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 – 2021

Труды XXIX Международной Конференции
г. Новороссийск, Краснодарский край
13 – 18 сентября 2021 г.

Под редакцией профессора В.Е. Привалова

Организация и проведение конференции поддержаны Новороссийскими предприятиями – ООО «НПФ «АВТЭК» и ЗАО «НЦЗ «Горный»
Информационная поддержка журналов
«Безопасность в Техносфере» и «Фотоника»

Новороссийск
2021

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.

Л 175 **Лазерно-информационные технологии:** труды XXIX Международной научной конференции (13 – 18 сентября 2021 г.) / ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». – Новороссийск: НФ ФГБОУ ВО «БГТУ», 2021. – 252 с.
ISBN 978-5-6046875-0-5

В сборник включены тезисы докладов, представленные на XXIX Международной научной конференции «ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – 2021». Сборник рассчитан на научных сотрудников, инженеров, аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

Организация и проведение конференции поддержаны Новороссийскими предприятиями – ООО «НПФ «АВТЭК» и ЗАО «НЦЗ «Горный»
Информационная поддержка журналов – «Безопасность в Техносфере» и «Фотоника»

ISBN 978-5-6046875-0-5
© НФ ФГОУ ВО «БГТУ», 2021

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ КОНФЕРЕНЦИИ

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

ОРГКОМИТЕТ

Э.И. Акопов, ФИАН, Москва
В.М. Арпишкин, ООР, С.-Петербург
А.В. Бабкин, СПбПУ, С.-Петербург
В.И. Балобан, БалтГТУ, С.-Петербург
Г.А. Баранов, ВНИИЭФА, С.-Петербург
А.С. Борейшо, БалтГТУ, С.-Петербург
А.Н. Власов, РГРТУ, Рязань
А.Е. Воробьев, РУДН, Москва
Г.И. Долгих, ТОИ ДВО РАН, Владивосток
В.В. Дьяченко, (зам. председателя), НПИ КубГТУ, Новороссийск
Г.С. Евтушенко, ТПУ, Томск
В.С. Иванов, СПбГУ, С.-Петербург
И.Г. Иванов, ЮФУ, Ростов-на-Дону
В.Н. Курятов, НИИ «Полюс», Москва
В.А. Лопота, СПбПУ, С.-Петербург
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. Тарлыков, СПбНИУИТМО, С.-Петербург
В.А. Туркин, ГМУ, Новороссийск
В.В. Тучин, СаратовГУ, Саратов
А.Б. Федорцов, НМСУ «Горный», С.-Петербург
А.Э. Фотиади, СПбПУ, С.-Петербург
Г.Д. Чеботарев, ЮФУ, Ростов-на-Дону
Ю.В. Чербачи (ученый секретарь), 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…… 13

Секция А-1 – Лазерная физика и техника

Ф.А. Губарев, А.В. Мостовщиков, А.П. Ильин, Л. Ли
Лазерные системы скоростной визуализации для исследования горения высокоэнергетических материалов …….. 16

В.А. Степанов, Е.В. Овчинникова, А.О. Серебряков
Автоматизированное 3D проектирование активного элемента газоразрядного ионного аргонового лазера …… 20

Л.В. Антошкин, В.В. Лавринов, Л.Н. Лавринова, А.А.Селин
Оценивание изображения лазерного излучения в фокальной плоскости на стенде адаптивной оптической системы ……. 24

Л.В.Антошкин, Г.Н.Сидоренко, Б.И.Лаптев, Н.П.Горленко
Роль когерентного, некогерентного светового излучения и магнитного поля в модификации физико-химических и терапевтических свойств воды и водосодержащих систем …….. 26

А. М. Лисенкова, М. М. Кугейко, Т. А. Железнякова, Н. М. Орёл
Возможные способы повышения эффективности лазерофореза …….. 27

В.А. Кожевников, В.Е. Привалов, А.Э. Фотиади
Положительный столб разряда в трубках плавно изменяющегося диаметра и оптимальные режим работы He-Ne лазера ……. 29

В.А. Кожевников, В.Е. Привалов
Преимущества нового метода решения уравнения Гельмгольца, используемого при расчете энергетических характеристик He-Ne лазера .. 31

Г.Д. Чеботарев
Оптимизация и моделирование рекомбинационных лазеров на парах металлов ……. 33

Г.Д. Чеботарев
Моделирование многоволнового лазера на ионных переходах стронция ... 34

П.Е. Тимченко, Е.В. Тимченко, И.В. Бажутова, Л.Т. Волова, О.О. Фролов, А.Ю. Ионов
Рамановская спектроскопия для оценки состояния эмали зубов после обработки патологического зубодесневого кармана ……. 36

Е. В. Тимченко, П. Е. Тимченко, О.А. Магсумова, О. О. Фролов, Л. Т. Волова, М.А. Постников, В.А. Полканова, Н.М. Оруджов, Т.В. Козлова
Детальная спектральная оценка структурных особенностей дентина зубов после процедуры отбеливания ……... 38

П.Е. Тимченко, Е. В. Тимченко, Е.В. Писарева, М. Ю. Власов, О. О. Фролов, Л. Т. Волова, А.Ю. Ларина, Д.А. Романова, С.С. Сергеева, Р.Т. Самигуллин
Хемометрический анализ состава гидроксиапатита после проточной делипидации ……... 40

Е. В. Тимченко, П. Е. Тимченко, Л. Т. Волова, О. О. Фролов, М.Ю. Власов, М.А. Зыбин, С.С. Шипко
Оценка деминерализации биоматериалов из ювенильного дентина с помощью Рамановской спектроскопии ……... 43
С.М. Бобровников, Е.В. Горлов, В.И. Жарков
Теоретическая оценка эффективности лазерного возбуждения молекул оксида фосфора …….. 45
В.В. Татур, А.А. Тихомиров
Компенсация селективного поглощения и неселективных потерь в анализаторе паров ртути при использовании эффекта Зеемана ……... 46
В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин
Лазеры и разложение воды …….. 48
И.С. Мусоров, Д.В. Шиянов, С.Н. Торгаев, В.В. Дробчик, Г.С. Евтушенко
Особенности работы скоростного CuBr-усилителя яркости при частотах следования импульсов накачки свыше 100 кГц ……. 50
И.С. Мусоров, М.В. Тригуб, С.Н. Торгаев, Г.С. Евтушенко
Радиальный профиль излучения/усиления ВЧ CuBr-активной среды ……. 52
И.С. Мусоров, С.Н. Торгаев, Г.С. Евтушенко
Скоростной CuBr-усилитель яркости для систем визуального контроля и диагностики …… 53
И.Г. Иванов
Ионный лазер с РПК на парах серебра с одновременным излучением в УФ, видимой и ИК частях спектра …….. 55
И.Г. Иванов
Об оптимальной конфигурации активного элемента – разрядной трубки ионного лазера с разрядом с полым катодом ……. 57
В.А. Кожевников, В.Е. Привалов
О программах расчета усиления и мощности излучения He-Ne лазера различной геометрии …… 59
П.А. Андреев, П.Ю. Лобанов, М.Н. Мешков, О.Е. Сидорюк
Обеспечение пирометрического мониторинга в лазерных аппаратах для термической обработки нераспыляемых геттеров ……. 61
Е.В. Кузнецов, П.Ю. Лобанов, И.С. Мануйлович, М.Н. Мешков, О.Е. Сидорюк, Л.А. Скворцов
Контроль корпусных деталей из пластика посредством импульсной лазерной термографии …….. 63
Н.В. Карасев, В.О. Троицкий, М.В. Тригуб
Увеличение длительности импульса генерации CuBr-лазера при работе в цуговом режиме …….. 65
К.Ю. Семенов, М.В. Тригуб
Источник многоступенчатого заряда накопительной емкости лазера на самоограниченных переходах атомов металлов …… 67

П.И. Гембух, М.В. Тригуб
Высокочастотный источник возбуждения активных сред на парах галогенидов металлов ……... 69
Н.А. Васнев, М.В. Тригуб, Г.С. Евтушенко
Искажения изображений, формируемых в лазерных мониторах, и способы их устранения ……. 71
М.К. Исаев, Н.М. Скорнякова
Диагностика сдвигов земных пород при помощи видеонаблюдения …….. 73
В.А. Алексеев, С.И. Юран, В.П. Усольцев
Фотоплетизмограф с двухлучевым оптоэлектронным датчиком ……. 74
Палабугин М.В., Усольцев В.П.
Лазерный прибор промышленного сканирования драгоценных камней …. 76
В.А. Алексеев, М.Р. Зарипов, В.П. Усольцев, С.И. Юран
Лазерный комплекс оценки загрязнений морской воды органическими микрочастицами …… 78
А.А. Боев, М.Ю. Керносов, С.Н. Кузнецов, А.А. Паршин, С.Ю. Поляков, С.Е. Широбакин.
Волоконно-оптический дефлектор для управления направлением лазерного излучения …… 80
А.Н. Солдатов, А.С. Шумейко, Л.Н. Чаусова Л.Ю. Цакилиди
Исследование многоволнового лазера на парах бария …….. 82
А.Н. Солдатов, Е.Ф. Странадко, И.В Реймер, В.А. Евтушенко, М.В. Вусик, Л.Н. Чаусова
Лазерный медицинский комплекс для лечения онкологических заболеваний «ЛИТТ-ФДТ» ……... 84
Н.А. Юдин, Х.А. Баалбаки, К.В. Ночева, М.Е. Смирнова, Н.Н. Юдин
Модель формирования инверсии в лазере на парах меди ……. 85
Н.А. Юдин, Д.В. Шиянов, Х.А. Баалбаки, А.В. Васильева
Релаксация метастабильных состояний в лазере на парах меди …….. 87
А.А.Боев, С.Н. Кузнецов, Б.И. Огнев, К.И. Приходько
Высокоскоростной алгоритм работы датчика оси диаграммы направленности в лазерных системах связи ……... 89
А. В. Баскакова, А. А. Горячев, С. Н. Кузнецов, Б. И. Огнев, Н. О. Пителин, С. Е. Широбакин
Применение лазерных линий связи для космических аппаратов ……. 91
В.А. Алексеев, А.В. Усольцева, В.П. Усольцев
Модель лазерного воздействия на натуральные материалы ……. 93
В.В. Осипов, Г.С. Евтушенко, В.В. Платонов, Е.В. Тихонов, Е.А Кочурин, М.В. Кременецкий, Н.А. Васнев, П.И. Гембух, М.В. Тригуб
Исследование динамики разбрызгивания капель при абляции мишени Nd:Y_2O_3 с помощью волоконного иттербиевого лазера ……. 95

В.Е. Прокопьев, А.Н. Солдатов, Н.К. Ошлаков, Ю.П. Полунин, А.В. Васильева, А.Н. Иглакова, А.Н. Шумейко
Генерация на ионных переходах стронция и молекул азота при оптической накачке фемтосекундным лазером и наносекундным газовым разрядом …… 97
В.Е. Прокопьев, Д.М. Лубенко, В.Ф. Лосев
Генерация высоконаправленного суперконтинуума в филаменте воздуха 99
Н.А. Албу-Салих, И.В. Калинина, В.Н. Храмов
Особенности цветовых характеристик лазерных и светодиодных источников света ……... 101
Б.И. Огнев, С.А. Складчиков, Е.Г. Чуляева
Влияние турбулентности на распространение оптических сигналов с длиной волны 1550 нм …….. 103

Секции Б-2 – Нанотехнологии
С.Н. Мансов, Ю.В. Полуштайцев
Использование фотополимеризующейся композиции с нейтральным компонентом для оптического формирования планарных световодов ….. 105
С.Н. Мансов, Ю.В. Полуштайцев
Формирование градиентных линз в фотополимеризующемся слое при воздействии нестационарным световым потоком ……. 107
А.И. Русаков, А.А. Шалаев
Фазовая диаграмма системы $BaBr_2$-BaI_2 ……. 109
Д.С. Овеченко
О причинах генерации электролюминесценции нанопористого оксида алюминия при его формировании в химически чистой воде …… 110
А.В. Богданов
Отличия и область применения формулы для температуры Дебая, выведенной с помощью модели потенциального взаимодействия микрочастиц …… 112
А.В. Богданов
Влияние кулоновской силы взаимодействия в донорно-акцепторных парах на электрофизические свойства жидких углеводородов …… 114
А.В. Богданов
Модель прочности металлов, учитывающая Кулоновское взаимодействие зарядов микрочастиц ……. 116
В.Г. Шеманин, О.В. Мкртычев
Исследование пороговой плотности энергии при лазерной абляции оптических кристаллов инфракрасного диапазона …… 118
Л.К.Ермаков
Разработка численных методов изучения плотности электронных состояний YAG ……. 120
В.В. Осипов, В.В. Платонов, В.В. Лисенков, Е.В. Тихонов
Лазерный синтез нанопорошков тугоплавких оксидов ……. 122

А. А. Южакова, Д. Д. Салимгареев, И. В. Южаков,
А. С. Корсаков, Л. В. Жукова
Исследование свойств фотонно-кристаллических световодов на основе кристаллов системы AgBr–AgI для лазерных технологий …….. 124
А. А. Южакова, Д. Д. Салимгареев, А. Е. Львов,
А. С. Корсаков, Л. В. Жукова
Инфракрасные световоды на основе кристаллов системы AgBr–AgI для лазерных технологий …… 126
П. В. Пестерева, Ю. В. Волегова, А. А. Южакова,
Д. Д. Салимгареев, Н. Н. Акифьева, Л. В. Жукова
Моделирование волоконного зонда на основе кристаллов системы AgBr–AgI для лазерной медицины …….. 127
А.Е. Львов, Д.А. Белоусов, Д.Д. Салимгареев, Л.В. Жукова,
А.С. Шмыгалев
Введение оксидов редкоземельных элементов в матрицу галогенидов серебра …… 129
А.Е. Львов, Д.А. Белоусов, Д. Д.Салимгареев, Л. В. Жукова,
А. А. Южакова, Д. В. Шатунова
Оптические монокристаллы и нанокристаллическая керамика на основе системы AgBr – AgI – TlI …… 131
В. М. Кондрашин, А. Е. Львов, Д. Д. Салимгареев,
А. А. Южакова, Л. В. Жукова
Научно-прикладной модифицированный метод термозонной кристаллизации синтеза высокочистых твердых растворов различного состава …… 133
Д. Д. Салимгареев, Л. В. Жукова
Инфракрасный волоконно-оптический датчик контроля температуры ветрогенератора на основе нанокристаллических световодов системы AgBr – $TlBr_{0,46}I_{0,54}$ ……... 135
Д. Д. Салимгареев, А. Е. Львов, Л. В. Жукова, А. А. Южакова,
М. С. Корсаков, Е. А. Корсакова
Исследование фазовой диаграммы системы AgI – $TlBr_{0,46}I_{0,54}$ …….. 137
Д. Д. Салимгареев, А. Е. Львов, Л. В. Жукова, А. А. Южакова,
А. А. Щукина, П. В. Пестерева
Оптические свойства кристаллов системы AgBr –AgI …….. 138
Н.Н. Юдин, В.В. Дёмин, А.Н. Солдатов, Н.А Юдин., Х.А. Баалбаки,
И.Г. Половцев, С.Н. Подзывалов, М.М. Зиновьев, Е.С. Слюнько,
Е.В. Журавлева, А.А. Пфайф, М.М. Кулеш
Методы цифровой голографии применительно к визуализации и характеризации объемных дефектов $ZnGeP_2$ …….. 140
В. М. Кондрашин,А. С. Корсаков, Д. Д. Салимгареев, А. Е. Львов,
А. Тураби, Д. В. Шатунова, Л. В. Жукова
Разработка лазерной установки для определения показателя преломления в ИК диапазоне …….. 142

