результатов исследований с установленными предельно-допустимыми концентрациями позволило дать оценку качества воды исследуемой акватории. Полученные данные могут быть использованы при мониторинговых исследованиях состояния морской воды в условиях хронической антропогенной, в частности рекреационной, нагрузки.

Ключевые слова: особо охраняемая природная территория, памятник природы, Суджукская лагуна, гидрохимические показатели, индекс загрязнения воды.

The results of hydrochemical studies of hydrochemical indicators of the protected area «Sudzhuk lagoon» in the summer of 2022 are considered. Comparison of the research results with the established maximum permissible concentrations allowed us to assess the water quality of the studied water area. The data obtained can be used in monitoring studies of the state of seawater under conditions of chronic anthropogenic, in particular recreational, stress.

Keywords: specially protected natural area, natural monument, Sudzhuk lagoon, hydrochemical indicators, water pollution index.

Суджукская лагуна расположена на северо-востоке Чёрного моря у входа в Новороссийскую бухту. От бухты лагуна отделена с востока пересыпью, сложенной галькой, илом и песком шириной 25-70 м и с юга галечной косой шириной 10-15 м. В корневой части пересыпь плавно примыкает к коренному берегу. С морем лагуна соединяется небольшим прораном (каналом), образовавшимся в косе почти у самого материкового берега. Общая площадь лагуны 30 га.

Суджукская лагуна вместе с прилегающей к ней территорией объявлена памятником природы решением Новороссийского горисполкома от 26.06.1979 г. № 328, решением крайисполкома от 14.09.1983 г. № 488. Лагуна имеет большое экосистемное значение, играя существенную роль в нагуле рыбы и зимовки водоплавающих птиц.

В представленной работе проанализированы данные гидрохимических показателей. Отбор проб проводили в июле 2022 г. Всего для химического анализа 5 проб воды: 4 пробы на акватории лагуны (одна в центральной части, три – в прибрежной части у коренного берега, северного окончания и вершины Суджукской косы) и одна – на выходе из лагуны в Цемесскую бухту (проран). Воду исследовали на следующие химические показатели по

стандартным методикам: растворённый кислород, солёность, водородный показатель, БПК₅, СПАВ, ион аммония, нитрит-ион, нитрат-ион, фосфат-ион, нефтепродукты, взвешенные вещества.

Температура воды во время отбора проб составила 29-30 °С. Водородный показатель отобранных проб воды колебался в диапазоне 9,17-9,99 ед. рН. Солёность воды в лагуне закономерно снижается от прорана (14,35 ‰) к наиболее удалённому от прорана участку у северного основания Суджукской косы (10,72 ‰).

Концентрация взвешенных веществ во всех отобранных пробах превышает установленную величину ПДК в 1,4-4,1 раза. Наибольшее содержание взвешенных веществ отмечено в прибрежной зоне у северного основания и у вершины Суджукской косы.

В пробах воды, отобранных у прорана и в центральной части Суджукской лагуны (в зоне относительно интенсивного водообмена) по всем остальным исследуемым показателям соответствовала нормативам для рыбохозяйственных водоемов. Во всех пробах воды, отобранных в прибрежной части лагуны, отмечено превышение ПДК по показателю «нитриты» (в 1,1-1,5 раза). Кроме того, в пробе воды, отобранной у северного окончания Суджукской косы (в условиях наиболее затрудненного водообмена), превышена ПДК для фосфат-иона, БПК₅, а также снижено (относительно норматива) в 1,1 раза содержание в воде растворенного кислорода.

Полученные данные могут быть использованы при мониторинговых исследованиях состояния морской воды в условиях хронической антропогенной, в частности рекреационной, нагрузки.

ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ АССОЦИАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВ ЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ

И.Ю. Матасова

(филиал ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» -
Новороссийский учебный и научно-исследовательский морской биологический
центр,
Новороссийск, biozentr@yandex.ru)

Представлены результаты оценки парагенетических геохимических ассоциаций химических элементов в почвах лиственных лесов Черноморского побережья посредством корреляционного, кластерного и факторного анализа.

Ключевые слова: Черноморское побережье, почвы, лиственных лес, геохимическая ассоциация, тяжелые металлы, статистическая обработка геохимических данных

The results of evaluation of paragenetic geochemical associations of chemical elements in the soils of deciduous forests of the Black Sea coast by means of correlation, cluster and factor analysis are presented.

Keywords: Black Sea coast, soils, deciduous forest, geochemical association, heavy

В работе представлены результаты оценки парагенетических ассоциаций, формирующихся в почвах биогенных ландшафтов на примере широко распространенного в регионе ландшафта лиственных лесов, развитого над карбонатно-терригенными отложениями мел-палеогенового возраста. Основой для исследования стали результаты комплексного изучения юга России [1-3]. В 138 пробах было проведено определение содержания 15 элементов (Cu, Co, Ni, V, Cr, Ti, Zn, Sn, Pb, Ag, P, Mo, Ba, Sr, Mn) методом эмиссионной спектроскопии. Статистическая обработка (с $\alpha=0,95$) включала корреляционный, кластерный и факторный анализ посредством программ Statistica 12.0 и Microsoft Office Excel.

Корреляционный анализ показал высокую степень корреляции для пар (при $r_{\text{крит}}=0,17$ и $\alpha=0,95$): Co-Ni ($r=0,78$), Co-Mn ($r=0,66$), Zn-Sn ($r=0,64$).

Согласно проведенному кластерному анализу по методу $K_{\text{средних}}$ значимой геохимической ассоциацией в исследуемых ландшафтах являются {P-Ag-Sn-Zn}, {Mo-Ba}, {Pb-Co-Ni-Mn}, {Ti-V-Cr}.

Для отражения процессов миграции исследуемых элементов использовался факторный анализ. Отбор значимых факторов с использованием критерия «каменистой осыпи» установил, что при оценке геохимических особенностей почв исследуемого ландшафта следует ограничиться 4 факторами.

Высокие факторные нагрузки распределились по факторам, связанным с процессами миграции исследуемых элементов высокой положительной корреляционной связью) следующим образом:

- фактор 1 (F1) – фактор {Co, Ni, Mn};
- фактор 2 (F2) – фактор {Zn, Ag, Sn};
- фактор 3 (F2) – фактор {Ti, V, Cr};
- фактор 4 (F4) – фактор {Ba}.

Факторы могут обусловлены как геохимическими свойствами самих элементов, так и ландшафтно-геохимическими условиями почв рассматриваемого ландшафта. Так, фактор F1 может быть связан с совместным соосаждением Co и Ni на соединениях Mn.

1. Результаты деятельности комиссии по геохимии ландшафта и техносферной безопасности КРОРГО / В. В. Дьяченко, Л. Г. Дьяченко, Ю. А. Малыхин и др. // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. Краснодарское региональное отделение всероссийской общественной организации «Русское географическое общество». – Краснодар: ИП Платонов Игорь, 2017. – С. 214-225. EDNZUKZTZ.
2. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Геохимический мониторинг почв Краснодарского края. // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов: Материалы XIII Международной ландшафтной конференции: в 2 томах, Воронеж, 14–17 мая 2018 года. – Воронеж: Издательство Истоки, 2018. – С. 319-320. EDNLYMZBB.

3. Матасова И.Ю. Особенности распределения ряда элементов в почвах ландшафтов Черноморского побережья России. // Технологии, экономика и управление: анализ мировых и отечественных тенденций и перспектив развития: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Новороссийск, 20–21 декабря 2018 года / Отв. редакторы: Н. А. Овчаренко, Т. В. Лохова.–Новороссийск: Пензенский государственный университет, 2018.– С. 31-39. EDNJUSDVT.

ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ НАНОКАТАЛИЗАТОРОВ

¹А.Е. Воробьев, ²ЧжанЛяньцзы, ¹М.З. Мадаева
(¹ГГНТУ, Москва, ²Пекинский нефтяной университет, КНР)

Рассмотрены основные особенности свойств современных нанокатализаторов, определяемые размерами, геометрией, внутренним строением, химическим составом и др. Показано, что наночастицы, используемые в нанокатализаторах, могут иметь несколько принципиальных морфологий, включая нанотрубки, наносферы, нанолисты, нанокластеры, нанозерна, нановолокна и т.д. При этом наночастицы, используемые в нанокатализаторах, могут иметь несколько принципиальных морфологий, включая нанотрубки, наносферы, нанолисты, нанокластеры, нанозерна, нановолокна и т.д. Эти характеристики определяют, как скорость химических реакций, так и длительность эффективной работы нанокатализаторов. Отдельный интерес представляют комплексные нанокатализаторы, сформированные из двух или более соединений, последовательно вступающих в химические реакции.

Ключевые слова: нанокатализаторы, факторы эффективности, размер, геометрия, строение, химический состав

The main features of the properties of modern nanocatalysts, determined by their size, geometry, internal structure, chemical composition, etc., are considered. It is shown that nanoparticles used in nanocatalysts can have several fundamental morphologies, including nanotubes, nanospheres, nanosheets, nanoclusters, nanograins, nanofibers, etc. e. At the same time, nanoparticles used in nanocatalysts can have several principal morphologies, including nanotubes, nanospheres, nanosheets, nanoclusters, nanograins, nanofibers, etc. These characteristics determine both the rate of chemical reactions and the duration of effective operation of nanocatalysts. Of particular interest are complex nanocatalysts formed from two or more compounds sequentially entering into chemical reactions.

Keywords: nanocatalysts, efficiency factors, size, geometry, structure, chemical composition

В настоящее время для увеличения большинства характеристик переработки углеводородного сырья (нефти и природных газов) применяют различные катализаторы, среди которых особо важную роль имеют соединения наноразмерных параметров [1-5]. Нанокатализатор – это вещество, находящее в наносостоянии (когда отношение поверхности к объему достигает 100 %, в результате твердое тело составляет около 100-1 нм, зачастую с участками из трех атомных оболочек и менее), которое существенно увеличивает значение скорости протекания химической реакции, достигаемой путем восстановления требуемой величины энергии активации и изменения требуемой для этой реакции величины температуры.

При этом нанокатализаторы могут быть композитами, соединениями, сплавами или элементарными твердыми телами [6].

Размеры, форма, строение и химический состав наноматериалов, используемых в нанокатализаторах, представляют собой основные параметры, на прямую влияющие на параметры их реакционной способности, селективности и стабильности работы. Так, размер наночастиц катализатора определяющим образом влияет на их каталитическую активность, стабильность работы, обуславливая количество низкокоординированных задействованных атомов, их электронную структуру и т.д.

При этом наночастицы, используемые в нанокатализаторах, могут иметь несколько принципиальных морфологий, включая нанотрубки, наносферы, наноллисты, нанокластеры, нанозерна, нановолокна и т.д. (рис. 1).

Ключевой момент для эффективного использования наноматериалов в каталитических процессах нефтехимии заключается в том, что они имеют гораздо большую площадь поверхности (чем традиционные каталитические материалы). Таким образом, наблюдаются кардинальное изменение большинства поверхностных электронных и стерических свойств, в результате чего возникают более высокие коэффициенты полезного использования входящих в такие каталитические наноматериалы атомов.

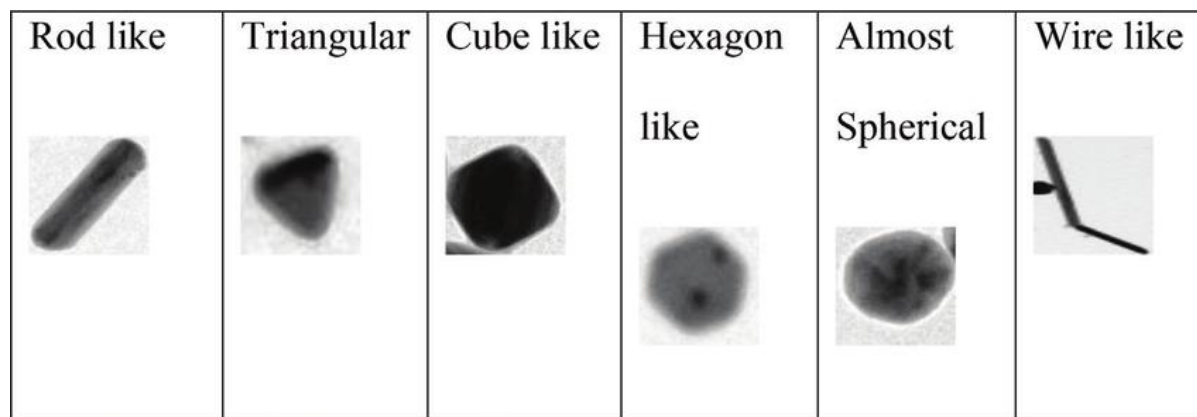


Рисунок 1 – Морфология наночастиц

Однако, при этом и многие другие факторы (такие, как геометрия, степень окисления, возможности межчастичного взаимодействия и их реакционная способность, а также химическая/физическая среда работы) также могут играть значимую роль в определении их возможной реакционной способности.

Отдельный интерес представляют комплексные нанокатализаторы, сформированные из двух или более соединений, последовательно вступающих в химические реакции.

- 1 Воробьев А.Е., Воробьев К.А. Наноматериалы и нанотехнологии: особенности протекания физико-химических процессов. LambertAcademicPublishing. Mauritius.– 2018. – 104 с.
- 2 Воробьев А.Е., Гладуш А.Д. Импортозамещающие нанотехнологии в топливно-энергетическом комплексе России.– М., РУДН, 2014.– 158 с.
- 3 Воробьев А.Е., Гладуш А.Д. Наноинженерия топливно-энергетического

- комплекса. Т2.Наноассоциаты пород и наноминералы.– М., РУДН, 2019.– 411 с.
- 4 Воробьев А.Е., Лысенкова З.В., Тралбесси С.Б. Становление современного рынка наноиндустрии: учебное пособие.– М.: Московский технологический университет (МИРЭА), 2017.– 68 с.
 - 5 Санакулов К.С., Воробьев А.Е., Норов Ю.Д. Начало промышленного применения нанотехнологий в недропользовании.– Ташкент. Фан, 2017.– 496 с.
 - 6 Prinsen P., Luque R. Chapter 1: Introduction to nanocatalysts, in nanoparticle design and characterization for catalytic applications in sustainable chemistry. 2019. pp. 1-36 DOI: 10.1039/9781788016292-00001. eISBN: 978-1-78801-629-2.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКСКУРСИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Е.А. Ермакова, В.В.Вишневецкая

(Новороссийский политехнический институт филиал Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, Россия)

Современные технологии внедряются активно, скоростным темпом. Они влияют на нас и нашу жизнь, становятся неотъемлемой частью нашего бытия, воздействуют практически на все сферы жизнедеятельности и помогают облегчить жизнь, делают ее более проще, а порой и интереснее. Использование электронного гида и QR-табличек на исторических памятниках – все это уже становится реалиями нашей жизни, помогает людям быстро, с наименьшими затратами, находить нужную информацию, и конечно же применять ее по назначению.