Секция В-3 – Компьютерные технологии и системы обработки изображений и сигналов

Л.В. Антошкин, А.Г. Борзилов, В.В. Лавринов, Л.Н. Лавринова, А.А. Селин
Программно–аппаратный комплекс эмуляции наклонов волнового фронта лазерного излучения …… 145
Д.В. Свистунов
Двухпотоковая методика передачи данных в многомодовых ВОЛС: влияние межмодовой связи …….. 147
А.В. Мирошников, Н.С. Стадниченко, О.В. Шаталова
Компьютерные технологии классификации функционального состояния биоматериала на основе рекурсивной модели Войта …… 148
М.Б. Мяснянкин, А.В. Серебровский, С.А. Филист
Вейвлет-спектр электрокардиосигнала в классификаторе функционального состояния системы дыхания ……. 150
Е.В. Кривина, Р.И. Сафронов, София Кадырова
Многомодальная компьютерная система персонифицированной диагностики и терапии внутренних органов человека …….. 152
В.А. Белозеров, Д.С. Кондрашов, И.Н. Горбачев
Компьютерная система классификации УЗИ-изображений ……. 154
О.Ю. Афонин,М.Ю. Орлов, И.В.Ульянов, В.А. Степанов
Обучение техническому творчеству и работе на лазерном станке с ЧПУ подростков в системе дополнительного образования ……... 156
А. В. Баскакова, А. А. Боев, М. Ю. Керносов, С. Н. Кузнецов, С. Ю. Поляков, С. Е. Широбакин
Термостабильный цифровой автоколлиматор …… 158
В.В. Вишневецкая
Электронные образовательные ресурсы в развитии дистанционных методов обучения иностранному языку …….. 160
А.М. Вальшин
Импульсно-периодический разряд в воде ……... 164
А.М. Вальшин
Лазер на гранате с комбинированной накачкой ……. 166
А.М. Вальшин
Твердотельный лазер с высокочастотной накачкой …… 167
Е.В. Колпакова
Функционал энергии в моделях Магерра-Власова колебаний пологих оболочек ……. 169
Е.В. Агамагомедова, А.А. Осённова
Применение лазерной медицины в реабилитации людей с ограниченными возможностями как фактор экономического роста …….. 172

Секция Г–4 – Геотехнологии и геоэкологический мониторинг
М.М. Кугейко
Лазерно-локационные методы и системы оптико-физических измерений в условиях априорной неопределенности …… 175
В.А. Корольков, А.А. Кобзев, А.А. Тихомиров, А.Е. Тельминов
Автономная метеостанция АрктикМетео: новая модификация ……... 177
В.В. Кальчихин, А.А. Кобзев, А.А. Тихомиров, Д.Е. Филатов
Применение лазерного дисдрометра для измерения характеристик выпадающих атмосферных осадков в критических метеоусловиях …… 178
Е.И. Веденин, С.В. Половченко, И.А. Сарычев, П.И. Сарычев, П.В. Чартий, Ю.В. Чербачи
Лидарная система дифференциального ослабления и рассеяния для исследования аэрозольных потоков в видимой и ближней ИК области …. 180
Э.К. Аблязов, А.О. Васильев, Э.И. Воронина, В.Г. Шеманин
Лидарное зондирование молекул предельных углеводородов в атмосфере по спектрам комбинационного рассеяния света …… 183
А.А. Невзоров, С.И. Долгий, А.В. Невзоров, Ю.В. Гриднев, С.Н. Кравцова, Я.Р. Романовский, О.А. Романовский
Лидарные и спутниковые измерения вертикального распределения озона над Томском: пространственное разрешение и погрешность восстановления …….. 186
Д.В. Александров, М.Н. Дубров, И.А. Ларионов
Сравнение интерферометров разных типов при построении разнесенной системы регистрации глобальных геофизических явлений …… 188
Ю.В.Чербачи, В. Г. Шеманин
Исследование прозрачности атмосферы в видимой области спектра ……. 189
И.Д. Брюханов, К.Н. Пустовалов, Е.В. Ни, О.Ю. Локтюшин, И.В. Животенюк, А.А. Дорошкевич, И.В. Самохвалов, О.И. Кучинская, Ю.С. Бордулев, М.С. Пензин
Проблема выбора источника данных о вертикальных профилях метеорологических величин для интерпретации данных лидарных исследований облаков верхнего яруса …… 191
Е.В. Ни, О.И. Кучинская, М.С. Пензин, Ю.С. Бордулев, И.Д. Брюханов, А.А. Дорошкевич, И.В. Самохвалов
Механизм прогнозирования оптических и геометрических характеристик облаков верхнего яруса на основе лидарных и метеорологических данных …… 193
Е.И. Веденин, В.В. Дьяченко, Е.Ю. Закалова, П.В. Чартий
Измерение среднего объемно-поверхностного диаметра частиц при осуществлении автоматизированного непрерывного контроля аэрозольных выбросов цементного производства ……. 195

Е.О. Будюк, Е.И. Веденин, И.А. Сарычев, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин
Система лазерного зондирования для контроля тонкости помола цемента при замкнутом цикле ……. 197
В.В. Дьяченко, В.Г. Шеманин
Оценка перспектив использования лидара комбинационного рассеяния света для определения молекул карбонового цикла в атмосфере …… 201
Е.И. Веденин, И.А. Сарычев, А.Н. Солдатов, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин, А.С. Шумейко
Экспериментальное лазерное зондирование зерновой пыли одновременно на нескольких длинах волн 204
В. В. Дьяченко, В. Г. Шеманин
Лазеры как основа автоматических средств измерения и передачи информации о выбросах загрязняющих веществ в Госреестр …….. 207
Ю.В. Чербачи, В.Г. Шеманин, В.Е. Привалов
Компьютерное моделирование лидарного уравнения для комбинационного рассеяния света молекулами оксидов в атмосфере …… 211

Секция Д–5 –Техносферная безопасность
М.Н. Чура, Н.Н. Чура
Техносферная безопасность: перспективы ……. 213
Д.А. Давыдов, В.А. Туркин, А.А. Стяжкин, Е.Е. Сеничкина
Оценка техногенного риска при эксплуатации энергетических объектов водного транспорта ……... 215
Е.Ф. Загурский, В.А. Туркин
Технологии снижения выбросов углеводородов на нефтяных терминалах и танкерах ……... 217
В.А. Туркин, Г.В. Игнатенко, Ю.В. Письменская, Д.Р. Джиоев, В.В. Александрова
Судовая система локального лазерного контроля выбросов вредных веществ с отработавшими газами двигателей …… 219
В.В. Дьяченко
Ландшафтно-геохимические принципы организации мониторинга климатически активных газов …….. 221
Е.И. Шацкова, И.Г. Берёза
Реагентная обработка судовых нефтесодержащих вод ……. 224
И.Ю. Матасова
Особенности распределения Ni в почвах геохимических ландшафтов Черноморского побережья России …….. 227
И.Ю. Матасова
Гидрохимический мониторинг морской воды курортных территорий (на примере пляжной зоны Большого Сочи) …….. 229

А.Б. Санникова
Применение карт геохимических ландшафтов как основы комплексной экологической оценки территории ……. 231
А.Б. Санникова
Разработка муниципальной программы для повышения экологической безопасности населения …… 233
А.Б. Санникова
Техногенная трансформация пойменных экосистем Западного Кавказа … 237
Н.С. Березенко
Анализ изменений фитоценотической структуры макрофитобентоса в районе ПНБ «Шесхарис» в последние 40 лет (1977-2017 гг.) …… 240
А.Е. Воробьев
Современная концепция развития Smart City ……. 242
А.Е. Воробьев
Информационно-методологические аспекты проведения строительно-технических экспертиз объектов нефтегазовой отрасли ……... 244
Н.К. Веремьев, К.Н. Веремьев, С.Е. Баранов, В.И. Сикорский
Процессы управления очисткой пылегазового потока электрофильтрами . 246

Представляем журнал
Журнал «Фотоника» ……..…….…… 250
Журнал «Безопасность в техносфере» ……..…….…….. 251

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. конференция 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 2021 г. представлены 111 докладов по указанной тематике. Авторы докладов работают в различных научных учреждениях и университетах Санкт-Петербурга, Москвы, Фрязино Московской области, Рязани, Ижевска, Самары, Волгограда, Уфы, Екатеринбурга, Томска, Новосибирска, Курска, Ростова-на-Дону, Краснодара, Новороссийска, Минска (Беларусь).

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 Proceedingsof 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 2018 и 2019 г.г. опубликованы в журнале «Optical Memory&Neural Networks (Information Optics)».

С предложениями и за справками обращаться к профессору В.Е. Привалову в Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, (195251, Санкт-Петербург, СПбПУ, Физ.-мех. институт), по электронной почте vaevpriv@yandex.ru и к профессору В.Г. Шеманину в Новороссийский политехнический институт (353900, Новороссийск, ул. К. Маркса, 20) по электронной почте vshemanin@mail.ru

НАШ ЮБИЛЯР

В прошлом 2020 г. исполнилось 60 лет со дня пуска первого в мире лазера, **а в нынешнем 2021 г. исполнилось 60 лет члену Оргкомитета нашей конференции доктору географических наук, профессору Дьяченко Владимиру Викторовичу.**

Владимир Викторович в 1983 г. окончил геолого-географический факультет Ростовского государственного университета по специальности

«Гидрогеология и инженерная геология». В 1996 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 2004 г. – докторскую. В Новороссийском политехническом институте (филиале) КубГТУ работает с 1992 г. , где прошел путь от старшего преподавателя до профессора и заместителя директора НПИ по научной работе.

Его область научных интересов – геохимия и картографирование ландшафтов, экологическое нормирование и оценка состояния окружающей среды. С 2003 являлся научным руководителем грантов РФФИ, Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» и ГосЗадания нашего министерства.

Владимир Викторович является членом Русского географического общества (РГО), членом редколлегии журнала «Безопасность в техносфере» и «Вестника Краснодарского регионального отделения Русского географического общества», в разные годы - членом диссертационных советов ЮФУ, СКФУ, КубГУ, КубГТУ. Он - лауреат Национальной премии РГО «Хрустальный компас» и номинации «Научное достижение» (2016) за карту геохимических ландшафтов Южного и Северо-Кавказского федеральных округов.

Награжден Почетными грамотами Администрации города-героя Новороссийска и Министерства образования, науки и молодежной политики Краснодарского края.

Оргкомитет конференции, коллеги и ученики поздравляют юбиляра и желают здоровья, бодрости, новых достижений и побед!

Все только начинается!

СЕКЦИЯ А-1–ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА

Лазерные системы скоростной визуализации для исследования горения высокоэнергетических материалов

Ф.А. Губарев[1], А.В. Мостовщиков[1,2], А.П. Ильин[1], Л. Ли[3]

([1] Томский политехнический университет, Томск, [2] Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, [3] Liaoning Technical University, Huludao, China, E-mail: gubarevfa@tpu.ru)

В докладе представлены результаты визуализации поверхности горящих нанопорошков металлов и смесей в реальном времени с применением лазерного излучения и скоростной видеорегистрации. Рассмотрены различные схемы построения лазерных мониторов на основе активной среды на парах бромида меди для исследования инициирования и горения высокоэнергетических материалов. В частности, предлагается использовать систему с усилением яркости и независимой подсветкой для исследования горения нанопорошков металлов. Кроме лазерного мониторинга рассматриваются также методы визуализации на основе лазерной подсветки: скоростная визуализация с лазерной подсветкой и метод корреляции цифровых спекл-изображений. Предлагаемая техника эксперимента позволяет исследовать поверхность образцов порошковых материалов во время высокотемпературного горения, сопровождающегося интенсивным свечением и разлетом продуктов сгорания.

***Ключевые слова*:** усилитель яркости, лазерная подсветка, высокотемпературное горение, нанопорошок алюминия, скоростная визуализация

The report presents the results of visualization of the surface of burning metal nanopowders and mixtures in real time using laser radiation and high-speed imaging. Various schemes of laser monitors based on copper bromide vapor active medium are designed for studying the ignition and combustion of energetic materials. In particular, it is proposed to use a system with brightness amplification and independent illumination to study the combustion of metal nanopowders. In addition to laser monitoring, methods of visualization based on laser illumination are also considered: high-speed visualization with laser illumination and the method of correlation of digital speckle images. The proposed experimental technique makes it possible to study the surface of powder material samples during high-temperature combustion, accompanied by intensive glowing and scattering of combustion products.

***Key words*:** brightness amplifier, laser illumination, high-temperature combustion, aluminum nanopowder, high-speed imaging

Микро и наноразмерные порошки алюминия представляют значительный интерес в области физики горения и взрыва [1–3]. Они применяются при производстве керамических материалов сжиганием, а также в составе энергетических материалов, увеличивая выделение энергии при сжигании. Горение нанопорошков металлов, в частности, нанопорошков и смесей на основе алюминия, протекает при температурах, превышающих 2000°C и сопровождается ярким свечением. В ряде случаев при горении происходит

разлет продуктов сгорания. Процесс протекает с высокой скоростью, которая составляет миллиметры/сантиметры в секунду. Высокая температура и скорость протекания процессов, разлет продуктов сгорания и яркое свечение затрудняют исследование процесса путем прямого наблюдения. Скоростная визуализация позволяет исследовать собственное свечение образцов, в том числе с микроскопическим увеличением [3]. В дополнение к скоростной микроскопии, скоростной лазерный мониторинг является еще одним подходом для исследования процессов высокотемпературного горения [4-10]. В работе [4] представлен обзор работ по применению оптических систем с усилением яркости, предшествующих рассмотренным в данном докладе.

Лазерный мониторинг, основанный на использовании оптической системы с усилением яркости, позволяет в режиме реального времени визуализировать поверхность образцов сквозь пламя, создаваемое горящими реагентами. В отличие от скоростной микроскопии [3], с использованием лазерного монитора возможно исследовать образцы нанопорошков металлов значительной массы, горение которых сопровождается значительным выделением энергии [5-9]. В работе [5] нами показана возможность применения лазерного монитора для наблюдения горения нанопорошка алюминия и обнаружено, что отражение от поверхности горящего нанопорошка изменяется в процессе горения, и интенсивность выходного излучения лазерного монитора характеризует структурные изменения поверхности. В работе [6] подобная закономерность наблюдалась для смесей нано- и микропорошков металлов, что показало возможность получения количественной информации об изменении поверхности горения во времени с использованием лазерного монитора.

В работе [7] нами проведен анализ погрешности, вносимой нестабильностью работы усилителя яркости, и показано, что режим работы активного элемента на парах бромида меди может быть настроен таким образом, что колебание яркости изображений вследствие нестабильности работы усилителя яркости будет менее 5% от величины изменения средней

яркости изображений в процессе горения. Еще одной количественной характеристикой изменения поверхности нанопорошка во время горения является коэффициент корреляции изображений лазерного монитора [8] и коэффициент корреляции лазерных спекл-изображений, полученных путем освещения поверхности нанопорошка когерентным излучением [9].