Ключевые слова: электронный гид, QR-таблички, исторические памятники, реалии нашей жизни, нужная информация.

Modern technologies are being actively introduced at a quick pace. They affect us and our lives, become an integral part of our being, affect almost all spheres of life and help to make life easier, make it simpler, and sometimes more interesting. The use of an electronic guide and QR-plates on historical monuments – all this is already becoming the realities of our life, helps people quickly, at the lowest cost, find the necessary information, and of course use it for its intended purpose.

Keywords: electronic guide, QR-signs, historical monuments, the realities of our life, the necessary information.

На современном этапе развития общества информационные технологии играют важную и существенную роль в жизни каждого человека. Они проникли практически во все сферы жизни людей, наполнив нашу жизнь яркими и незабываемыми впечатлениями, делая ее легче и проще. Стратегической целью политики Российской Федерации до 2030 г является развитие цифровой экономики и внедрение ее во все сферы жизни человека, с целью осуществления прорывного развития, увеличения численности населения, повышения уровня жизни, создания комфортных условий для граждан, а также раскрытия таланта каждого человека [1].

За последние пару лет в условиях всемирной экономической нестабильности и распространения пандемии COVID-19 использование

информационных технологий перешло на другой более простой и удобный уровень своего развития. Так, вице-спикер нижней палаты Ирина Яровая внесла в Госдуму специальный законопроект, о нанесении на каждый памятник (культурный и архитектурный) код, при помощи мобильного устройства заинтересованный гражданин сможет получить доступ к исторической информации, документам, фото и видео о событиях и героях, в честь которых был установлен тот или иной объект [2].

Нами было предложено разработать QR коды не только для памятников, связанных с историей развития города – героя Новороссийска, края и самой страны, но также обособить архитектурные памятники, которых в городе не так уж и много, рассказать жителям и гостям города об архитекторе, использовании приемов и стилей, преобладающих на период строительства, какие строительные материалы и технологии использовались. Актуальность данного проекта заключается в предоставлении информации населению в форме электронного гида, а также табличек с QR кодами, об архитектурном наследии, о современных тенденциях развития города-героя [3,4].

Цель проекта - предоставить жителям и гостям города доступ к информации об окружающем культурном наследии, об интерактивных экскурсионных методах, открыть новые туристические возможности города, показать историческую и архитектурную красоту не только, центральной части, но и других районов города, осуществить продвижение города-героя на государственном и европейском уровнях, пропагандировать сочетание современных технологий с исторической составляющей, а информацию можно получить, просканировав QR-код мобильным телефоном, и на специальном сайте будет доступна информация об объекте и путь к следующей локации, и все это с использованием современных IT-технологий.

Использование QR-кодов и ряда других, адаптированных к современным требованиям мобильных приложений значительно расширяют познавательные возможности туристов, которые совершают экскурсии, максимально учитывая субъективные предпочтения населения. Требования современного потребителя туристического рынка обуславливают поиски новых подходов к организации экскурсионной деятельности, в частности активного применения инновационных технологий, а их применение имеет целью создание нового или модифицированного продукта, который предлагается потребителю, а также совершенствование качества и ассортимента услуг путем внедрения информационных технологий и современных форм организационно-управленческой деятельности [5].

В общем понимании QR-код — это двумерный штрих-код, который несет в себе информацию, считываемую любым телефоном со встроенной камерой. Благодаря легкому распознаванию человек может моментально занести в свой телефон текстовую информацию, добавлять контакты в адресную книгу, переходить по веб-ссылкам, отправлять смс-сообщения и др.

Электронный гид и QR-таблички могут охватить такие направления как: а) дореволюционные постройки (памятники), архитектор и обоснование их расположения; б) постройки (памятники) времен Советской власти; в)

строительство времен Великой Отечественной войны; г) современные тенденции в реализации архитектурного ансамбля города; д) генплан будущего города с использованием уникальных строительных технологий [6,7].

Для осуществления данного проекта необходимо собрать информацию, выполнить красочные фотографии зданий (памятников) и архитектурных объектов города, создать электронную презентацию с наложением текстовых и звуковых файлов на изображение (озвучивание), QR-табличек. Размещение данной информации можно начать с поисковой страницы города в интернете, с использованием карты города, где будут указаны все исторические объекты города, распространение информации о сайте, о проекте в целом, можно организовать посредством местных СМИ [10].

Наиболее интересным и принципиально новым решением в организации экскурсий и предоставления информации о достопримечательностях города-героя на современном этапе, является организация виртуальных туров. Такие туры создают у человека «эффект присутствия», что позволяет получить наиболее полную информацию об исторических и наиболее важных объектах города. Следует отметить, что существенным преимуществом виртуальных экскурсий-туров является их доступность — независимо от возраста, страны пребывания, финансовых возможностей, социального статуса и т.д., в удобное время, не выходя из дома, есть возможность просмотреть выбранную на сайте виртуальную экскурсию-тур [8,9].

Результаты данного проекта выражаются в повышении туристической и культурной значимости города, формировании и воспитании патриотизма у подрастающего поколения, привитии любви к родному городу, привлечении внимания общественности к сохранению памяти и героизму живущих поколений; инновационное бюджетирование – муниципальное финансирование и привлечение внимания общественности к состоянию памятников истории и архитектурным достопримечательностям города.

- 1 ГОСТ Р 52653-2006 Информационно-коммуникационные технологии в образовании.
- 2 Домненко В.М. Создание образовательных Интернет-ресурсов. Учебное пособие. СПбГИТМО(ТУ), 2002. 104 с.
- 3 Кобозева И.М. Лингвистическая семантика: учеб. пособие. М.: Эдиториал УРСС. 2000. 352 с.
- 4 Осин А.В. Электронные образовательные ресурсы нового поколения: Аналитическая записка. М.: ИИТО ЮНЕСКО. 2011. 12 с.
- 5 Полат Е.С. Интернет на уроках иностранного языка. Иностр. языки в школе. 2001. №2,3.
- 6 Приключенческий художественный мир как мир Добра и мир Зла. Дискурс: Концептуальные признаки и особенности их осмысления: Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск №1. Краснодар: КубГУ, 2007.
- 7 Мусихина О.Н., Вишневецкая В.В. Английский язык. Тесты к ЕГЭ. «Феникс». Ростов-на-Дону. 2012.
- 8 Вишневецкая В.В. Эпитет, как стилистический прием в создании художественного образа персонажа (на материале творчества Томаса Майна

Рида). Объединенный журнал. №4-5. АПН. Москва, 2012.

- 9 Вишневецкая В.В. Лингвостилистические средства создания портрета (на материале художественных текстов Томаса Майна Рида). //Объединенный журнал. № 4-5. АПН. Москва. 2012.
- 10 Ермакова Е.А., Вишневецкая В.В. Электронный гид(аудио-видео) по историческим и архитектурным достопримечательностям и памятникам г. Новороссийска (англо-русский вариант). //Тенденции развития науки и образования. №85. ч.№7. Самара. 2022. С. 116-119.

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.technosphaera.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.technosphaera.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.



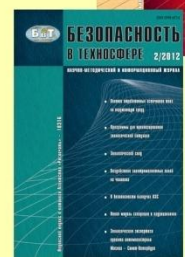
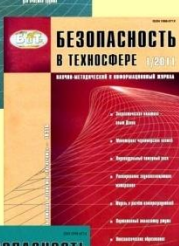
2008 г.

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

POST DEADLINE СЕКЦИЯ

**Солдатов А.Н., Шумейко А.С., Прокопьев В.Е., Васильева А.В.,
Чаусова Л.Н.**

Энергетические и спектроскопические исследования генерации на
электронных переходах атома и иона бария при возбуждении
высоковольтным импульсным разрядом195

Контарев А.А.