Наиболее широко применяемые микроскопические системы с усилением яркости строятся с использованием линзы или объектива с коротким фокусным расстоянием (5–8 см), что соответствует небольшому расстоянию до объекта и небольшой зоне наблюдения. При исследовании горения с разлетом продуктов сгорания (пиротехнических смесей, твердых топлив), расположение объекта вблизи оптической системы создает риск повреждения оптических элементов продуктами сгорания [10]. В этом случае востребованы системы, позволяющие исследователям визуализировать такие горящие объекты на значительном расстоянии (30 см и более). В работах [7, 10] рассматривается дистанционная схема лазерного монитора на основе вогнутого зеркала. Такая схема позволила нам исследовать горение образцов твердого топлива на основе микронного порошка алюминия АСД-6М, горение которого сопровождается не только ярким свечением, но и значительным разлетом продуктов сгорания (20-30 см).

Наблюдение поверхности горящих нанопорошков с использованием дистанционной схемы, особенно смесей, содержащих нано- и микропорошки железа, показало необходимость аппаратного повышения контраста изображений лазерного монитора для точного определения границ волн горения. Авторами работы [11] в 1983 г. отмечалась перспективность использования лазерного проекционного микроскопа с независимой подсветкой от второго активного элемента на парах металла для изменения освещенности области наблюдения и исследования объектов, чувствительных к свету. На наш взгляд, лазерный монитор с независимой подсветкой (бистатический лазерный монитор) является перспективным инструментом для исследования нанопорошков металлов, которые поглощают практически весь падающий свет

и легко воспламеняются. Разработку подобной системы мы начали в 2013 г. [12]. В докладе представлены впервые полученные результаты применения лазерного монитора с независимой подсветкой для наблюдения поверхности горения нанопорошков металлов. Получено значительное повышение контраста изображений лазерного монитора. Побочным эффектом лазерной подсветки являются лазерные спеклы, которые приводят к зашумлению изображений. В то же время, лазерные спеклы несут дополнительную информации о поверхности и в перспективе, предположительно, могут использоваться для количественного анализа процесса горения.

В докладе также представлены результаты применения лазерной подсветки с длинами волн 532 нм (вторая гармоника Nd:YAG лазера) и лазера на парах бромида меди (510 нм), и узкополосной фильтрации для исследования горения нанопорошков металлов. Отмечается возможность одновременного использования метода лазерного мониторинга и метода лазерной подсветки с использованием подсветки, создаваемой усилителем яркости.

1 Zarko V. E., Gromov A. A. Energetic Nanomaterials: Synthesis, Characterization, and Application. Elsevier, 2016. 392 p.
2 Громов А.А., Хабас Т.А., Ильин А.П., Попенко Е.М., Коротких А.Г., Архипов В.А., Дитц А.А., Строкова Ю.И., Толбанова Л.О. Горение нанопорошков металлов. Дельтаплан, Томск, 2008. 382 с.
3 Wang H., Kline D. J., Zachariah M. R. In-operando high-speed microscopy and thermometry of reaction propagation and sintering in a nanocomposite // Nat. Commun. 2019. V. 10. No 1. Art. No 3032.
4 Evtushenko G.S. (Edt.) Methods and instruments for visual and optical diagnostics of objects and fast processes. Nova Science Publishers, Inc., NY, 2018. 236 p.
5 Li L., Ilyin A. P., Gubarev F. A., Mostovshchikov A. V., Klenovskii M. S. Study of self-propagating high-temperature synthesis of aluminium nitride using a laser monitor //Ceram. Int. 2018. V. 44.No 16. pp. 19800-19808.
6 Li L., Mostovshchikov A. V., Ilyin A. P., Smirnov A., Gubarev F. A. Optical system with brightness amplification for monitoring the combustion of aluminum-based nanopowders // IEEE T. Instrum. Meas. 2020.V. 69. No 2. pp. 457-468.
7 Губарев Ф.А., Ким С., Ли Л., Мостовщиков А.В., Ильин А.П. Оптическая система с усилением яркости для исследования поверхности нанопорошков металлов во время горения // Приборы и техника эксперимента. 2020. Т. 63. № 3. С. 96-103.

8 Gubarev F. A., Kim S., Li L., MostovshchikovA. V., Ilyin A. P. Analysis of surface changes of burning nanopowders using digital processing of laser monitor images // Appl. Opt. 2020. V. 59. No 18. pp. 5487-5496.
9 Li L., Mostovshchikov A. V., Ilyin A. P., Sytnik I. D., Gubarev F.A. Laser speckle correlation technique application for study of aluminium nanopowder combustion // Appl. Opt. 2020. V. 59. No 5. pp. 1263-1270.
10 Li L., Mostovshchikov A. V., IlyinA. P., Antipov P. A., Shiyanov D. V., Gubarev F. A. Imaging system with brightness amplification for a metal-nanopowder combustion study // J. Appl. Phys. 2020. V. 127, Art. No. 194503.
11 Исаков В.К., Калугин М.М., Парфенова Е.Н., Потапов С.Е. Исследование усиления в активных средах на переходах атомов меди и марганца применительно к созданию проекционных систем с усилением яркости изображений // ЖТФ. 1983. Т. 53. Вып. 4. С. 704-714.
12 Сухарников К.В. Бистатическаясхема лазерного монитора: ВКР на соиск. степ. Магистра./ ТПУ, Томск, 2013. 83с.

Автоматизированное 3D проектирование активного элемента газоразрядного ионного аргонового лазера

В.А. Степанов, Е.В. Овчинникова, А.О. Серебряков

(РГУ имени СА Есенина, г.Рязань,e-mail: vl.stehanov@365.rsu.edu.ru)

Работа посвящена автоматизированному проектированию активного элемента газоразрядного ионного аргонового лазера с использованием программного комплекса Компас-3D. Представлены: чертеж разрядного капилляра с окнами под углом Брюстера и системой охлаждения, 3D модели баллонов катодного узла и рубашки охлаждения, анодной металлокерамической части капилляра, обводного канала и элементов крепления катодного узла.

***Ключевые слова*:** газоразрядный лазер, аргон, программный комплекс, трехмерное моделирование, активный элемент, капилляр, катодный узел, система охлаждения, обратный инжиниринг, угол Брюстера.

The work is devoted to the computer-aided design of the active element of a gas-discharge ion argon laser using the Compass-3D software package. The following is presented: a drawing of a discharge capillary with windows at a Brewster angle and a cooling system, 3D models, balloons of the cathode assembly and cooling jacket, anode cermet part of the capillary, a bypass channel, and fastening elements of the cathode assembly.

***Key words*:** gas-discharge laser, argon, software package, three-dimensional modeling, active element, capillary, cathode assembly, cooling system, reverse engineering, Brewster angle.

Повышение эффективности и результативности современных производственных систем возможно за счет внедрения прогрессивных технологий, одной из которых является метод реверсивного (обратного) инжиниринга сложных изделий. Данный метод ориентирован на быстрое

получение конечного результата – трехмерной модели и комплекта конструкторской документации на изделие, что позволяет значительно сократить сроки проектирования, модификации и ввода в производство проектируемого изделия. Интенсивное развитие информационно-коммуникационных технологий и их широкое внедрение на каждом этапе жизненного цикла производимой продукции позволяет находить комплексное решение поставленной научно-технической проблемы посредством использования соответствующего класса программного обеспечения.

В настоящее время в промышленном производстве широкое распространение нашли системы автоматизированного проектирования– CAD (Computer-aided design) системы, позволяющие автоматизировать функции процесса проектирования изделия и создания комплекта рабочей документации, к которым относится Компас-3D – это программный комплекс, предназначенный для решения задач трехмерного моделирования. Данная система также используется для реализации метода реверсивного или обратного инжиниринга при проектировании изделий основного и вспомогательного производств в широких отраслях промышленности, машиностроении, приборостроении, авиастроении, судостроении, станкостроении, вакуумной, газоразрядной и квантовой электронике, металлургии, промышленно-гражданском строительстве, производстве товаров народного потребления и т.д. Использование данной CAD-системы позволяет оптимизировать и повысить эффективность труда при разработке проектной конструкторской документации.

Программный комплекс Компас-3D был использован для решения задачи моделирования активного элемента при создании источника когерентного излучения на основе газоразрядного ионного аргонового (криптонового) лазера. Чертежи основных частей активного элемента лазера представлены на рис. 1-6.

Активный элемент представляет собой двухэлектродную газоразрядную трубку. В трубке, наполненной аргоном(криптоном), реализуется сильноточный

(более 150 А/см^2) дуговой разряд с прямонакальным катодом. В качестве разрядообразующего канала в конструкции использована керамическая цельнопаянная длинномерная трубка из окиси бериллия с внутренним диаметром 2,5 мм, обеспечивающим одномодовый режим работы лазера. Бериллиевая керамика через металлический переход соединяется со стеклянной трубкой, торец которой с двух сторон шлифуется под углом Брюстера. Торцы трубки герметизируются специальным вакуумнопрочным клеем и тонкой кварцевой пластинкой. Для отвода тепла выделяемого током разряда используется рубашка охлаждения.

Активный элемент охлаждается дистиллированной водой или хладагентом (дистиллят). Чертеж общего вида активного элемента представлен на рис. 1.

В процессе проектирования рассматриваемого устройства были разработаны 3D модели отдельных составных узлов активного элемента лазера. В дальнейшем полученные трехмерные модели использовались для создания рабочих чертежей основных частей рассматриваемого устройства и разработки технологии изготовления отдельных компонентов, а также для выполнения сборки всего активного элемента. На рис. 2-6 представлены чертежи узлов, полученные в результате создания 3D моделей методом обратного инжиниринга (размеры и обозначения убраны с целью соблюдения соглашения о неразглашении коммерческой тайны).

Ионные лазеры на инертных газах (аргоне и криптоне) относятся к разряду уникальных устройств для когерентного видимого непрерывного излучения в сине-зеленой и красной областях спектра смощностью от нескольких милливатт до 50 ватт. Данный тип лазеров нашел свое применение там, где He-Ne- и He-Cd-лазеры оказались недостаточно мощными. Наибольший интерес представляет их использование в голографии при изготовлении художественных голограмм изделий самого профиля и в спектроскопии рассеянного света при изучении физических процессов наноструктур. Среди прочих областей применения можно выделить полиграфическую

промышленность (для экспонирования, изготовления видео- и аудиодисков), высокоскоростные лазерные принтеры, опорное направление- система посадки самолетов и подводное телевидение, разнообразные лазерные шоу. Кроме того, ионный аргоновый лазер используется для накачки лазеров на красителях и титан-сапфировых лазерных систем. При этом – путем соответствующей синхронизации мод – могут генерироваться импульсы в пико- и фемтосекундном диапазонах. Непрерывно перестраиваемые (cw) лазеры также подлежат накачке с применением аргоновых лазеров.

Представленные чертежи используются в производстве активного элемента газоразрядного ионного (аргонового и криптонового) лазеров фирмой ООО «ЛазерВариоРакурс». Проделана работа по восстановлению чертежей и технологии изготовления (восстановления) активных элементов аргонового и криптонового лазеров, применяемых в различных технологических и физических установках в России.

1. Е. В. Овчинникова, А. О. Серебряков. Цифровая трансформация производства: перспективы и средства компьютерного инжиниринга. // Материалы Всерос. науч.-метод. конф. Актуальныепроблемы физики и технологии в образовании, науке и производстве: материалы II Всерос. науч.-практ. конф., 26–27 марта 2020 года / Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина. С. 92-94. URL:https://www.rsu.edu.ru/wp-content/uploads/2020/10 /63239 .pdf (дата обращения: 14.03.2021).
2. В. Ф. Быковский, С. И. Мольков, В. С. Хилов, С. И. Хилов, В. А. Степанов. Мощный источник когерентного излучения для оптической голографии и рамановской спектроскопии. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. 2013. № 165. С. 71-79.

Оценивание изображения лазерного излучения в фокальной плоскости на стенде адаптивной оптической системы

Л.В. Антошкин, В.В. Лавринов, Л.Н. Лавринова, А.А.Селин

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

В задачах адаптивной коррекции искажений излучения, распространяющегося в турбулентной атмосфере, как и в задачах фокусировки лазерного излучения, эффективность в определенной степени зависит от алгоритма, оценивающего изображение излучения в плоскости приемного устройства. В данной работе представлены результаты оценивания алгоритмов, определяющих координаты энергетического центра тяжести фокального пятна в пределах регистрируемого распределения интенсивности.

Ключевые слова: изображение оптического излучения в фокальной плоскости

In the problems of adaptive correction of distortions of radiation propagating in a turbulent atmosphere, as well as in problems of focusing laser radiation, the efficiency to a certain extent depends on the algorithm that estimates the radiation image in the plane of the receiving device. This paper presents the results of evaluating algorithms that determine the coordinates of the energy center of gravity of the focal spot within the recorded intensity distribution.

***Keywords*:** image of optical radiation in the plane of the receiving device

Адаптивные оптические системы, применяемые при передаче информации в системах оптической связи, узконаправленной транспортировке энергии электромагнитного излучения, формировании изображения на астрономических телескопах в реальных условиях представляют собой один из самых радикальных способов уменьшения вредного влияния турбулентной атмосферы на оптическое излучение. В адаптивных системах процессы измерения, коррекции и управления осуществляются в реальном масштабе времени [1], что обеспечивается результативным взаимодействием всех компонент адаптивной системы. Одной из таких компонент является алгоритм, оценивающий изображение излучения в плоскости приемного устройства, в качестве которого сегодня используется высокоразрешающая видеокамера.

Светочувствительная матрица видеокамеры регистрирует изображение излучения в фокальной плоскости в виде распределения интенсивности: каждый пиксель на светочувствительной матрице характеризуется значением интенсивности, пропорциональным числу фотонов светового поля в пределах площади, соответствующей размеру пикселя.

Изображение лазерного излучения в фокальной плоскости можно рассматривать как распределение плотности вероятности приходящих фотонов. Регистрация фотонов определяется характеристиками видеокамеры. В системе адаптивной оптики, выполняющей коррекцию влияния атмосферных явлений на профессиональных астрономических телескопах, предполагается возможность регистрации однофотонного сигнала и определения центра тяжести проецируемого фокального пятна с заданной точностью. Точность определения центра тяжести зависит от алгоритма, выполняющего расчет координат центра тяжести фокального пятна в пределах регистрируемого распределения интенсивности. К числу наиболее применимых сегодня алгоритмов, относятся алгоритм взвешенных центров тяжести, который дает оптимальный результат независимо от отношения сигнал–шум для точечных источников; квадрантный и корреляционный алгоритмы.

Исследования на основе компиляции аналитической теории с численным моделированием путем варьирования потока фотонов, объема считываемого шума и выборки не позволяют выработать рекомендации к выбору наилучшего алгоритма оценки изображения оптического излучения в фокальной плоскости и наилучшего размера пикселя светочувствительной матрицы в камере.

В данной работе представлен иной подход к оцениванию алгоритмов: в зависимости от параметров турбулентности и параметров оптических элементов адаптивной системы. Статистический анализ эффективности алгоритмов помимо расчета координат энергетического центра тяжести включает в себя оценивание эффективного радиуса фокального пятна и его пиковой интенсивности. Анализ оценок позволил выработать рекомендации к применению вышеперечисленных алгоритмов.

1. Лавринов В.В. Динамическое управление адаптивно-оптической коррекцией турбулентных искажений лазерного излучения. // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т.30. № 10. С. 893-901.

Роль когерентного, некогерентного светового излучения и магнитного поля в модификации физико-химических и терапевтических свойств воды и водосодержащих систем

Л.В.Антошкин[1], Г.Н.Сидоренко[2], Б.И.Лаптев[2], Н.П.Горленко[3]

([1]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, lant@iao.ru,

[2]Новые технологии о.о.о., Любляна, Словения, bornovo@gmail.com,
[3]Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, gorlen52@mail.ru)

Показано, что при воздействии He-Ne лазера и магнитного поля на воду и водосодержащие системы изменяются их физико-химические параметры. Сочетанное воздействие этих факторов вызывало синергический эффект. В экспериментальных и клинических исследованиях показаны синергический эффект фотомагнитной терапии, а также повышение терапевтической активности омагниченной минеральной воды и лечебной грязи. Сделано заключение о том, что одним из первичных механизмов воздействия лазерного излучения, магнитного поля и их сочетания является изменение структуры и, соответственно, свойств воды в организме.
***Ключевые слова*:** лазер, магнитное поле, свойства воды, минеральная вода, лечебная грязь.
It is shown that under the influence of a He-Ne laser and a magnetic field on water and water-containing systems, their physicochemical parameters change. The combined effect of these factors caused a synergistic effect. Experimental and clinical studies have shown a synergistic effect of photomagnetic therapy, as well as an increase in the therapeutic activity of magnetized mineral water and therapeutic mud. It is concluded that one of the primary mechanisms of the action of laser radiation, magnetic field and their combination is a change in the structure and, accordingly, the properties of water in the body.
***Keywords*:** laser, magnetic field, properties of water, mineral water, therapeutic mud.

Влияние когерентного, некогерентного излучения и магнитного поля на физико-химические и терапевтические свойств воды и водосодержащих систем изучено в ряде работ. Показано, что при воздействии He-Ne лазера снижается оптическая плотность и повышается pH воды, а при воздействии магнитного поля на воду и водосодержащие системы изменяются физико-химические и биохимические параметры [1 – 3]. Сочетанное воздействие света и магнитного поля вызывало синергический эффект [1]. Синергический эффект фотомагнитной терапии, а также повышение терапевтической активности омагниченной минеральной воды и лечебной грязи наблюдался в эксперименте и клинике [2 – 4]. Сделано заключение о том, что одним из первичных механизмов воздействия лазерного излучения, магнитного поля и их сочетания

на организм, а также действия магнитного поля на минеральную воду и лечебную грязь является изменение структуры воды и водосодержащих систем и, соответственно, свойств воды в организме.

1. Бритова А.А., Адамко И.В., Бачурина В.Л. Активация воды лазерным излучением, магнитным полем и их сочетанием // Вестник Новгородского государственного университета. 1998. № 7. С. 11-14.
2. Сидоренко Г. Н., Кузьменко О.В., Лаптев Б. И., Горленко Н. П., Антошкин Л. В. Оценка механизмов действия и эффективности сочетанного действия фото- и магнитотерапии // Вестник новых медицинских технологий. Электронный журнал. 2020. № 6. http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2020-6/e2020-6.pdf
3. Сидоренко Г.Н., Коновалов А.И., Лаптев Б.И., Иванова Т.Г., Горленко Н.П., Антошкин Л.В., Рыжкина И.С. О роли структуры воды в механизме комплексного действия магнитного поля, природных лечебных факторов и высокоразбавленных растворов // Вестник новых медицинских технологий. 2017. №1. С. 71–81.
4. Счастная Н.И., Улащик В.С. Экспериментальное обоснование применения фотомагнитотерапии при дерматите // Вопр. курортол. физиотер. и ЛФК. 2018. №2. С. 25-36.

Возможные способы повышения эффективности лазерофореза

А. М. Лисенкова, М. М. Кугейко, Т. А. Железнякова, Н. М. Орёл

(Белорусский государственный университет, Минск, lisenkova@bsu.by)

Рассмотрены возможные способы повышения эффективности лазерофореза, его преимущества по сравнению с традиционными методами введения лекарств.

Ключевые слова: лазерофорез, лазерное излучение, биофармацевтические технологии.

Possible ways to increase the effectiveness of laserphoresis, its advantages compared to traditional medicine injection methods are considered.

Keywords: laserphoresis, laser radiation, biopharmaceutical technology

Современная медицина столкнулась с целым рядом болезней, трудно поддающихся фармакотерапии. Лазерофорез (ЛФ) – перспективное и интенсивно развивающееся направление современной медицины. Чрескожное введение веществ посредством лазерного облучения просто реализуется, не травматично, асептично, экономически выгодно и эффективно. В процессе сравнения степени влияния различных физических факторов на форетическую подвижность различных веществ было показано преимущество ЛФ. Следует отметить, что для ЛФ не требуются ионизированные и поляризованные

вещества, а также электроды, закрепляемые на разных частях тела, обязательно необходимые для проведения давно и широко используемого электрофореза.

Технология ЛФ совершенствуется по разным направлениям. Создаются новые эффективные методики и аппаратура для ЛФ. При этом важными направлениями с точки зрения физиков, биологов и медиков являются:

- оптимизация спектральных, энергетических параметров лазерного излучения (ЛИ), режима работы излучателя при разных патологиях;
- комбинирование лазерных и биофармацевтических технологий с другими вариантами физиотерапевтического воздействия, например, с предварительной микростимуляцией при переломах и мышечных травмах;
- оптимизация способов доставки веществ, что важно при труднодоступной локализации патологического очага;
- поиск новых лекарственных средств (ЛС) и мест для проведения процедуры ЛФ; например, широкое использование фитопрепаратов и выбор мест их введения;
- оптимизация состава гелей, подбор смесей и концентраций.

При воздействии ЛИ на биоткань выбор параметров излучения и режима воздействия, как правило, осуществляется эмпирически, исходя из опыта и статистически накопленной информации в биомедицинских исследованиях. В тоже время знание спектральной зависимости и контроль глубины проникновение ЛИ в биоткань является одним из ключевых моментов при выборе оптимальных условий проведения лазеротерапии, включая лазерофорез, и при наблюдении разных слоев биоткани во время диагностики и лечения различных заболеваний. Разработанный в БГУ оптический метод и устройство для определения глубины проникновения света в кожу в условиях общей вариативности ее структурно-морфологических параметров и основанные на регистрации потоков отраженного от кожи излучения в трех спектральных участках и их спектральном анализе с использованием регрессионного подхода к решению обратных задач оптики светорассеивающих сред позволяют

оперативно оценить спектральную глубину проникновения ЛИ в кожу по изображениям кожи в трех широких спектральных участках (красном, зеленом и синем), что важно для эффективного проведения лазеротерапии [1].

В течение ряда лет в БГУ также разрабатываются инновационные методики ЛФ и аппаратура увеличения биодоступности и эффективности ЛС, включая разные фитопрепрепараты, для нормализации нарушений метаболизма при экспериментальных патологиях печени и поджелудочной железы.

Представляется важным проведение дальнейших научных исследований в области разработки и усовершенствования технологии ЛФ при активном сотрудничестве специалистов естественных наук и медицины стран СНГ.

1. С.А. Лысенко, М.М. Кугейко. А.М. Лисенкова. Неинвазивное определение спектральной глубины проникновения света в кожу. // Оптика и спектроскопия. 2013. Т. 115. № 5. С. 184–191.

Положительный столб разряда в трубках плавно изменяющегося диаметра и оптимальные режим работы He-Ne лазера

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

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

Рассмотрены процессы в положительном столбе разряда постоянного тока в лазерных трубках с плавно изменяющимся диаметром разрядного канала. Исследуются выполнение условий оптимальности работы He-Ne лазера при различных формах активного элемента.

Ключевые слова: положительный столб, лазерная трубка переменного диаметра, He-Neлазер.

The processes in the positive column of a direct current discharge in laser tubes with a smoothly varying diameter of the discharge channel are considered.The fulfillment of the conditions for the optimal operation of a He-Ne laser is investigated for various forms of the active element.

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

В поисках увеличения мощности He-Ne лазера рассматривались различные формы активного элемента, отличающиеся от традиционной цилиндрической [1-2]. В работе [3] нами был рассмотрен положительный столб (ПС) разряда постоянного тока в лазерных трубках с меняющимся радиусом разрядного

канала и получена система уравнений, связывающая внешние параметры столба (меняющийся радиус разрядного канала, давление напуска газа и разрядный ток) с его основными внутренними характеристиками (концентрацией заряженных частиц, электронной температурой, напряженностью продольного электрического поля). В частности, из этой системы можно найти концентрацию электронов как функцию продольной и поперечной координат трубки: $n_e = n_e(r,z)$. Зная электронную концентрацию, можно рассчитать концентрации метастабильных атомов гелия n_{He*} и концентрации атомов неона на верхнем n_{Ne**} и нижнем n_{Ne*} лазерных уровнях[4] (используя константы скорости возбуждения соответствующих переходов из [5-12]). Для оптимального режима работы He-Ne лазера необходимо, во-первых, чтобы скорость населения верхнего лазерного уровня как за счет передачивозбуждения от метастабильного атома гелия, так и в результате ступенчатого возбуждения были одного порядка ($n_{He*}\ k_{пер}\ n_{Ne} \sim n_e k_{воз} n_{Ne(m)}$, где $k_{пер}$– константа возбуждения перехода He* + Ne→Ne** + He, $n_{Ne(m)}$– концентрация метастабильных атомов Ne, через которые происходит ступенчатое возбуждение верхнего и нижнего лазерного уровня, $k_{воз}$– константа скорости возбуждения), а во-вторых,чтобы плотности метастабильных атомов неона и гелия были одного порядка ($n_{He*} \sim n_{Ne(m)}$).Таким образом, возникает задача рассмотрения лучшего выполнения этих условий для различных геометрий активного элемента, которая исследуется в настоящее время.

1. Kozhevnikov V.A., Privalov V.E., ShemaninV.G. Upgrade the Evaluation of the Contribution of the Active Element Cross Section Geometry to the He-Ne Laser Energy Characteristics. // Optical Memory and Neural Networks. 2019, v. 28, No. 3, pp. 215–221.
2. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Усиление в лазерах при неоднородных граничных условиях. // Известия высших учебных заведений. Физика, 2020, Т.63, №9 (730), С. 165-171.
3. 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.
4. Елецкий А.В., Смирнов Б.М. Газовые лазеры. М., Атомиздат, 1971, 152 с.

5. Veatch G. E., Oskam H.J. Recombination and ion-conversiobn processes in helium-neon mixtures // Physical Review A. 1970, v.2. N. 4,pp.1422-1428.
6.Gerber R. A., Sauter G. F., Oskam H.J. Studies of decaying plasmas produced in neon and helium-neon mixtures // Physica. 1966, v. 32, pp. 1921-1937.
7. Deloche R., Monchicourt P., Cheret M., Lambert F. High-pressure helium afterglow at room temperature // Phys. Rev. A. 1976, v. 13. N.3, pp.1140-1176.
8. Johnson A. W., Gerardo J. B. Recombination and ionization in a molecular ion dominated helium afterglow // Phys. Rev. A. 1972, v.5. N.3,pp.1410-1418.
9. Frommhold L., Biondi M. A., Mehr F. J. Electron-Temperature Dependence of Electron-Ion Recombination in Neon // Phys. Rev. 1968, v. 165. N. 1,pp.44-52.
10. Fehsenfeld F.C., Schmeltekopf A. L., Golden D. D. et. al. Thermal Energy Ion-Neutral Reaction Rates I. Some Reaction of Helium Ions // J. Chem. Phys. 1966, v. 44, pp. 4087-4094.
11. Schmeltekopf A.L., Fensenfeld F.C. De-excitation Rate Constants for Helium Metastable Atoms with Several Atoms and Molecules // J. Chem. Phys. 1970, v.53, pp. 3173.
12. Pouvesle J. M., Stevefelt J. at al. Reactivity of metastable helium molecules in atmospheric preassure afterglow // J. Chem. Phys. 1985,v.83 N.6,pp. 2836-2839.

Преимущества нового метода решения уравнения Гельмгольца, используемого при расчете энергетических характеристик He-Ne лазера

В.А. Кожевников, В.Е. Привалов

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

Рассмотрены преимущества нового метода нахождения приближенного решения однородного уравнения Гельмгольца для произвольной области, используемого при расчете усиления и мощности излучения He-Ne лазера.
Ключевые слова: уравнение Гельмгольца, приближенные методы решения, He-Ne лазер
The advantages of a new method for finding an approximate solution of the homogeneous Helmholtz equation for an arbitrary region, used in calculating the gain and radiation power of a He-Ne laser, are considered.
Keywords: Helmholtz equation, approximate solution methods, He-Ne laser.

В работе [1] предложен метод нахождения приближенного решения однородного уравнения Гельмгольца $\Delta f + \lambda^2 f = 0$ с однородными граничными условиями, в дальнейшем обобщенный и на неоднородные [2]. Этот метод применяется для расчета усиления [1-2], а также мощности [3] He-Ne лазера с произвольным поперечным сечением активного элемента. Какие преимущества

этого метода по сравнению с существующими методами? Во-первых, он позволяет находить собственные значения оператора Лапласа λ соответствующей задачи Дирихле. Если же использовать методы конечных разностей [4-5] или конечных элементов [6-7], не зная конкретного значения λ, мы должны будем находить приближенное решение для каждого λ из некоторого набора около предполагаемого собственного значения и затем по какому-либо критерию отбирать нужное решение.

Во-вторых, метод дает решение в аналитическом виде $f^n(r,\varphi)=\sum_{m=0}^{n}\{a_{m1}J_m(\lambda r)\cdot\cos(m\varphi)+a_{m2}J_m(\lambda r)\cdot\sin(m\varphi)\}$ (J_m – функция Бесселя порядка m), который удобен для анализа, и это решение *точно* удовлетворяет уравнению (граничному условию - приближенно). В-третьих, метод быстрый, т.к. используются вычисления только на границе области, в которой ищется решение – если мы хотим, например, чтобы расстояние между точками-аргументами, для которых вычисляются значения искомого решения, не превосходило некого ε, то на границе области нужно делать расчеты с числом точек, пропорциональным 1/ε, в то время как количество узлов в методе конечных разностей или количество треугольников (прямоугольников и т.д.) в методе конечных элементов внутри области будет пропорционально $1/\varepsilon^2$ – к тому же эти методы нужно применять заново для каждого λ. Помимо этих преимуществ следует отметить, что этот метод вычислительно-устойчивый [8], найденное решение всегда существует и единственно. Поэтому мы и в дальнейшем собираемся использовать его для расчета энергетических характеристик лазера.

1. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Влияние геометрии сечения активного элемента лазера на усиление его излучения. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2018. Т. 11. № 2. С. 84 – 95.
2. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Усиление в лазерах при неоднородных граничных условиях. // Известия высших учебных заведений. Физика, 2020, Т.63, №9 (730), С. 165-171.
3. 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.
4. Press W.H., Flannery B.P., Teukolsky S.A., Vetterling W.T. Numerical Recipes in Fortran 77: The Art of Scientific Computing 2nd Edition. Cambridge University, 1992.
5. Mitchell A.R., Griffiths D.F. The Finite Difference Method in Partial Differential Equations. New York: Wiley, 1980.
6. Strang G., Fix, G. An Analysis of the Finite Element Method. Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1973.
7. Burnett D.S. Finite Element Analysis: From Concepts to Applications. Reading, MA:Addison-Wesley, 1987.
8. Higham N.J. Accuracy and stability of numerical algorithms (2nd ed.). Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002.

Оптимизация и моделирование рекомбинационных лазеров на парах металлов

Г.Д. Чеботарев

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

Проведены экспериментальные и численные исследования рекомбинационных лазеров на парах стронция и кальция с различным активным объемом. Установлен ряд закономерностей в поведении параметров возбуждения и выходных характеристик рекомбинационных лазеров.