О кризисе технического идеала современности196

Веремьев Н.К., Веремьев К.Н., Баранов С.Е., Сикорский В.И.

Способ регенерации электродов электрофильтра213

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕНЕРАЦИИ НА ЭЛЕКТРОННЫХ ПЕРЕХОДАХ АТОМА И ИОНА БАРИЯ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ РАЗРЯДОМ

А.Н. Солдатов, А.С. Шумейко, В.Е. Прокопьев, А.В. Васильева, Л.Н.

Чаусова

(Томский государственный университет, Томск, general@tic.tsu.ru)

Представлены результаты экспериментальных исследований генерационных характеристик лазера на электронных переходах атома и иона бария при возбуждении рабочей смеси паров бария в смеси с инертными газами гелием и неоном высоковольтным импульсным разрядом. Предложена конструкция газоразрядной кюветы, которая позволяет увеличить срок службы активной среды вплоть до 600 часов/

Ключевые слова: лазера на электронных переходах атома и иона бария, генерационные характеристики, газоразрядная кювета, срок службы, активная среда

The results of experimental studies of the generation characteristics of a barium atom and ion electronic transition laser upon excitation of a working mixture of barium vapor in a mixture with inert gases helium and neon by a high-voltage pulsed discharge are presented. The design of the gas-discharge cell is proposed, which makes it possible to increase the service life of the active medium up to 600 hours.

Keywords: lasers based on electronic transitions of barium atom and ion, lasing characteristics, gas-discharge cell, service life, active medium

Представлены результаты экспериментальных исследований генерационных характеристик лазера на электронных переходах атома и иона бария при возбуждении рабочей смеси паров бария в смеси с инертными газами гелием и неоном высоковольтным импульсным разрядом. Предложена конструкция газоразрядной кюветы, которая позволяет увеличить срок службы

активной среды вплоть до 600 часов.

Представлены обзорные спектры излучения рабочей среды в видимой и в ближней инфракрасной (ИК) областях от 200 нм до 1200 нм, а также, спектр излучения плазмы разряда в ультрафиолетовой области от 330 нм до 430 нм со спектральным разрешением 0,025 нм.

Получена генерация излучения на двух красных линиях 614,2 нм и 649,7 нм и ИК линиях в диапазоне 1,13 ÷ 2,92 мкм, а также зарегистрировано слабое усиление на двух рекомбинационных УФ линиях 389,1 нм и 413,2 нм в послесвечении разряда.

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

Солдатов А.Н. Шумейко А.С. Патент РФ №193604

О КРИЗИСЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ИДЕАЛА СОВРЕМЕННОСТИ

А.А. Контарев

(Ростовский юридический институт МВД России, Ростов-на-Дону)

В статье рассматриваются принципы взаимосвязи технического идеала с философией, политикой и правом на основе анализа его социальной сущности и реализации в различных социальных сферах. Автор акцентирует внимание на правовой реализации технического идеала в современном обществе, рассматривая основные проблемы в данной сфере. Большое внимание автор уделяет вопросу о кризисе современного технического идеала и необходимости его трансформации в соответствии с изменяющимися социальными приоритетами.

Ключевые слова: философия, политика, право, технический идеал, правовое обеспечение, кризис технического идеала, современное общество.

The article observes the principles of elaboration of technical ideal and philosophy, policy and law analyzing social essence of technical ideal and implementation of it in different social spheres. Author appreciates the legal provision of state technical ideal in contemporary society, and exposes principal problems of this sphere. Particularly author sets the question of contemporary technical ideal crisis, and needs of new ideal transforming with respect to changing of social priorities.

Keywords: philosophy, policy, law, technical ideal, legal provision, technical ideal crisis, contemporary society.

Та банальная истина, что в мире нет ничего идеального, свидетельствует

не об отсутствии идеалов, но, напротив, о том, что идеалы являются краеугольным камнем нашего бытия, действуют в каждом акте нашего поведения, познания, деятельности, определяя их смысл и значение в контексте социально признанных мировоззренческих доминант, создавая необходимые духовно-ценностные условия интеграции индивидов в общество, их историческое существование. Так, мысль о несовершенстве общества, государства, человека, красной нитью проходящая через все классические философско-правовые учения, могла возникнуть лишь в контексте достаточно отчетливых ясно сформулированных идеалов, дающих возможность столь же ясной и отчетливой их оценки, определяющей пути устранения данного противоречия посредством совокупности конкретных действий, направленных на *совершенствование*.

Когда мы говорим, что в мире нет ничего идеального, мы тем самым подтверждаем существование некоей идеальной основы мира, при этом совершенно необязательно, будучи осведомленными о теории идей Платона или учении о форме и содержании Аристотеля, о трансцендентальных идеях Эммануила Канта, об идеальном обществе утопистов, идеалах коммунистического общества марксистов или либеральном идеале правового государства Хайека, мы лишь свидетельствуем, что наша жизнедеятельность имеет внутреннюю безусловную мотивацию, позволяющую делать мир целостной реальностью в виде совокупности идей, ценностей, принципов, норм, знаний и пр., всего того, что принято именовать мировоззрением, позволяющим человеку быть личностью как носителю соответствующей культуры, субъектом общественных отношений, ответственным за состояние этого несовершенного мира именно потому, что мы знаем каким он на самом деле должен быть. Поэтому крах идеалов, которым изобилует как древняя, так и современная история, всегда рассматривался как крушение основ бытия (Апокалипсис), а выход из него, его преодоление - как становление новых идеалов и рождение нового мира. Именно этим характеризуется современная эпоха – переоценкой старых и рождением новых ценностей и идеалов, что наиболее полное выражение находит в такой глобальной проблеме современности как кризис духовности,

свидетельствующей об утрате традиционных идеологических ориентиров и на уровне философии, политики и права отражаемом в поиске новых парадигм миропонимания, политического и правового порядка.

По мнению автора, трансформация технического идеала как апофеоза научно-технического разума классической эпохи, венчающего рационализацию ценностного контекста уходящей эпохи, переоценка его значения и роли в современном обществе является ярким свидетельством этих процессов, что и объясняет необходимость анализа его импликаций в философии, праве и культуре.

В справочной литературе идеал определяется как «образец, нечто совершенное, высшее, как правило, практически недостижимая цель стремлений»[8.417]. Либо как «1. То, что составляет высшую цель деятельности, стремлений. 2. Совершенное воплощение чего-нибудь. 3. Наилучший вид, элитный образец чего-нибудь» [11]. Философский энциклопедический словарь дает такое определение: «идеальный образ, определяющий способы мышления и деятельности человека и общественного класса. Формирование природных предметов сообразно идеалу представляет собой специфически человеческую форму жизнедеятельности, ибо предполагает специальное создание образа цели деятельности до ее фактического осуществления» [13.202].

Так или иначе, как правило, в философии давно сложилась традиция рассматривать идеалы как форму духовности и высший регулятив деятельности [4]. Разнообразие точек зрения по этому вопросу в целом не выходит за рамки такой интерпретации. Большинство исследователей видят в идеале духовное выражение соответствующей нормы, образца, отличающегося от повседневной действительности и обладающего побудительной силой к действию, образ совершенства, на который равняются люди в своей деятельности. Так, вещество природы, формируемое на основе идеала, есть именно человеческий (присущий лишь человеку) вид деятельности [7.195]. То есть, он выступает высшей целью деятельности субъекта, в качестве ориентира, который направляет общественно-историческую практику в целом и деятельность отдельно взятого человека [16]. Поэтому в идеале отражены конечные цели как индивидуальной,

так и совместной деятельности в качестве некоей обязательной программы [5].