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

Experimental and numerical studies of strontium vapor and calcium vapor recombination lasers with different active volumes were carried out. A number of regularities in the behavior of the excitation parameters and output characteristics of recombination lasers were established.

Keywords: metal vapor recombination lasers, numerical modeling.

Ионные рекомбинационные лазеры на парах стронция (λ=430.5 нм SrII) и кальция (λ=373.7 нм CaII) излучают с высокими энергетическими характеристиками в фиолетовой и УФ областях спектра и привлекательны для практики [1-2]. В данной работе были проведены экспериментальные и численные исследования этих лазеров с различным активным объемом. В частности, была проведена оптимизация параметров активных элементов при вариации условий возбуждения в широких пределах. Для проведения

численных исследований нами использовались самосогласованные математические модели, которые включали описание схемы накачки, разрядной плазмы и выходного излучения [3-4]. Результаты моделирования показали хорошее согласие с данными экспериментов. Проведенный анализ результатов экспериментальных и численных исследований позволил установить ряд закономерностей в поведении параметров возбуждения и выходных характеристик, свойственных рекомбинационным лазерам на парах металлов, а также определяющие их физические процессы в плазме активных сред. Результаты, полученные в работе, позволяют целенаправленно выбирать условия оптимального возбуждения ионных рекомбинационных лазеров на парах металлов.

1 A.N. Soldatov, N.V. Sabotinov, E.L. Latush, G.D. Chebotarev, N.K. Vuchkov, N.A. Yudin. Strontium and calcium vapour lasers. Volume I / Prof. A.N. Soldatov, Academician N.V. Sabotinov, Editors. – Sofia: Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, 2013. 293 p.
2 A.N. Soldatov, N.V. Sabotinov, E.L. Latush, G.D. Chebotarev, N.K. Vuchkov, N.A. Yudin. Strontium and calcium vapour lasers. Volume II / Prof. A.N. Soldatov, Academician N.V. Sabotinov, Editors. – Sofia: Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, 2014. 323 p.
3 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.
4 Чеботарев Г.Д., Пруцаков О.О., Латуш Е.Л. Моделирование ионного рекомбинационного лазера на парах кальция. // Электромагнитные волны и электронные системы. 2012. №6. С. 51-55.

Моделирование многоволнового лазера на ионных переходах стронция

Г.Д. Чеботарев

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

Проведена численная оптимизация многоволновых лазеров на ионных переходах стронция (λ=430.5; 416.2; 1033 и 1091 нм SrII) с различной геометрией активных элементов. Полученные результаты обеспечивают возможность управления вкладом разных спектральных составляющих в выходное излучение.

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

Numerical optimization of the multiwave lasers on strontium ion transitions (λ=430.5; 416.2; 1033 and 1091 nm SrII) with different geometries of active elements was carried out. The

results obtained provide the ability to control the contribution of different spectral components to the output radiation.
Keywords: multiwave strontium vapor laser, numerical modeling.

Лазер на парах стронция отличается тем, что в его активной среде эффективно реализуются два механизма создания инверсии населенностей: рекомбинационный и ионизационный механизмы. В частности, данный лазер излучает с высокими выходными характеристиками в коротковолновом диапазоне спектра на ионных рекомбинационных переходах стронция (λ=430.5 и 416.2 нм SrII), а также в инфракрасном диапазоне спектра на самоограниченных переходах атома и иона стронция (λ=1033 и 1091 нм SrII, λ~3 мкм SrI и λ=6.456 мкм SrI) [1]. Эксперименты [2] показали возможность совместной многоволновой генерации в широком диапазоне спектра на рекомбинационных и самоограниченных переходах стронция. При этом для достижения эффективной многоволновой генерации требуется тщательный подбор режима возбуждения активной среды.

В данной работе были проведены численные исследования многоволновых лазеров на ионных переходах стронция (λ=430.5; 416.2; 1033 и 1091 нм SrII) с различной геометрией активных элементов. В частности, была проведена численная оптимизация параметров активных элементов при вариации условий возбуждения в широких пределах. Для численных экспериментов использовалась самосогласованная математическая модель лазера на парах стронция [3]. Результаты моделирования многоволнового режима генерации показали хорошее согласие с экспериментальными данными. На основе анализа результатов численных исследований установлен ряд закономерностей, свойственных ионному многоволновому лазеру на парах стронция. Полученные результаты обеспечивают возможность управления вкладом разных спектральных составляющих в выходное излучение.

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 / Под ред. А.Н. Солдатова, Е.Л. Латуша. – Томск: ТМЛ-

Пресс, 2012. – 526 с.
2 Солдатов А.Н., Чеботарев Г.Д., Латуш Е.Л., Полунин Ю.П., Шумейко А.С., Юдин Н.А. Лазер на парах стронция с ионизационным и рекомбинационным механизмами формирования инверсии.// Квантовая электроника. 2016. Т. 46. №12. С. 1142-1145.
3 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.

Рамановская спектроскопия для оценки состояния эмали зубов после обработки патологического зубодесневого кармана

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

Л.Т. Волова, О.О. Фролов, А.Ю. Ионов

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

В работе представлены результаты применения Рамановской спектроскопии для оценки состава эмали зубов до и после обработки патологического зубодесневого кармана. Был проведен хемометрический анализ Рамановских спектров исследуемых групп образцов. Выявлены спектральные изменения эмали зубов после обработки патологического зубодесневого кармана, которые связаны с изменением минерального состава и образованием органического матрикса.
Ключевые слова: Рамановская спектроскопия, эмаль зубов, хемометрический анализ, обработка патологического зубодесневого кармана
The paper presents the results of using Raman spectroscopy to assess the composition of tooth enamel before and after treatment of the pathological periodontal pocket. A chemometric analysis of the Raman spectra of the studied groups of samples was carried out. Spectral changes in tooth enamel after treatment of a pathological periodontal pocket were revealed, which are associated with a change in the mineral composition and the formation of an organic matrix.
Keywords: Raman spectroscopy, tooth enamel, chemometric analysis, treatment of pathological periodontal pockets

На сегодняшний день проблема заболеваний пародонта остаётся в центре внимания многочисленных исследований и является актуальной в стоматологии в связи с широкой распространённостью и недостаточной эффективностью проводимого лечения. По статистике Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ, 2018), частота поражения пародонта в разных странах мира составляет 98%. Основное место в структуре заболеваемости пародонта занимает хронический генерализованный пародонтит (ХГП). Развитие данной

патологии связано с нарушением баланса микрофлоры полости рта и ослаблением функций местных и общих механизмов защиты организма [1]. Существует много методов лечения заболевания, но основной процедурой в комплексном лечении является обработка патологического зубодесневого кармана. Но доподлинно неизвестно какое влияние оказывает данная процедура на структуру тканей зубов, в частности эмали.

Среди не деструктивных методов оценки состава твердых тканей зубов широкое распространение получил метод Рамановской спектроскопии. Данный метод был реализован с помощью экспериментального стенда, в состав которого входят диодный лазер LML-785.0RB-04 (PDLD Inc., США), оптический рамановский модуль PBL-785 (*InPhotonics*, США), спектрометр *Sharmrock*S R-303i (*AndorTechnologyLtd*., Великобритания), цифровая охлаждаемая камера ANDOR DV-420A-OE (*AndorTechnologyLtd.*, Великобритания) и компьютер. Использование данного спектрометра обеспечивает разрешение 0,15 нм (1 $см^{-1}$) и низкий уровень шумов (для снижения уровня шумов матрица в камере охлаждается до –60 °С). Регистрация спектров осуществляется в интервале волновых чисел от 400 до 2200 $см^{-1}$, так как данный спектральный диапазон характеризуется относительно большой глубиной проникновения излучения в твердые ткани зубов. Также вычислялась погрешность метода, которая составила 4%. Обработка спектров проводилась в программном пакете WolframMathematica 10 (WolframResearch, США).

Объектами исследования являлись зубы, удаленные в связи с хроническим пародонтитом. Диагноз пародонтит ставился клинически и при анализе компьютерной конусно-лучевой томографии (КТ) (код заболевания по МКБ-10 (1997 г.) - К05.3). Условно выделены 2 группы образцов: 1 группа – удаленные зубы пациентов до обработки; 2 группа – удаленные зубы после обработки патологического зубодесневого кармана.

В результате исследований проведен хемометрический анализ спектров комбинационного рассеяния эмали зубов до и после кюретажа. Были выявлены

спектральные изменения эмали зубов. Установлено, что после проведения обработки патологического зубодесневого кармана, в эмали зубов происходят спектральные изменения, связанные с изменением относительной интенсивности линий 957 $см^{-1}$ (v1 P−O symmetric stretch (PO_4^{3-})) и 1070 $см^{-1}$ (C−O inplane stretch (CO_2^3v1)). Данные линии связаны с изменением минерального состава. Также наблюдаются изменения интенсивности линий на 1449 $см^{-1}$ (Lipidsandproteins) и 854 $см^{-1}$ (Hydroxyproline ν(C−C) stretch), связанные с образованием органического матрикса.

Данные спектральные изменения показывают восстановление тканей эмали зубов после данной операции.

Метод спектроскопии комбинационного рассеяния может быть в дальнейшем применен для оценки тканей зубов после кюретажа.

1 S.L. Blashkova, A.S. Galyavich, E.M. Vasilevskaya. Prevalence and structure of periodontal disease in patients with coronary heart disease preparing for coronary artery bypass surgery. // Казанский медицинский журнал. 2015. Т. 96. №2

2 Пародонтология / Герберт Ф. Вольф, Эдит М. Ратейцхак, Клаус Ратейцхак. Пер. с нем. /Под ред. проф. Г.М.Барера. М. :МЕД пресс информ. 2008. 548 с.

Детальная спектральная оценка структурных особенностей дентина зубов после процедуры отбеливания

Е. В. Тимченко, П. Е. Тимченко, О.А. Магсумова, О. О. Фролов, Л. Т. Волова, М.А. Постников, В.А. Полканова, Н.М. Оруджов, Т.В. Козлова

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

Проведены эксперименты по оценки твердых тканей зубов с помощью метода спектроскопии КР. В результате проведенных исследований установлены спектральные различия дентина зубов до и после процедуры отбеливания. С помощью метода спектроскопии КР показано, что процесс отбеливания вызывает изменения в дентине зубов, связанные с изменением органических и минеральных компонентов.

Ключевые слова: спектроскопия КР, изменения в дентине, процедура отбеливания.

Experiments were carried out to evaluate the hard tissues of the teeth using the Raman spectroscopy method. As a result of the conducted studies, spectral differences in the dentin of the teeth before and after the bleaching procedure were established. Using the Raman spectroscopy method, it is shown that the bleaching process causes changes in the dentin of the teeth associated with changes in organic and mineral components.

Keywords: Raman spectroscopy, changes in dentin, bleaching procedure.

Актуальной проблемой современной эстетической стоматологии является устранение и лечение недостатков зубов, связанных с изменением цвета. Решением данной проблемы является процедура отбеливания зубов. Помимо эффективного и быстрого достижения желаемого эффекта, процедура отбеливания сопровождается структурными изменениями в дентине зуба [1,2]. В связи с этим разрабатываются новые методики оценки состояния твердых тканей зубов после отбеливания.

Объектами исследования являлись удаленные по ортодонтическим показаниям зубы человека. Образцы разделены на 2 группы: 1 группа –дентин зубов до отбеливания, 2 группа –дентин зубов после отбеливания. Отбеливание зубов проводилось химическим методом с использованием системы OpalescenceXtra BOOST с содержанием перекиси водорода 40%.

Одним из методов оценки влияния отбеливания на структуру дентина зубов может быть использован метод спектроскопии комбинационного рассеяния, который реализован с помощью экспериментального стенда, подробно описанного в работе [3]. Провести подробный анализ спектров комбинационного рассеяния тканей зубов после отбеливания позволяют деконволюция спектров методом подбора спектрального контура и хемометрический анализ. Программная среда MagicPlotPro 2.7.2 позволяет реализовать метод моделирования спектрального контура для повышения информативности спектров, с помощью разложения спектра на линии, описываемые функцией Гаусса. Полученные в ходе исследования результаты были проанализированы в программной среде SPSSStatistics 19, а также проведен хемометрический анализ результатов с помощью метода Уилкса (Wilks). В результате проведенных исследований установлены изменения спектров дентина после отбеливания зубов на линиях 956 см$^{-1}$ ($PO_4^{3-}(\nu_1)$ (P-O symmetric stretch)), 1000 см$^{-1}$ и 1030 см$^{-1}$ (phenylalanine), 852 см$^{-1}$(proline), 877 см$^{-1}$ (hydroxyproline), 1152 см$^{-1}$(proline).

Показано, что процесс офисного отбеливания зубов вызывает структурные изменения в дентине зубов, связанные с уменьшением органических компонентов зубов по отношению к минеральным компонентам, что обусловлено окислением коллагеновой матрицы в процессе отбеливания.

1. Ю.Л. Орехова, М.О. Новак, А. А. Петров, Е.А. Ивахненко. Изучение влияния клинического отбеливания на твердые ткани и пульпу зубов. //Стоматолог. Минск. 2020. №. 1. С. 52-59.
2. О.А. Магсумова, Е.А. Рыскина, М. А. Постников, Т.М. Ткач, В.А. Полканова. Изменение чувствительности твердых тканей зубов после проведения процедуры офисного отбеливания зубов. // Институт стоматологии. 2020. №3(88). С.62-63
3. Timchenko E., Timchenko P., Volova L. et al. Raman Spectroscopy of Changes in the Tissues of Teeth with Periodontitis. // DIAGNOSTICS 2020. V. 10. Issue 11. № 11.

Хемометрический анализ состава гидроксиапатита после проточной делипидации

П.Е. Тимченко[1], Е. В. Тимченко[1], Е.В. Писарева[1], М. Ю. Власов[2], О. О. Фролов[1], Л. Т. Волова[2], А.Ю. Ларина1, Д.А. Романова[1], С.С. Сергеева[1], Р.Т. Самигуллин[1]

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

В работе представлены результаты исследований состава гидроксиапатита с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния. Объектами исследования являлись группы образцов гидроксиапатита, изготовленных по технологии «Лиопласт»® из компактной костной ткани коровы с заменой вакуумной делипидации исходного сырья на проточную, путем последовательного промывания в перекиси водорода и эфире. В качестве дополнительной обработки была использована фильтрация растворов после деминерализации костной ткани. В результате проведенных экспериментов показано, что при получении данного вида биоматериалов можно использовать проточную делипидацию, что является экономически выгодным по сравнению с применением стандартной вакуумной очистки, а также отказаться от дополнительного фильтрационного этапа.