Таким образом, идеалы есть духовная форма, в которой выражено отношение к действительности. Объект как социальная материя, дан в идеале в той мере и в таком ракурсе, который задан интересами субъекта, посредством его отношения к объективной реальности. Во всяком ценностном суждении, представленном на уровне идеала, содержится идеологическая рефлексия по поводу деятельности субъекта, включенного в процесс развития социальности. Так, в ценностных характеристиках объективируются те стороны и свойства осваиваемого в мысли предметного мира, которые практически выделены субъектом, как включенные в спектр его субъективной деятельности.

Поэтому в основе идеалов лежат ценности и интересы, которые в контексте универсальной трактовки мира также приобретают универсальное значение [6]. Так, любая деятельность, включающая ценностно-духовные образования, определяющие соответствующую нормативность, как человеческих отношений, так и отношения мира и человека, не может быть осмыслена вне идеалов, которые следует рассматривать в качестве итога перехода ценности в должное, происходящего в результате рационализации ценностного отношения к миру, ведущей к соответствующей нормативности. Это, в частности, означает, что в контексте философской постановки проблемы объективно возникает вопрос о смысле деятельности, ответ на который возможен лишь на основе раскрытия содержания соответствующих идеалов.

Подразумевая то, что деятельность всегда конкретна благодаря своей предметной определенности, совокупности объектных и субъектных характеристик, необходимо сказать, что не существует деятельности как таковой. То есть, она всегда конкретна в контексте цели, средств и прогнозируемых результатов, определяющих ее видовые особенности, которые, в свою очередь выражаются и в особенностях идеала как ее внутреннего мотивационного фактора в виде образа цели как должного, задающего нормативность субъект-объектного взаимодействия. Так, поскольку есть резон говорить об экономической, политической, юридической и пр. деятельности, то есть резон говорить и об экономическом, политическом, правовом и пр. идеалах.

Очевидно, что в данной интерпретации идеалы иерархичны, выражая тот или иной уровень совокупной деятельности, один из которых с необходимостью рассматривается как более фундаментальный (базисный) по отношению к другому. Так, известно, что в контексте общественных отношений именно производственные (экономические) отношения выступают в качестве базиса по отношению к политическим и правовым (надстроечным) отношениям, что и определяет экономическую деятельность как более фундаментальную (первичную). Между тем, в такой интерпретации из поля зрения выпадает другое более фундаментальное отношение, которое, очевидно, не может быть сведено к виду экономических отношений – отношение человека и природы, опосредованное техникой, т.е. техническая деятельность. Дело в том, что техника не может быть сведена к средствам производства или орудиям труда, равно как и к иным экономическим факторам, поскольку она стоит на грани отношения общества и природы [12]. При этом «...искусственными, т.е. преобразованными, являются не только материалы, у которых человеком изменены химические структуры, но, в определенной мере, искусственными являются даже те материалы, у которых изменена только внешняя форма, ибо уже изменение внешней формы позволяет изделию выполнить такие функции, которые иначе для этого материала были бы невозможны» [12.27]. Так, например, определенным образом обработанный кусок дерева или камня способен выдержать высокие нагрузки, что было бы неосуществимо при сохранении природы этого вида материала.

Такое понимание техники и технической деятельности выводит на новый уровень обобщения, связанный с ее интерпретацией как отношения человека и природы, опосредованного техническими объектами, где использование и обработка материала природы с целью передачи и преобразования энергии определяют характер, исторически доступные способы их взаимодействия, закрепленные в соответствующей нормативности. Здесь речь идет о *техническом* как фундаментальной для человеческой жизнедеятельности сфере, раскрывающей природу человека как мыслящего, целеполагающего существа, преобразующего мир, включающем в этом акте преобразования как природу, так и самого человека [3], обуславливающим соответствующий идеал данного

отношения, закрепляемый в исторически обусловленной форме мифологии, религии, философии, морали, политической и правовой идеологии, других формах.

В данном контексте можно сказать, что техническое представляет собой конкретно-исторический способ жизнедеятельности человека, осуществляемый в форме социально-определенных принципов передачи и преобразования энергии, является фактором культуры и реализуется через нормы, ценности и традиции интерпретации отношения человека и природы существующей исторической формы культуры. Духовной основой технического выступает технический идеал, выражающий противоречивую связь между объективированным техническим (технической реальностью) и техническими потребностями. По своему содержанию он включает познавательные, социологические характеристики технической деятельности, позволяющие рассматривать способы ее организации, нормы и регуляторы технического творчества, механизмы интеграции субъектов посредством системы образования, подготовки инженерных кадров, формирования традиций, оказывающих нормативное влияние не только на техническую, но и на всю социальную реальность.

Такая трактовка технического идеала позволяет объяснить его роль в разных типах общества. Так, в Древнем Египте его роль довольно велика, о чем свидетельствует положительная оценка техники, ремесел, земледелия в этом обществе, которые рассматриваются как божественные, поскольку бог Птах научил древних египтян этим искусствам. Однако если в древнеегипетском обществе это осмысливалось как установление баланса в мире, то в Древней Греции все это означало нарушение указанного баланса, которое произошло после передачи людям, находившимся в диком состоянии, Прометеем божественного огня, олицетворявшего техническое (*techne*). Между тем, Прометей – это герой древних греков, а техническое рассматривается как подаренная им возможность жить самостоятельно и независимо от богов. В Христианстве же с техническим идеалом связан миф о первородном грехе, с древом познания, с которого нельзя было вкушать плоды. Змей, искусивший Еву обещанием сравниться с богами - отрицательный образ, а полученные

знания и умения от вкушения плода, положившие начало человеческой истории – проклятие. Очевидно, именно поэтому в христианской традиции технический идеал остается на периферии мировоззрения, а техническая деятельность имеет для развития иные импульсы, коренящиеся не в духовной, а в материальной сфере.

Следует предварительно сказать, что идеал как социальный феномен, содержание которого обусловлено социально значимыми интересами, устойчивым ценностным отношением как к реальности в целом, так и к отдельным ее фрагментам, что культивирует соответствующую нормативность общественных отношений, есть процесс, в ходе которого происходит его концептуализация в исторически доступных формах (мифология, религия, философия), которая является условием его последующей реализации в различных сферах культуры. Так, идеалы древнегреческого общества вписываются в его космоцентристское миропонимание, выражаемое философскими учениями и закрепляемое религиозной доктриной, что в свою очередь обуславливает институциональные формы их существования и реализации в политической системе и античном праве. Очевидно, что трагическая история Сократа есть история о несоответствии мировоззрений основанных на разных идеалах, о том противоречии, разрешение которого возможно лишь на основе устранения одной из его сторон. И с идеалами всегда именно так, а не иначе. Государственная власть и общественное мнение, основывающиеся на идеалах охраняемых правом, могут с легкостью простить самое ужасное преступление. Однако они никогда не простят покушения на идеалы, рассматриваемые в качестве основы бытия.

Между тем, необходимо отметить, что в силу синкретичности сознания древних обществ, можно вести речь лишь об элементах того или иного вида идеала. Философская концептуализация технического идеала берет начало в эпохе модерна и так или иначе связана с обоснованием известного стереотипа научно-технического разума – «Человек – царь природы». Констатируемая в данную эпоху разумность и универсальность этого существа, способного, по словам К.Маркса, творить по меркам любого вида, основана на рационализации его технической сущности, т.е. - способности к самотрансформации и

самосовершенствованию [18], выразившаяся в идее техники и науки как универсальных средств господства в мире, прогресса как генеральной экспоненте человеческой истории, иллюстрируя и обосновывая доминанту технического мировидения с главенством технического идеала – той системы императивности которая только и составляет сущность, как самого мира, так и человека - наивысшей точки его эволюции.

Так истолковываемая универсальность человека вполне логично нашла выражение в гуманистическом мировоззрении, рассматривающем человека высшей ценностью и ставшим аксиологической основой современной правовой доктрины с ее незыблемыми принципами свободы, равенства и справедливости, формально-нормативное истолкование которых становится неизбежным в новой политической организации общества, определяемой либо идеалами правового государства, либо идеалами социализма.

Здесь технический идеал перестает быть вопросом философской интерпретации, перемещаясь в сферу политики и права, определяясь контекстом политических ценностей, целей и задач развития общества, государственных (политических) интересов. А проблема реализации технического идеала становится вопросом безопасности личности, общества и государства, вопросом защиты их интересов от возможных и реальных угроз и рисков. Таким образом, изначально предполагая соответствующую нормативность в отношении человека с человеком, человека с природой в сфере морали, теперь технический идеал обретает институциональные формы в виде совокупности правовых норм, регулирующих отношения в сфере реализации общественных и государственных интересов.

Возникшая в девятнадцатом веке в трудах Эрнста Каппа философия техники есть реализованная потребность в концептуализации технического идеала индустриального общества, которая в социальной импликации означала построение нового мировидения, где вопрос о сущности мира уступал место вопросу о его полезности для человека, представленного новым социальным субъектом, интерпретирующим техническое мировоззрение как высший тип мировоззрения, в рамках которого техника уже не сводилась к совокупности технических систем и объектов, но к тому свойственному

природе автоматизму, который между людьми положен как утилитаризм [15].

Образ техника с философским складом ума как нового социального идеала возник, естественно, значительно раньше его «официального» провозглашения русским инженером-философом П.К. Энгельмейером, который определив техницизм как новый соответствующий эпохе способ мышления и деятельности, тем не менее, противоречил себе, возражая против технократизма, т.е. против его распространения на сферу политики. Такой идеал уже просматривался у Дж. Локка, социалистов-утопистов, у О. Конта, других классиков, с большей однозначностью ратовавших за технократию.

Взгляд на мир, где техническое не просто проникает во все сферы сознания, но во многом замещает фундаментальные ценности, есть взгляд, основанный на доминировании технического идеала, его гипертрофированного развития в эпоху, когда техника и технология становятся не просто средствами социального и экономического господства, но и политического влияния. Технократическая интерпретация социально-политических процессов, порой, объясняется самой природой человека, его способностью к самотрансформации. А социальная и политическая организация общества, право и культура, как убеждает нас Льюис Мэмфорд –некий механизм, «Мегомашина», принципы работы которой заложены указанной природой человека[18]: «Машина, которую я упоминаю, никогда не была открыта в каких-либо археологических раскопках по простой причине: она была составлена почти полностью из человеческих частей. Эти части были соединены в иерархической организации под властью абсолютного монарха, команды которого, поддержанные коалицией священнослужителей, вооруженной знатью и бюрократией, обеспечивали подчинение всех компонентов машины аналогично функционированию человеческого тела. Назовем эту первичную коллективную машину - человеческую модель всех последующих специализированных машин –Мегамашиной» [10.233].

Технократическая цивилизация порождает технократическое мышление и, трансформируя ценности, ориентирует человеческую деятельность на преимущественно материальные ценности, в конечном счете, вступая в противоречия с самими основами данного процесса, коренящимися в

гуманистическом мировоззрении, объявляющем человека высшей ценностью.

Так, научно-технический прогресс является доминирующим в обществе и преобладает над всеми видами прогресса. Он проявляется в бурном развитии науки и быстром внедрении ее достижений в производство. Его следствием является изобилие товаров, материальных благ. Для производства товарного изобилия разрабатываются все новые источники сырья, полезных ископаемых, затрачивается все больше природных ресурсов, что неизбежно приводит к их истощению и обострению экологической ситуации на планете. Искусственные блага создаются благодаря уничтожению природных благ (воздуха, воды, почвы, растительного и животного мира). Становление технократической цивилизации предполагает формирование и развитие материалистического мировоззрения, культивирующего приоритет материальных ценностей денег, власти, секса, чувственных наслаждений, благополучия, положения в обществе, престижа и т. п. Достижение этих ценностей становится смыслом существования современного общества. При этом духовные ценности неизбежно отходят на второй план, занимают второстепенное место, уступая первенство материальным благам, теряя при этом свою абсолютную значимость. Теряется и смысл духовных ценностей, содержание понятия «духовность» выхолащивается, становится неопределенным и даже непонятным, поскольку с материалистических позиций невозможно понять истинную сущность духовности. Так следует согласиться с тем, что «Вытеснение духовных ценностей материальными приводит к бездуховности, к духовному кризису общества, который неизбежно влечет за собой и нравственный кризис, так как нравственность есть внешняя форма проявления духовности (бездуховный человек не может быть высоконравственным). Любовь как суть и проявление духовности, как абсолютная духовная ценность все больше вытесняется культом и пропагандой секса (материальной «ценностью»)» [9.27].

Следует подчеркнуть закономерность данного процесса, обуславливающую неизбежность и объективность трансформации духовных ценностей, их «технизацию», обусловленную рационализацией в процессе перемещения в сферу политики и права. Так, высшая ценность человека как основной принцип гуманизма требует своих механизмов реализации в

политических и правовых конструкциях, превращаясь в формальный принцип, где мораль нивелирует свое императивное значения, теряется в лоне формализованных институциональных схем политического процесса. Естественное право с его нравственным темпераментом, ценностями и идеалами, т.е. той духовностью, которая и явилась предпосылкой современного права, в данном контексте перестает иметь нормативное значение, будучи «снятым» позитивным правом как совокупностью правовых норм, институтов и отраслей, существующего в соответствии со своей внутренней логикой, присущими именно праву закономерностями правообразования, правореализации и правоприменения, которые весьма далеки от идеологии [17].

Мегомашина, созданная техногенной цивилизацией – это технология унификации и универсализации человеческого бытия, основанная на признании абсолютным его природного начала, инструмент господства человека в мире. Но сама идея господства, основанная на возможности трансформации природы, ее технического использования в целях удовлетворения общественно значимых интересов – утопическая идея, поскольку сфера их действия не распространяется на сферу воспроизводства самой природы как условия существования человека. Технический идеал отделяет человека от природы, от его собственной природы, а его реализация посредством политико-правовой институционализации создает устойчивую тенденцию уничтожения человека как вида, прежде всего выражающейся в забвении им своей сущности. Чтобы реализовать свои субъектные свойства, человек вынужден превращаться из субъекта в объект, т.е. – технический объект, как в переносном, так и в прямом смысле. Прежде всего, он объективно является элементом технологической цепи, без которого она перестает функционировать как техническая система. Кроме того, сами технические системы постепенно внедряются в его биологическую организацию, заменяя естественные органы и их элементы искусственными. И если титановые суставы, искусственные почки и сердце и пр., еще не трансформируют человеческую природу, подчеркивая лишь ее несовершенство, то искусственное оплодотворение и клонирование производят переворот в общественном сознании, итогом которого является убеждение о технической, а не божественной природе человека.