Ключевые слова: гидроксиапатит, липиды, рамановская спектроскопия, Лиопласт

The paper presents the results of studies of the composition of hydroxyapatite using Raman spectroscopy. The objects of the study were groups of hydroxyapatite samples made using the Lioplast® technology from the compact bone tissue of a cow with the replacement of the vacuum delipidation of the feedstock with a flow one by sequential washing in hydrogen peroxide and ether. Filtration of solutions after bone tissue demineralization was used as an additional treatment. As a result of the experiments, it was shown that when obtaining this

type of biomaterials, it is possible to use flow-through delipidation, which is economically profitable in comparison with the use of standard vacuum cleaning, and also to refuse an additional filtration stage.
Keywords: hydroxyapatite, lipids, Raman spectroscopy, Lioplast

Создание костных материалов для замещения врожденных или приобретённых дефектов костной ткани и обеспечения полной регенерации костной ткани, не смотря на множественные исследования и накопленный опыт, – одна из важнейших проблем в стоматологии, травматологии и ортопедии [1]. С ростом необходимости в поиске биоактивных материалов, удовлетворяющих критериям стандартов, предъявляемых к активным имплантируемым медицинским изделиям, появилась необходимость в оценке качественного и количественного состава гидроксиапатита после проведения проточной делипидации, изготовленного по технологии «Лиопласт»® (ТУ-9398-001-01963143-2004). Установлено, что липиды участвуют в морфогенезе костной ткани, в начальных этапах минерализации, связывая Ca^{2+}, их снижение указывает на активную минерализацию. Также от свойств и качества гидроксиапатита, зависит скорость репаративного остеогенеза в области костного дефекта [2]. Из этого следует, что успешный результат профилактики и лечения заболеваний, связанных с остеопорозом, зависит от аллогенных свойств остеоиндуктивных веществ, липидного состава и качества производства гидроксиапатита. В процессе получения МКК необходим постоянный мониторинг контроля качества материала с оценкой его органической и липидной составляющей.

Объектами исследования являлись группы образцов гидроксиапатита, изготовленных по технологии «Лиопласт»® из костной ткани коровы. Образцы условно были разделены на 3 группы: по степени, по времени деминерализации и по обработке (фильтрованные и не фильтрованные). В качестве основного метода анализа гидроксиапатита был использован метод спектроскопии комбинационного рассеяния, 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 784.70 ± 0.05 нм) [3]. Спектры снимали в трех различных точках и усреднялись с помощью пакета программного обеспечения «Wolframmathematica».

В результате проведенных исследований установлены спектральные изменения образцов гидроксиапатита, изготовленных по технологии «Лиопласт»® в процессе их очистки и фильтрации. Проведен хемометрический анализ спектров комбинационного рассеяния образцов гидроксиапатита, полученных с использованием проточной делипидации. Установлено, что незначительные различия между исследуемыми образцами проявляются на линиях комбинационного рассеяния 1000 $см^{-1}$ и 1030 $см^{-1}$ (Phenylalanine), и 1648 $см^{-1}$ (амид I). Так же была установлена зависимость степени и времени деминерализации от линии интенсивности 956 $см^{-1}$ (PO_4^{3-}), соответствующей минеральному компоненту. Значимых изменений на других линиях КР не обнаружено, что свидетельствует о том, что проточная делипидация гидроксиапатита является достаточной, а также является экономически выгодной по сравнению с применением стандартной вакуумной очистки.

Результаты исследований подтверждены биохимическим анализом.

1 Предеин Ю.А., Рерих В.В. Костные и клеточные импланты для замещения дефектов кости. // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 6. С. 132

2 Федорова М.З., Надеждин С.В., Павлов Н.А., Зубарева Е.В. Исследование остеоиндуктивных и остеокондуктивных свойств костнопластических материалов на основе гидроксиапатита и коллагена. // Нанотехнологии и охрана здоровья. 2010, №1. С.42-46.

3 P. E. Timchenko, E. V. Timchenko, E. V. Pisareva, M. Yu. Vlasov, L. T. Volova, O. O. Frolov, and A. R. Kalimullina, Experimental studies of hydroxyapatite by Raman spectroscopy. // J. Opt. Technol. 2018, №85, P. 130-135

Оценка деминерализации биоматериалов из ювенильного дентина с помощью Рамановской спектроскопии

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

М.Ю. Власов, М.А. Зыбин, С.С. Шипко

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара, Самарский государственный медицинский университет, институт экспериментальной медицины и биотехнологий, Самара, Стоматологическая клиника «Диамант», E-mail: laser-optics.timchenko@mail.ru)

В работе представлены результаты исследований биоматериалов из ювенильного дентина после деминерализации с помощью метода рамановской спектроскопии. Показано, что в процессе деминерализации биоматериалы теряют минеральные компоненты и сохраняют органические компоненты.

Ключевые слова: оптическая оценка, биоматериалы из ювенильного дентина, деминерализация, рамановская спектроскопия.

The paper presents the results of studies of biomaterials from juvenile dentin after demineralization using the method of Raman spectroscopy. It has been shown that in the process of demineralization, biomaterials lose mineral components and retain organic components.

Keywords: optical evaluation, juvenile dentin biomaterials, demineralization, Raman spectroscopy

Дентин как аутогенный материал имеет большой потенциал использования при замещении дефектов кости. Близкий минеральный и белковый состав дентина и кости, схожие строение и процесс развития тканей, возможность включения дентина в процесс ремоделирования костной ткани открывают новые возможности в решении проблемы недостаточного объема костной ткани при лечении с использованием дентальных имплантатов. Родственный антигенный состав белкового компонента дентина не провоцирует реакцию иммунного ответа и полноценно вступает в процесс костного ремоделирования.

Исследование и оценка данных биоматериалов является актуальной задачей, т.к. правильно подобранная степень деминерализации напрямую влияет на его приживляемость.

Объектами исследований являлся дентин, полученный из здоровых ювенильных зубов. Образцы были разрезаны на 2 равные части и далее поделены на три группы, в соответствии с этапами их обработки: 1 группа – биоматериалы из ювенильного дентина до деминерализации; 2 группа –

биоматериалы из ювенильного дентина после деминерализации в растворе соляной кислоты 1,2 степени нормальности, 3 группа – биоматериалы из ювенильного дентина после деминерализации в растворе соляной кислоты 1,8 степени нормальности.

Оценка биоматериалов на основе ювенильного дентина проводилась при помощи метода спектроскопии комбинационного рассеяния с использованием экспериментального стенда, состоящего из рамановского пробника RPB-785, лазерного модулем LuxxMaster LML-785.0RB-04 и высокоразрешающего цифрового спектрометра Shamrock sr-303i со встроенной охлаждаемой камерой DV420A-OE. Анализ спектров осуществлялся в программной среде MagicPlotPro, а также с помощью метода дискриминантного анализа (LDA) в программе IBMSPSS Statistics.

В результате исследований были установлены основные спектральные отличия деминерализованных биоматериалов из ювенильного дентина в зависимости от степени их обработки. Показано, что в процессе деминерализации разрушаются минеральные компоненты, причем при обработке соляной кислотой 1.8 степени нормальности сохраняется наибольшее по сравнению с обработкой соляной кислотой 1.2 степени нормальности количество органических компонент, о чем свидетельствуют большие интенсивности линий 475 $см^{-1}$ (полисахариды, амилоза), 697 $см^{-1}$ (υ (C-S) trans (аминокислота метионин)) и 1338 $см^{-1}$ (CH_3CH_2wagging mode of collagen).

1. Бажутова И.В. Сравнительный анализ применения остеопластических материалов при хирургическом лечении больных пародонтитом // Автореферат диссертации на соискании ученой степени кандидата медицинских наук, Москва, 2006. 126стр.
2. Timchenko E.V., Timchenko P.E., Pisareva E.V. et al. Optical analysis of bone tissue by Raman spectroscopy in experimental osteoporosis and its correction using allogeneic hydroxyapatite. // J. Optical Technology. 2020. V. 87. Issue 3. P. 161-167

Теоретическая оценка эффективности лазерного возбуждения молекул оксида фосфора

С.М. Бобровников, Е.В. Горлов, В.И. Жарков

(Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия)

В работе представлены результаты оценки эффективности лазерного возбуждения молекул PO в зависимости от спектральных параметров излучения.
Ключевые слова: лазер, атмосфера, спектроскопия.
The paper the results of evaluating the efficiency of laser excitation of PO molecules as a function of the spectral parameters of the radiation are presented.
Keywords: laser, atmosphere, spectroscopy.

Используемый метод, предполагающий совместное использование лазерной фрагментации (ЛФ) и лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ) нашел широкое применение для обнаружения нитросоединений, воды, гидроксида дейтерия, пероксида водорода, озона, азотистой кислоты и др. Возможность использования метода ЛФ/ЛИФ для обнаружения органофосфатов была продемонстрирована в работах [1–3], где в качестве характеристического фрагмента использовалась функциональная группа PO. Несмотря на глубокую проработку метода, расчеты и результаты экспериментов свидетельствуют о принципиальной возможности дальнейшего повышения его эффективности. Очевидным направлением на пути достижения максимальной эффективности метода ЛФ/ЛИФ является определение оптимальных условий фрагментации и возбуждения флуоресценции. В настоящей работе приводятся результаты оценки эффективности лазерного возбуждения PO-фрагментов в зависимости от спектральных параметров излучения.

Проведенные расчеты показали, что величина относительного смещения λ_0 от положения λ_0^{max}, при котором максимальное значение η уменьшается на 10% при заданном $\Delta\lambda$ с точностью до десятичного порядка составляет 10^{-6}– 10^{-5}.

Связывая полученные значения $(\lambda_0 - \lambda_0^{max})/\lambda_0^{max}$ с относительной стабильностью положения центра линии излучения лазера, можно заключить,

что для обеспечения высокой эффективности возбуждения молекул PO показатель стабильности должен быть не более 10^{-5}.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 20-79-10297).

1. Shu J., Bar I., Rosenwaks S. NO and PO photofragments as trace analyte indicators of nitrocompounds and organophosphonates // Appl. Phys. B. 2000. V. 71, N 5. P. 665–672.
2. Long S.R., Sausa R.C., Miziolek A.W. LIF studies of PO produced in excimer laser photolysis of dimethyl methyl phosphonate // Chem. Phys. Lett. 1985. V. 117, N 5. P. 505–510.
3. Bisson S.E., Headrick J.M., Reichardt T.A., Farrow R.L., Kulp T.J. A two-pulse, pump-probe method for short-range, remote standoff detection of chemical warfare agents // Proc. SPIE. 2011. V. 8018. P. 80180Q-1–7.

Компенсация селективного поглощения и неселективных потерь в анализаторе паров ртути при использовании эффекта Зеемана

Татур В.В., Тихомиров А.А.

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

Показано, что анализаторы концентрации атомарной ртути, использующие продольный эффект Зеемана РА-915+ и РА-915М, более чувствительны к наличию в исследуемой среде примесных газов, крылья полос поглощения которых попадают на линии излучения анализатора, чем анализаторы использующие поперечный эффект Зеемана. Допустимая концентрация паров бензола (100 мг/м^3) в последнем случае на два порядка превышает таковую для РА-915+ и РА-915М.

***Ключевые слова*:** анализатор концентрации ртути, эффект Зеемана, селективные потери

It is shown that RA-915 + and RA-915M analyzers for atomic mercury concentration measuring based on the longitudinal Zeeman effect are more sensitive to the presence of impurity gases in the studied medium, the absorption bands wings of which fall on the analyzer's radiation line, than analyzers based on the transverse Zeeman effect. The permissible concentration of benzene vapor (100 mg / m3) in the latter case is two orders of magnitude higher than that for RA-915 + and RA-915M.

***Keywords*:** analyzer of mercury concentration, Zeeman effect, selective losses

В атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) широко используется метод дифференциального поглощения (ДП) излучения, проходящего через анализируемую среду [1]. При этом интенсивность излучения изменяется как за счет поглощения атомами (селективное поглощение), так и в результате

поглощения и рассеивания другими атомами, молекулами и аэрозолями (неселективные потери). Метод ДП на двух длинах волн позволяет уменьшить влияние неселективных потерь. Для этого формируются аналитический λ_{on} и опорный λ_{off} лучи. Интенсивность $I_{\lambda on}$ уменьшается как за счет селективного поглощения, так и неселективных потерь. В тоже время интенсивность $I_{\lambda off}$ уменьшается только за счет неселективных потерь. Для уменьшения влияния неселективных потерь важным требованием являются близкие значения λ_{on} и λ_{off} и излучаемых величин $I_{\lambda on}$ и $I_{\lambda off}$, направляемых анализируемую среду.

Метод ДП также используется для измерения концентрации паров атомарной ртути Hg в окружающем воздухе. Обзор достижений в разработке мобильных анализаторов концентрации Hg был представлен в [2], где показаны преимущества метода ДП с использованием поперечного эффекта Зеемана для получения аналитического и опорного лучей.

Применение эффекта Зеемана позволяет реализовать метод ДП за счет расщепления в магнитном поле резонансной линии излучения ртути на λ_0 = 253,7 нм. Фирмой ООО "Люмэкс" выпускаются анализаторы РА-915+ и РА-915М [1], использующие в качестве источника излучения ртутную капиллярную лампу (РКЛ) с изотопом ^{204}Hg при продольном эффекте Зеемана (излучаются $I_{\lambda\sigma-}$ и $I_{\lambda\sigma+}$). Этому эффекту присущ недостаток, который приводит к появлению ошибок при измерении концентрации паров Hg в присутствии примесных газов в анализируемой среде. Так при наличии CO с концентрацией в 40 мг/м^3 возникает погрешность в измерении Hg за счет того, что крыло полосы поглощения CO попадает на излучения $I_{\lambda\sigma-}$ и $I_{\lambda\sigma+}$, которые поглощаются в разной степени. Аналогичным образом на измерения Hg влияют другие примесные газы: H_2S, NO_2, NO, SO_2, NH_3 и, особенно, бензол при концентрации более 1 мг/м^3 [3].

Анализатор [2], основанный на поперечном эффекте Зеемана лишён этого недостатка, поскольку в нем используются три компоненты излучения РКЛ: $I_{\lambda\pi}$, $I_{\lambda\sigma-}$ и $I_{\lambda\sigma+}$. Две последние симметрично смещены относительно $I_{\lambda\pi}$, компенсируя

селективное поглощение на крыльях полос примесных газов. В докладе представлены экспериментальные результаты измерений Hg анализатором [2] в присутствии паров бензола, которые показали, что эти паы вносят погрешность в измерения Hg, начиная с концентрации более 100 мг/м^3.

1 Ганеев А.А., Шолупов С.Е., Пупышев А.А., Большаков А.А., Погарев С.Е. Атомно-абсорбционный анализ: Учебное пособие. СПб.: Изд-во «Лань», 2011. 304 с.
2 Татур В.В., Тихомиров А.А. Абрамочкин А.И., Королев Б.В., Мутницкий Н.Г. Анализатор паров ртути в атмосферном воздухе на основе ртутной капиллярной лампы с естественным изотопным составом / // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32, № 7. С. 576-580. doi: 10.15372/AOO20190709.
3 URL: https://www.ktopoverit.ru/prof/opisanie/18795-09.pdf Приложение к свидетельству об утверждении типа средств измерений. Анализаторы ртути модификаций РА-915+, РА-915М (дата обращения 10.03.2021).

Лазеры и разложение воды

[1]В.Е. Привалов, [2]В.Г. Шеманин

([1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, vaevpriv@yandex.ru [2]Филиал Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова в Новороссийске)

Рассмотрены преимущества нового метода разложения воды. В связи с интересом к водородной энергетике, усилившемся последние годы, совершенствуются варианты топливной ячейки. Предложен ещё один вариант
Ключевые слова: лазер, топливная ячейка, диссоциация молекулы воды.
The new method advantages of water decomposition are considered. In connection with the interest in hydrogen energy, which has intensified in recent years, fuel cell variants are being improved. Another cell variant has been proposed.
Keywords: laser, fuel cell, water molecule dissociation

Водородом человек интересуется давно [1]. В 1820 г. Сесил в Кембридже представил доклад «Водород .. в машинном оборудовании». Создатель двигателя внутреннего сгорания Николаус Отто в 1830 г. экспериментировал с водородом. В блокадном Ленинграде около 300 грузовиков было переведено на водород. В СССР на ВАЗ в 1970-е годы выпускали водородомобили. Тогда же были созданы водородные самолеты ТУ-154В и ТУ-155. Список можно продолжать. И только на стыке XX и XXI веков этот интерес начал приобретать

более глобальный характер.