Таким образом, задача покорения природы, в более мягкой редакции представленная как ее усовершенствование, поставленная научно-техническим разумом, обретает черты реального противоречия между человеком и природой не только в сфере экологии, но и сфере мировоззрения и культуры, как конфликт человека с самим собой: если техническое более совершенно, чем природное, то процесс «технизации» (покорения, усовершенствования) природы распространяется и на самого человека. Идея создания сверхчеловека сегодня уже не фантастический образ, а один из основных приоритетов научно-технической деятельности, а реализация задачи замещения всех человеческих органов искусственными, создания некоего самопрограммирующегося человека-робота во много раз превосходящего человека и способного существовать в разных средах без защитных устройств, является программной для современной науки и техники.

В мировоззрении данная тенденция кризиса стала очевидной уже в контексте противоречия между классическим стереотипом разумности истории, идеалом ее прогрессивного движения и неразумностью реальных исторических событий, связанных с кровью революций, войн и концентрационных лагерей, экологическим кризисом. Известно, что иррационализм, распространившийся в Европе второй половины 19 – начала 20 века, стал первой адекватной реакцией на данное противоречие, предложив альтернативу разуму в виде воли, веры, интуиции, других иррациональных факторов. Так, критика Н. Бердяевым гуманизма, возвышающего, по его словам, природное, а не божественное начало человека[1], вполне закономерна, имеет целью восстановление утраченного баланса в мире. Очевидно, М. Хайдеггер с большей определенностью и последовательностью смоделировал данную ситуацию, объявив техногенную цивилизацию, создавшую непроходимую пропасть между человеком и миром, причиной и виновницей утраты человеком его подлинного бытия, которое может быть восстановлено лишь путем отказа от современной науки и технологии, от технического идеала, культивируемого данной цивилизацией [2].

Между тем, современная глобализация есть развитие именно данной тенденции, поскольку в ее идейной основе лежат идеи универсальности

западных социальных технологий, безальтернативности техногенного пути развития со всеми его плюсами и минусами. Однако видимо, именно глобализация сделала очевидным кризис технического идеала, создав международные институты, деятельность которых позволила не в концептуально-философской, но в политико-правовой форме сформулировать те кризисные состояния, с которыми сталкивается человечество в процессе реализации технического идеала современности.

Впервые это было сделано в 1987 году на XXVII съезде КПСС, когда в своем докладе М.С. Горбачев сформулировал глобальные проблемы современности. Экологическая проблема со всей очевидностью показывающая масштабы дисбаланса, возникшего в результате техногенной деятельности человека, является основным свидетельством глубины кризиса технического идеала, необходимости его преодоления в целях выживания человека как вида.

Воля человечества преодолеть данный кризис вскоре обрела институциональные политико-правовые формы, а Декларация Рио об устойчивости развития создала необходимые правовые условия ограничений техногенной деятельности государств. Между тем, следует признать, что как международное, так и национальное законодательство есть скорее признание существенного значения данного кризиса для современной цивилизации, чем его преодоление. И дело не в том, что по свидетельству многих международных экспертов экологический кризис не преодолим, а в том, что технический идеал, возникнув как результат рационализации, обусловленного уровнем развития технического, ценностного отношения человека к миру имеет объективную основу. Так, способы преобразования энергии и те ее виды, которые востребованы современными технологиями, не могут позволить существенно изменить ситуацию к лучшему, поскольку реализация технического интереса связана, как правило, именно с этими видами энергии и с этими технологиями. Т.е., развитие большинства современных государств предполагает реализацию именно этого технического идеала. В случае отказа от технического идеала современности развивающиеся страны обречены на стагнацию своей экономики, углубление и усиление технологической зависимости от более развитых стран. Нужно отметить, что, например, США не

подписали Киотский протокол, ограничивающий технологическое давление на атмосферу, объявив, что это противоречит их национальным интересам. В свое время Франция и Канада объявили об отказе исполнения обязательств по этому протоколу.

Таким образом, очевидно, что сегодня нельзя отказаться от использования нефти, газа, атомной энергии, от космических программ, так пагубно сказывающихся на состоянии экологического баланса на планете, также как невозможно отказаться от новых биомедицинских технологий, от реализации программы создания человека-робота. Нельзя отказаться от современного мифа техники - технического идеала как главного фактора обуславливающего смысл современной истории.

На наш взгляд, Х. Сколимовский дал очень точную оценку такой ситуации, впрочем, распространяя ее лишь на западную цивилизацию. По его мнению, «Сила мифа техники столь велика и столь опасна именно потому, что она пронизывает буквально все аспекты западного способа мышления. Техника превратилась для нас в физическую и ментальную опору в столь извращенной и всеобъемлющей степени, что если мы даже осознаем, как опустошает она нашу среду, природную и человеческую, то первой нашей реакцией будет мысль о какой-то другой технике, которая может исправить все это. Техника - это состояние западного сознания» [14.246].

По верному замечанию авторов монографии «Философия техники», технический идеал «...возникает там, тогда и постольку, где, когда и поскольку существенную роль в жизни человека, во всех видах и проявлениях человеческой деятельности начинает играть техническое вообще, идет ли речь о возрастающей специализации и профессионализации, или об эффективности политики, идеологии, образования, научных достижений, экономики и т.д.» [3.15]. Однако, полагаем, неверно распространять технический идеал, его действие и влияние лишь на решение технических задач, как это делают авторы указанной монографии, а его носителей отождествлять лишь с техническими специалистами. Соглашаясь со Х. Сколимовским, нужно сказать, что технический идеал становится и свойством, и фактором культуры, во многом определяя ценности, нормы, установки поведения, мировоззрение,

свойственные для того или иного общества. Роль же его возрастает в соответствии с возрастанием той роли, которую играет техническая деятельность, как процесс объективации технического идеала. Технический идеал входит в структуру общественного сознания наряду с другими видами общественных идеалов, а его содержание всецело определяется историческим типом общества. Так, хотя элементы технического идеала присутствуют уже в синкретическом сознании первобытного общества, существенную и во многом определяющую роль он начинает играть лишь в индустриальном обществе, определяя духовные основания техногенной цивилизации. В данном контексте, очевидно, что как форма рационализации ценностного отношения к миру, включающего как природу, так и самого человека, технический идеал представляет собой обобщение соответствующей совокупности ценностей, представлений и знаний, является важным способом их трансляции в культуру общества, играя когнитивную, конструктивную, нормативную и компенсаторную роль.

Когнитивная роль технического идеала выражается в том, что он неизбежно отражает и несет в себе реальные противоречия жизни, проблемы, связанные с отношением человека и природы в соответствии с исторически доступными способами преобразования и передачи энергии, знания об ее источниках, механизмах как способах ее преобразования и передачи, технических нормах и приоритетах деятельности, реально функционирующих правилах, оценках, регуляторах, нормах технической деятельности, что находит отражение в мировоззренческих конструкциях, переносящих свойства технического на природу и человека. Представление о человеке как о царе природы есть не что иное, как рационализированное ценностное отношение, как к природе, так и к самому человеку, в наиболее радикальной форме выраженное Ламетри – «Человек - машина» - полагавшего, что человек - это часовой механизм, который заводится не механическим способом, а посредством поступления в кровь питательного сока, образующегося из пищи[8]. Данный фундаментальный образец, естественно, существенное значение имеет для техника в той степени, в какой его сознание включено в контекст идеального того времени, но не более. Этот образец не только

транслирует знания в культуру, но и формирует ее, трансформируя ценности, значения, установки.