Самый чистый водород получается электролизом воды. На постоянном токе – это неэффективно, т.к. сжигание такого водорода даёт меньше энергии, чем требует электролиз. Способы разложения воды совершенствуются. Перешли на переменный ток. В работе [2] предложена топливная ячейка. Ее основным достоинством являются малые токи, при которых происходит разложение воды. При этом к ячейке приложено сравнительно небольшое напряжение. Ячейка остается холодной. Для грубой оценки модели можно рассмотреть падение капли воды в гравитационном поле и в поперечном электрическом поле. Легко показать, что траекториями молекул водорода и кислорода являются отрезки прямых линий. Это упрощает разделение газов и дальнейшую работу. На нашей конференции в 2018 году мы уже затрагивали эту тематику [3].

Для повышения энергетической эффективности предлагается в зону реакции ввести лазерное излучение с длинами волн, соответствующими возбуждению уровней молекулы воды [4]. Многократное прохождение излучения повышает эффективность. Естественно, используется лазер с подходящими длинам волн или несколько лазеров.

В докладе рассматриваются детали предлагаемого устройства, рекомендации по эксплуатации и перспективы.

1. Лобанов С. «Водород: назад в будущее»// Наука.Политех. 2021, №3, с.44-59
2. Stanley A. Meyer US Patent № 4826581
3. Привалов В.Е. Устройство для разложения воды.// Труды XXVI конференции «Лазерно-информационные технологии-2018». Новороссийск, 2018, С. 40-41
4. Привалов В.Е. Патент России №180441, БИ №17, 2018

Особенности работы скоростного CuBr-усилителя яркости при частотах следования импульсов накачки свыше 100 кГц

Мусоров И.С.[1], Шиянов Д.В.[2], Торгаев С.Н.[1,2], Дробчик В.В.[3], Евтушенко Г.С.[1,4]

([1]Томский политехнический университет, [2]Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, [3] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, [4]НИИ РИНКЦЭ, г. Москва, musorov@tpu.ru)

В работе представлены результаты измерения оптических характеристик и параметров накачки яркости на парах бромида меди при высоких частотах следования импульсов накачки. Отмечены особенности режима работы, связанные использованием пониженного энерговклада в разряд для получения сверхизлучения и усиления, при частотах свыше 100 кГц. Впервые для активных сред на парах металлов реализована работа CuBr-среды в режиме усилителя яркости при частоте следования импульсов накачки 300 кГц.

***Ключевые слова*:** пониженный энерговклад, частота следования импульсов, сверхизлучение, усилитель яркости,

This paper presents the results of measuring the optical and pumping parameters of a copper bromide brightness amplifier at high pulse repetition frequencies (PRF). The features of the operating mode associated with the use of a reduced input energy into the discharge to obtain super radiation and amplification at frequencies above 100 kHz are noted. For the first time for active media on metal vapors, the operation of a CuBr medium in the brightness amplifier mode at a PRF of 300 kHz is realized.

***Keywords*:** reduced input energy, pulse repetition frequency, super radiation and amplification, brightness amplifier,

В работе проведены измерения характеристик излучения активной среды на парах бромида меди малого объема (15.4 см^3) при высоких частотах следования импульсов накачки, работающей в трех режимах. Первый режим – режим сверхизлучения, второй – режим однопроходового (усиленного) излучения и режим генерации (лазер). Первые два режима являются определяющими для эффективной работы усилителя яркости, как основного элемента активной оптической системы – лазерного монитора, применяемого для визуального контроля объектов и быстропротекающих процессов в условиях фоновой засветки [1].

Возбуждение CuBr+Ne –среды осуществлялось от источник накачки, который генерирует импульсы с амплитудой до 10 кВ и регулируемой длительностью от 100 до 20 нс, при частоте повторения от 0.1 до 1.1 МГц. Активная среда реализовывалась в разрядной трубке диаметром 0.7 см, длиной 30 см. В качестве буферного газа использован неон, при давлении 20 тор. Уменьшением длительности импульса накачки (pump) реализован режим пониженного энерговклада в разряд, что является необходимым условием

получения вынужденного излучения при частотах (*f*) свыше 100 кГц. Необходимое количество атомов меди обеспечивалось диссоциацией молекул CuBr, которые поступали в ГРТ из отростка с бромидом меди, с регулируемой температурой нагрева (Т). Полученные результаты приведены в Таблице.

Анализ полученных данных свидетельствует, что для получения значимых значений сверхизлучения (superradiation) и однопроходового излучения (amplified super radiation) с ростом частоты необходимо увеличивать давление паров CuBr (обеспечивать рост *T*). При этом доля сверхизлучения, относительно однопроходового излучения (и генерации) увеличивается, что свидетельствует о насыщении активной среды. Впервые для активных сред на парах металлов реализована работа CuBr-среды в режиме усилителя яркости при частоте следования импульсов накачки 300 кГц.

f, kHz	T_{CuBr}, °C	E_{pump}, μJ/cm^3	τ_{cur}, ns	Mode	P, mW	τ_{rad}, ns	E_{rad}, μJ/cm^3
100	459	75	22	Super radiation	70	6	0.045
				Ampl.super rad	315	5	0.204
				Laser	450	8	0.292
160	493	69	21	Super radiation	230	7	0.093
				Ampl.super rad	620	5	0.251
				Laser	800	8	0.314
200	524	64	20	Super radiation	300	8	0.097
				Ampl.super rad	730	4	0.237
				Laser	840	9	0.272
300	570	106	18	Super radiation	135	7	0.029
				Ampl.super rad	525	6	0.113
				Laser	550	6	0.119
260	545	107	18	Super radiation	180	9	0.044
				Ampl.super rad	615	8	0.153
				Laser	760	11	0.189
260	545	274	26	Super radiation	0	0	0
				Ampl.super rad	95	3	0.023
				Laser	185	7	0.046

1. Евтушенко Г.С., Казарян М.А., Торгаев С.Н., Тригуб М.В., Шиянов Д.В.

Скоростные усилители яркости на индуцированных переходах в парах металлов. STT. 2016. - 246 с.

Радиальный профиль излучения/усиления ВЧ CuBr-активной среды

И.С. Мусоров[1], М.В. Тригуб[2], С.Н. Торгаев[1,3], Г.С. Евтушенко[1,4]

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

В работе представлены экспериментально измеренные профили однопроходового усиленного излучения CuBr-активной среды, работающей в режиме усилителя яркости в диапазоне частот следования импульсов накачки 100 - 200 кГц. Показана возможность использования указанной активной среды для визуализация микрообъектов.

Ключевые слова: активная среда, усилитель яркости, частота следования импульсов, профиль излучения.

The paper presents the experimentally measured profiles of single-pass amplified radiation of a CuBr-active medium operating in the brightness amplifier mode in the range of pulse repetition frequencies from 100 to 200 kHz. The possibility of using the indicated active medium for visualization of microobjects is shown.

Keywords: active medium, brightness amplifier, pulse repetition frequency, radiation profile.

Профиль индуцированного излучения является одной из важных характеристик усилителя яркости (УЯ) на парах металлов, поскольку определяет поле зрения и качество получаемых изображений объектов, при работе УЯ в составе активной оптической системы - лазерного монитора. И этот факт становится принципиально важным при высоких частотах следования импульсов накачки, когда приходится работать с активными элементами малого диаметра [1,2].

В работе проведено исследование профилей усиленного излучения активной среды на парах бромида меди в разрядной трубке диаметром 0.7 см, длиной 30 см. В качестве буферного газа использован спектрально чистый неон при давлении 20 тор, без добавок бромводорода. Накачка среды осуществлялась высоковольтными импульсами амплитудой до 6 кВ и длительностью 40-50 нс, в диапазоне частот следования 100 – 200 кГц. Экспериментальные данные свидетельствуют, что максимальное значение

мощности индуцированного излучения на частоте 200 кГц составило 950 мВт. В указанном диапазоне частот профиль усиленного излучения близок к Гауссовому, но сужается при увеличении частоты следования импульсов накачки. Так для частоты 100 кГц его ширина по полувысоте составляет 0.4, для 160 кГц – 0.3, а для 200 кГц – 0.2 (от диаметра разрядной трубки). Вместе с тем, даже в этих условиях оказалось возможным провести визуализацию тестового микрообъекта – элемента микросхемы, вплоть до 200 кГц. Правда качество изображения не высокое, хотя и приемлемо для математической обработки. Улучшение возможно по пути использования разрядной трубки большего диаметра с добавками бромводорода, подобно тому, как это было сделано ранее для CuBr-активной, работающей в режиме генератора [3].

Авторы выражают благодарность Шиянову Д.В. за помощь в проведении экспериментов.

1. Евтушенко Г.С., Казарян М.А., Торгаев С.Н., Тригуб М.В., Шиянов Д.В. Скоростные усилители яркости на индуцированных переходах в парах металлов. STT. 2016. - 246 с.
2. Evtushenko G. S., Torgaev S. N., Trigub M. V., Shiyanov D. V., Evtushenko T. G., Kulagin A. E. High-speed CuBr brightness amplifier beam profile // Optics Communications. 2017. Vol. 383. No1. pp. 148-152.
3. Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С., Андриенко О.С. Экспериментальное исследование влияния добавок HBr на генерационные характеристики CuBr-лазера» // Квантовая электроника, 2004, т 34, № 7, С. 625-629.

Скоростной CuBr-усилитель яркости для систем визуального контроля и диагностики

И.С. Мусоров[1], С.Н. Торгаев[1,2], Г.С. Евтушенко[1,3]

([1]Томский политехнический университет, [2]Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, [3]НИИ РИНКЦЭ, г. Москва, musorov@tpu.ru)

В работе представлены результаты исследования и разработки скоростного усилителя для активных оптических систем визуального контроля объектов и быстропротекающих процессов, при наличии мощной фоновой засветки. Для активных сред на самоограниченных переходах в парах металлов реализована работа активного элемента в режиме усилителя яркости, с частотой импульсов излучения (и усиления) до 200 кГц.
Ключевые слова: активная оптическая система, усилитель яркости, частота следования

импульсов

The paper presents the results of research and development of a high-speed brightnessamplifier for active optical systems for visual inspection of objects and fast processes in the presence of powerful background illumination. For the first time for active media based on self-terminating transitions in metal vapors, the active element operates in the brightness amplifier mode, with a radiation (and amplification) pulse repetition frequency of up to 200 kHz.

Keywords: active optical system, brightness amplifier, pulse repetition frequency

В настоящее время в современной промышленности, научных исследованиях и других сферах деятельности интенсивно используются лазерные технологии. В том числе, для создания систем визуального контроля изделий и диагностики быстропротекающих процессов, в условиях мощной фоновой засветки, с использованием методов пассивной и активной фильтрации индуцированного излучения [1]. Активные среды на самоограниченных переходах в парах металлов благодаря высокой однородности и прозрачности плазмы, большим коэффициентам усиления активной среды в узком спектральном диапазоне, работе в импульсно-периодическом режиме в видимой и ближней ИК-областях спектра, оказались востребованными для построения таких систем [2]. Временное разрешение активной оптической системы напрямую связано с частотой следование импульсов сверхизлучения/усиления (f) и составляет на сегодня 10^{-5} с (при f = 100 кГц) для CuBr-активной среды [2]. Проведенные ранее модельные исследования показали, что дальнейшее увеличение частоты следования импульсов возможно при реализации пониженного энерговклада в разряд [3].

Целью данной работы определено исследование возможности повышения частоты свыше 100 кГц и создание усилителя яркости, с частотой следования импульсов излучения/усиления 200 кГц и более.Специально разработанный по гибридной схеме источник накачки (защищен патентом РФ № 2672180), генерирующий импульсы с амплитудой до 10кВ и регулируемой длительностью от 100 до 20 нс, при частоте повторения от 0.1 до 1.1 МГц, использован для возбуждения CuBr-активной среды с объемом 15.4 $см^3$. Уменьшением длительности импульса возбуждения до 20 нс, при амплитуде

напряжения 6 кВ реализован режим пониженного энерговклада в активную среду на парах бромида меди (менее 60 мкДж/см^3), что привело к повышению частоты следования импульсов сверхизлучения (и усиления) до 200 кГц.

Таким образом, впервые для активных сред на самоограниченных переходах в парах металлов реализована работа активного элемента в режиме усилителя яркости, с частотой импульсов излучения (и усиления) до 200 кГц. Разработанный скоростной CuBr-усилитель яркости предназначен для работы в составе лазерного монитора с временным разрешением до 5x10^{-6} сек.

1. Webb C.E., Jones J.D.C. Handbook of Laser Technology and Applications (Three Volume Set). Taylor & F. – 2004. 2752 p.
2. Methods and Instruments for Visual and Optical Diagnostics of Objects and Fast Processes. /Ed.: Gennadiy Evtushenko, Nova Publishers, 2018,236 p.
3. Boichenko A. M., Evtushenko G. S., Nekhoroshev V. O. , Shiyanov D. V., Torgaev S. N. CuBr-Ne-HBr laser with a high repetition frequency of the lasing pulses at a reduced energy deposition in the discharge. // Physics of Wave Phenomena. 2015. V. 23. Issue 1. P. 1-13.

Ионный лазер с РПК на парах серебра с одновременным излучением в УФ, видимой и ИК частях спектра

И.Г. Иванов

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

С целью увеличения набора длин волн излучения лазера на ионных переходах серебра анализируется возможность накачки паров серебра в плазме электрического разряда с полым катодом (РПК) с бинарным буферным газом: смесью гелия и неона. Это обеспечивает одновременную генерацию на переходах Ag^+ в УФ, видимой и ИК частях спектра. Изучена кинетика лазерных переходов.
Ключевые слова: ионный лазер на парах серебра, накачка в плазме разряда с полым катодом
In order to increase the set of laser emission wavelengths at silver ion transitions, the possibility of pumping silver vapors in the plasma of an electric hollow cathode discharge (HCD) in a mixture with a binary buffer gas: helium and neon, is analyzed. This ensures simultaneous laser operation at Ag+ transitions in the UV, visible and IR parts of the spectrum. Studied the kinetics of laser transitions.
Keywords: Ag-vapor ion laser, pumping in plasma of the hollow cathode discharge

Ионные лазеры на пара́х металлов (ИЛПМ) выгодно отличаются от

газовых лазеров других типов способностью одновременной генерации на нескольких ионных лазерных линиях металла, принадлежащих различным частям спектра. Одним из эффективных способом накачки ИЛПМ является накачка в плазме разряда с полым катодом (РПК) [1].

Традиционный способ увеличения набора длин волн излучения ИЛПМ заключается в применении с одним буферным газом паров двух рабочих металлов, что, однако, вызывает существенное усложнение как конструкции лазера, так и управления его режимом разряда.

В [2] нами было предложено использовать для паров одного рабочего металла М смесь двух буферных газов: гелия и неона, каждый из которых накачивал путём перезарядки: $He^+ + M \rightarrow He + M^{+}*$ и $Ne^+ + M \rightarrow Ne + M^{+}*$, две различные группы ионных квантовых переходов этого металла $M^{+}*$, а также проведен анализ условий накачки для He-Ne-Tl и He-Ne-Cu ионных лазеров.