Сказанное свидетельствует о конструктивной роли, которую играет технический идеал в обществе, проявляющуюся при принятии соответствующей программы действий в отношении развития различных сфер общественной жизни. Здесь технический идеал выражается в мотивации действий отдельных индивидов, корпоративных групп, вдохновляет их на активный поиск решений задач развития общества и человека средствами технической эволюции. Конструктивная роль технического идеала наиболее полное выражение находит в государственной политике как целенаправленной деятельности социальных субъектов, направленной на решение задач развития личности, общества и государства, которая в своей научно-технической ипостаси предполагает систему конкретных мер, направленных на развитие науки, техники и технологии как условий социального прогресса.

С этим связана нормативная роль, которую технический идеал играет в обществе, когда фиксируется определенный императив, с которым сверяются практические проекты, содержащие ориентиры-нормы, которых следует придерживаться как непосредственно в технической деятельности, так и в любом виде деятельности, связанном с отношением человека и природы. В современный период нормативный компонент несет особую нагрузку, создавая спектр нормативных ориентиров, несущих ответственность не только в сфере морали, но и в сфере политики. При этом речь идет не только о научно-технической правовой сфере, но и об экологическом законодательстве, о медицинском законодательстве – обо всех правовых нормах, институтах и отраслях, которые, так или иначе, сопряжены с регулированием отношения человека и природы.

Очевидна, также, и компенсаторная роль, которую играет технический идеал, вселяя надежду на благополучное решение проблем в сфере отношения человека и природы посредством самой же техники, поиска новых видов энергии и способов их преобразования, компенсируя социальную неудовлетворенность кризисным состоянием не только сферы технического, но и любой другой сферы общественной жизни.

В заключение следует сказать, что технический идеал сопутствует человеческой деятельности, в значительной степени определяя основы социального бытия, а техническая деятельность как фундаментальная характеристика природы человека представляет собой его объективацию. Между тем, в контексте социальных изменений, связанных с переходом к постиндустриальному обществу, очевидна трансформация технического идеала, истоки которого лежат в эпохе модерна, и связаны множественные современные и по многим оценкам неразрешимые проблемы отношения человека и природы. И если прав Х. Сколимовски, отождествляя данные проблемы с социокультурными особенностями западной цивилизации, то, возможно, он прав и в том, что альтернативой, позволяющей выйти из сложившейся ситуации, может быть традиционный тип мировоззрения, компенсирующий и уравнивающий указанные негативные тенденции, а духовность как основа аксиологического приоритета и условие преодоления западной универсализации человека и общества, формализации отношения человека и природы, выступить в качестве принципа формирования идеалов новой эпохи, в том числе и технического идеала [14].

1. Алексеев С.С. Тайна и сила права. М., 2010.
2. Бердяев Н. Смысл истории. М., 1990.
3. Бескаравайный С.С., Капитон В.П. Философия техники. Днепропетровск, 2011.
4. Давидович Е.В. Теория идеала. Ростов-на-Дону, 1983.
5. Дробницкий О.Г. Проблемы нравственности. М., 1977.
6. Дробницкий О.Г. Понятие морали. М., 1974.
7. Ильенков Э.В. Идеал // Философская энциклопедия. Т. 2. М., 1962.
8. Ламетри Ж. Человек-машина. М., 1998.
9. Макуха Г.В. Мировоззрение космического всеединства. Симферополь 2007.
10. Мэмфорд Л. Техника и природа человека // Новая технократическая волна на Западе. М., 1986.
11. Новый энциклопедический словарь. М., 2005.
12. Ожегов С.И. Словарь русского языка. М., 1990.
13. Самарин В.В. Техника и общество. М., 1988.
14. Сколимовски Х. Философия техники как философия человека // Новая технократическая волна на Западе. М., 1986.
15. Философский энциклопедический словарь. М., 1989.
16. Энгельмейер П.К. Философия техники. СПб. 1912.
17. Яценко А.И. Целеполагание и идеалы. Киев. 1977.
18. Mumford L. The Mith of Machine. N.Y. 1962.

19. Heidegger M. The Question of Technology // Philosophy The Question of Philosophy and other Essays. N.Y. 1977.

СПОСОБ РЕГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОДОВ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА

Н.К. Веремьев, К.Н. Веремьев, С.Е. Баранов, В.И. Сикорский

(ООО «НПФ «АВТЭК», Новороссийск, vnk@avtec.ru)

При очистки пылегазового потока электрофильтрами по мере осаждения пыли на осадительные электроды изменяется электростатическая обстановка в камере электрофильтра. Изменение величины слоя пыли на электроде можно определять по величине сопротивления межэлектродного пространства и когда их соотношение после регенерации и после накопления пылевого слоя станет больше 1.1, необходимо проводить регенерацию.

Ключевые слова: очистки пылегазового потока, электрофильтр, осаждение слоя пыли, электрод, регенерация

When cleaning the dust and gas flow with electrofilters, as dust is deposited on the precipitation electrodes, the electrostatic situation in the chamber of the electrofilter changes. The change in the size of the dust layer on the electrode can be determined by the value of the resistance of the interelectrode space and when their ratio after regeneration and after the accumulation of the dust layer becomes greater than 1.1, it is necessary to carry out regeneration.

Keywords: dust and gas flow cleaning, electrofilter, dust layer deposition, electrode, regeneration

При очистки пылегазового потока электрофильтрами по мере осаждения пыли на осадительные электроды изменяется электростатическая обстановка в камере электрофильтра.

Электрическое поле у поверхности осадительного электрода фильтра может быть представлено как сумма трех составляющих:

- 1) статическая составляющая, обусловленная геометрией электродов и разностью потенциалов между ними, равной напряжению начала коронного разряда;
- 2) динамическая составляющая, обусловленная пространственным зарядом, созданным ионным током и заряженной пылью;
- 3) омическая составляющая, обусловленная разрядным током через сопротивление осевшей пыли.

По мере осаждения пыли на электрод, возрастает падение напряжение на слое пыли. Тем самым при одном и том же среднем напряжении, подаваемом на электроды фильтра, будет снижаться величина среднего значения тока, или

при поддержании значения тока на определенном уровне, возрастет величина напряжения на электродах фильтра. Следовательно, по изменению соотношения этих параметров, можно определять изменение величины слоя пыли на электроде.

Величину сопротивления межэлектродного пространства можно рассчитать, как:

$$Z_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{ср}}}{I_{\text{ср}}}$$

где $I_{\text{ср}}$ - величина среднего значения тока в межэлектродном пространстве;

$U_{\text{ср}}$ - величина среднего значения напряжения на электродах фильтра.

По мере накопления (увеличения) слоя пыли это соотношение будет изменяться. Проведенные исследования показали, что соотношение $Z_{\text{пр}1}$ после регенерации и после накопления пылевого слоя $Z_{\text{пр}2}$, когда их соотношение станет

$$\frac{Z_{\text{пр}2}}{Z_{\text{пр}1}} > 1,1 ,$$

и необходимо проводить регенерацию.

1. Патент RU 2 738 632C1. Способ регенерации коронирующих и осадительных электродов электрофильтра. 2020 г.
2. Патент RU 2 739 155C1. Способ комплексного управления электрофильтром при очистки от пыли и туманом. 2020 г.

Научное издание

ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – 2022

Труды XXX Международной Конференции

г. Новороссийск, 12-17 сентября 2022 г.

Научный редактор

В.Е. Привалов

Подписано в печать 25.08.2022

Усл. печ. л. 10,93

Уч.-изд. л. 12,76

Формат 60x84/16

Печать оперативная

Тираж 100 экз.

Заказ № 4416

НФ ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический
университет имени В.Г. Шухова»
353919, г. Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, 75

Отпечатано:

ФГБОУ ВО «Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова»
353924, Краснодарский край, г. Новороссийск, пр. Ленина, д. 93