Ещё одной эффективной и перспективной для практики лазерной активной средой может явиться смесь паров серебра с гелием и неоном, что обеспечивает возможность одновременной накачки в РПК УФ и ИК ионных лазерных переходов серебра с длинами волн λ224.3нм, λ800.5 и λ840.4нм Ag^+ (накачка перезарядкой He^+-Ag), а также ионных переходов серебра с λ408.6нм, λ478.8 и λ502.7нм Ag^+ (накачка перезарядкой Ne^+-Ag). Такой лазер может быть полезен в метрологии, спектроскопии и других применениях.

В докладе сообщается об оптимизации методами компьютерного моделирования условий накачки He-Ne-Ag лазера с накачкой в плазме РПК, что позволило так же, как и в [2], найти оптимальные условия разряда, а также прогнозировать выходные параметры этого лазера.

Населенности 29-ти уровней Ag^+ рассчитывались по методике [1]. Анализ показал, что перезарядка Ne^+-Ag, приводящая к заселению $4d^85s^2$-уровней Ag^+, практически не влияет на заселение $4d^96p$ и $4d^95d$ лазерных уровней Ag^+ перезарядкой в столкновениях He^+-Ag (переходы λ224.3нм УФ и λ800.5; λ840.4нм ИК). В то же время перезарядка He^+-Ag на $4d^96p$ и $4d^95d$ уровни Ag^+ в

столкновениях He^+-Ag с последующими каскадными переходами, увеличивает скорость накачки и величину инверсии на переходах $4d^85s^2$-$4d^85p$ (λ408,6нм, 478,8 и 502,7нм), непосредственно заселяемых в столкновениях Ne^+-Ag. Таким образом, анализ выявил взаимовлияние возбуждения ионных лазерных переходов Ag^+ путем перезарядки с ионом одного из буферных газов на величину накачки лазерных переходов Ag^+ перезарядкой с ионами второго газа.

Кроме того, очевидно, что изменять соотношение мощностей генерации Ag^+-лазера на различных лазерных переходах при накачке в РПК в смеси с бинарным буферным газом можно путем изменений соотношения парциальных давлений инертных газов в их смеси.

1 Ryazanov A.V., Ivanov I.G., Privalov V.E. About Creation of Population Inversion in Mixture of Inert Noble Gas and Metal Vapor. // Optical Memory and Neural Networks. 2014. V. 23. N3. P.177-184.
2 Иванов, И.Г. Ионный лазер на парах меди с одновременным многоволновым излучением в УФ и ИК частях спектра. В Сб. «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте-2020: труды XXVIII Международной Конференции» (Новороссийск, 7-12 сентября 2020 г.) / под ред. проф. В.Е. Привалова. Изд-во ПГУ. 2020. С.54-57.

Об оптимальной конфигурации активного элемента – разрядной трубки ионного лазера с разрядом с полым катодом

И.Г. Иванов

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

Для модифицированного разряда типа “полый анод–катод” (ПАК) выполнены измерения электрических, плазменных и оптических характеристик. Проведено их сравнение с характеристиками разряда с полым катодом, традиционно используемого для накачки в ионных лазерах на парах металлов. Выявлены особенности разряда типа ПАК при использовании его в ионных лазерах на парах металлов.

Ключевые слова: ионный лазер на парах металла, разряд с полым катодом, разряд типа “полый анод–катод”.

For a modified discharge of the “hollow anode-cathode” (HAC) type, measurements of electrical, plasma and optical parameters were made. They were compared with the characteristics of the hollow cathode discharge conventionally used for pumping in ion metal vapor lasers. Peculiarities of HAC-type discharge when used in ion metal vapor lasers are revealed.

Keywords: ion metal vapor laser, hollow cathode discharge, “hollow anode-cathode” discharge.

Лазеры с разрядом с “холодным“ полым катодом (РПК) составляют отдельную группу ионных лазеров на парах металлов. В катодной полости РПК формируются области катодного темного пространства (КТП) и отрицательного свечения (ОС). В [1] описана модель катодной области РПК, адекватно описывающая накачку в ионных лазерах на парах металлов.

Преимущества использования РПК для лазеров с накачкой лазерного перехода перезарядкой ионов буферного газа на атомах металла состоят в существенно немаксвелловском распределении электронов по энергиям (РЭЭ), а именно, –в наличии многочисленных групп высокоэнергетических и тепловых электронов. РЭЭ формируется из монокинетических электронов, набравших в КТП энергию, численно равную падению напряжения на разряде $\varepsilon_0 = eU_{\text{ктп}}$. Эти электроны по мере продвижения в плазму ОС, в радиальном направлении к оси катодной полости, “релаксируют вниз по шкале энергий“, теряя набранную энергию при эффективных ионизирующих столкновениях с атомами инертного буферного газа. Разрядные трубки с РПК в лазерах имеют полый трубчатый катод, ось которого совпадает с осью резонатора лазера, с продольной щелью. Один или несколько анодов располагаются снаружи катода вдоль щели.

Известны несколько модификаций РПК, в том числе, разряд типа “полый анод-катод” (ПАК) [2]. В данной работе проводилось сравнение характеристик разряда типа ПАК с характеристиками РПК, и осуществлялся поиск оптимальной конфигурации разряда типа ПАК для использования в ионных лазерах на парах металлов.

В наших экспериментах, в разрядной трубке с конфигурацией ПАК сорок анодных стержней в виде “беличьего колеса” располагались вблизи внутренней поверхности полости катода с зазором ~1 мм, вдоль её оси.

Для РПК и разряда типа ПАК в квазинепрерывном режиме проведено

сравнение вольт-амперных характеристик, зависимостей катодного падения, определяющего энергию быстрых первичных электронов, концентрации и температуры медленных электронов–от параметров разряда (тока, давления наполняющего газа). В обоих случаях разряд был аномальным. Напряжение на разряде ПАК в 2…4 раза превышало напряжение в РПК. Интенсивность ионных линий в ПАК также была больше, чем в РПК, причем разница возрастала с ростом тока. Концентрация тепловых электронов, измерявшаяся зондовым методом, в ОС ПАК была ниже, чем в ОС РПК, что должно снижать отрицательное влияние на усиление и мощность лазера “шунтирующих” девозбуждающих электронных столкновений на рабочих лазерных переходах.

Таким образом, процессы накачки, которые лучше протекают в РПК, чем в продольном разряде, еще более эффективны в ПАК. Этот факт объясняется более высоким падением напряжения между электродами в ПАК, и, как следствие этого, – более высокой энергией электронов в плазме разряда.

1 Ryazanov A.V., Ivanov I.G., Privalov V.E. About Creation of Population Inversion in Mixture of Inert Noble Gas and Metal Vapor // Optical Memory and Neural Networks. 2014. Vol. 23. N3. P.177-184.
2 Evtushenko G.S., Muraviev I.I., Soldatov A.N. Non-elastic electron-atom collisions and structural character of the electron energy distribution function in the glow discharge plasma // Proc. XV ICPIG. Minsk, 1981. Part II, P.695-696.

О программах расчета усиления и мощности излучения He-Ne лазера различной геометрии

В.А. Кожевников, В.Е. Привалов

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

В поисках оптимальной с точки зрения энергетических характеристик формы активного элемента He-Ne лазера была разработана физико-математическая модель и написаны программы расчетов усиления и мощности излученияв зависимости от геометрии активного элемента.

Ключевые слова: He-Ne лазер, геометрия активного элемента, численные расчеты

In search of the optimal form of the active element of the He-Ne laser from the point of view of the energy characteristics, a physical and mathematical model was

developed and programs for calculating the amplification and radiation power depending on the geometry of the active element were written.
Keywords: He-Ne laser, active element geometry, numerical calculations

В 1960-е годы возник вопрос об оптимальной геометрии активного элемента газоразрядного лазера (см., например, [1-3]). Предложенные модели были проверены экспериментально [4]. Последние годы разработан иной подход к вопросу (см., например, [5-7]). В период 2018-2021 г.г. опубликован ряд статей и зарегистрированы программы для ЭВМ, с помощью которых рассчитываются усиление и мощность излучения лазера. Указанные публикации ориентированы на He-Ne лазер, но могут быть, в принципе, быть использованы для других лазеров.

Программы расширяют возможности поиска оптимальной геометрии, поэтому было рассмотрено много поперечных сечений активного элемента He-Ne лазера (например, [8-10]).

1. Привалов В.Е., Фридрихов С.А. Зависимость мощности излучения He-Ne лазера от геометрии сечения разрядного промежутка. // ЖТФ 1968 . Т.38, №10, С.2080- 2084.
2. Привалов В.Е., Фридрихов С.А. Кольцевой газовый лазер. //УФН 1969. Т.97, №3, С.377- 387.
3. Привалов В.Е. Модовый объем и мощность излучения лазера.// Оптика и спектроскопия 1970. Т.38, №3, С.524-527.
4. Федотов А.А. Автореферат кандидатской диссертации. 1974. ЛЭТИ им. В.И.Ульянова (Ленина), Ленинград.
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.
6. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Усиление в лазерах при неоднородных граничных условиях. // Известия высших учебных заведений. Физика, 2020, Т.63, №9 (730), С. 165-171.
7. 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.
8. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019613757, дата государственной регистрации 22 марта 2019.
9. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Свидетельство о государственной

регистрации программы для ЭВМ № 2020616563, дата государственной регистрации 10 июня 2020.
10. Кожевников В.А., Привалов В.Е. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020616574, дата государственной регистрации 11 июня 2020.

Обеспечение пирометрического мониторинга в лазерных аппаратах для термической обработки нераспыляемых геттеров

П.А. Андреев, П.Ю. Лобанов, М.Н. Мешков, О.Е. Сидорюк

(АО «НИИ «Полюс» им.М.Ф.Стельмаха», Москва, mihailmes@gmail.com)

Представлена новая конструкция лазерного аппарата для термической обработки нераспыляемых геттеров. Оптоволоконный кабель излучателя на базе модулей полупроводниковых лазеров дополнительно оснащен световодом, сопряженным с оптическим блоком и приемником для регистрации теплового излучения от образца в процессе его лазерного отжига.
Ключевые слова: лазерный отжиг, тепловое излучение, пирометрия, геттер, электровакуумные приборы
A new design of a laser apparatus for heat treatment of non-sprayed getters is presented. The fiber-optic cable of the emitter based on semiconductor laser modules is additionally equipped with a light guide coupled with an optical unit and a sensor for recording thermal radiation from the sample during its laser annealing.
Keywords: laser annealing, thermal radiation, pyrometry, getter, electric vacuum devices

Среди широкого круга технологических операций, выполняемых посредством нагрева деталей лазерным излучением, определенное место занимают процессы термообработки отдельных элементов внутренних конструкций электровакуумных приборов в процессе их производства. В частности, предварительному лазерному отжигу подвергаются встроенные газопоглотители (геттеры) в виде спрессованного металлического порошка. Их присутствие в замкнутом объеме эффективно для снижения парциального давления остаточных газов и стабилизации во времени параметров рабочих смесей газонаполненных приборов.

При этом актуальным является обеспечение контроля температуры термообработки, поскольку от соблюдения режимов технологической операции зависит достижение оптимальных параметров емкости газопоглотителей.

Решение данной метрологической задачи имеет определенные трудности,

поскольку возможности традиционной пирометрии сужены присутствием мощного лазерного излучения [1,2]. Кроме того, дополнительные ограничения накладывает фильтрация теплового излучения материалом корпуса электровакуумного прибора. Отдельного внимания требует согласование геометрических параметров оптических схем выходного узла лазерного излучателя и приемного устройства пирометра. Рассмотрению особенностей пирометрии при лазерном отжиге встроенных геттеров в закрытых корпусах датчиков лазерных гироскопов посвящена настоящая работа.

Предложена новая конструкция лазерного аппарата [3]. Оптоволоконный кабель излучателя на базе модулей полупроводниковых лазеров дополнительно оснащен световодом, сопряженным с оптическим блоком и приемником для регистрации теплового излучения от образца в процессе его лазерного отжига. Сигнал с пирометрического сенсора используется как управляющий для регулировки уровня тока накачки источника питания лазерного модуля.

В работе рассмотрены вопросы выбора оптимального датчика теплового ИК излучения, эффективной спектральной фильтрации обратного сигнала и методики его калибровки, а также варианты автоматического регулирования заданных технологических параметров посредством встроенного микроконтроллера.

1. Sidoryuk O.E. Pyrometry under intense background radiation. // Instruments and Experimental Techniques. 1995. V.38. №4, Part 2, P. 559-561
2. Мешков М.Н., Лобанов П.Ю., Сидорюк О.Е. Особенности использования лазерного отжига в процессах дегазации и активации геттеров. // Труды 60-й Всероссийской научной конференции МФТИ. 20–26 ноября 2017 г. Электроника, фотоника и молекулярная физика. - М.: МФТИ, 2017. С.175-177.
3. Лобанов П.Ю., Мануйлович И.С., Мешков М.Н., Сидорюк О.Е. Лазерный аппарат для термической обработки нераспыляемых геттеров. Патент №2751404 RU.

Контроль корпусных деталей из пластика посредством импульсной лазерной термографии

Е.В. Кузнецов, П.Ю. Лобанов, И.С. Мануйлович, М.Н. Мешков, О.Е. Сидорюк, Л.А. Скворцов

(АО «НИИ «Полюс» им.М.Ф.Стельмаха», Москва, mihailmes@gmail.com)

На ряде примеров показаны возможности неразрушающего контроля подповерхностной структуры различных объектов посредством метода импульсной термографии, который заключается в пирометрической регистрации изменений температуры поверхности как в условиях принудительного ее нагрева лазерным излучением, так и во время последующего охлаждения. Основное внимание уделено образцам из пластмасс, применяемых в качестве конструкционных материалов в широком круге изделий.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, подповерхностная структура, лазерный нагрев, активная термография

A number of examples show the possibilities of non-destructive testing of the subsurface structure of various objects by means of pulse thermography technique, which consists in pyrometric registration of changes in surface temperature both under conditions of forced heating by laser radiation and during subsequent cooling. The main attention is paid to samples of plastics used as structural materials in a wide range of products.

Keywords: non-destructive testing, subsurface structure, laser heating, active thermography

В многочисленных работах по неразрушающему контролю подповерхностной структуры различных объектов заметное внимание уделяется методу импульсной термографии, который заключается в пирометрической регистрации изменений температуры поверхности в условиях принудительного ее нагрева и во время последующего охлаждения [1,2]. Отличия термодиффузии в разных местах образца из-за особенностей структуры и ее неоднородностей формирует картину объекта, которая отражает характер, состав и расположение отдельных компонентов внутреннего подповерхностного слоя.

Современные возможности математического моделирования нагрева образцов со встроенной неоднородностью позволяют производить количественный анализ отклика поверхности, подвергнутой импульсному нагреву. Результаты расчетов для объектов с разной структурой поверхностного слоя могут быть взяты за основу при интерпретации термографических изображений, получаемых экспериментально. Прогресс в

области численных методов анализа нестационарных процессов теплопереноса обеспечивает возможности распространения импульсной термографии на исследование широкого круга объектов, различных по свойствам и назначению.

Одновременно развитию этого метода способствуют достижения в производстве инфракрасных видеокамер, повышения их чувствительности, разрешения и быстродействия. Снижение цен этих изделий делает доступным применение термографических исследований все в более широких областях.

Появление новых технических средств импульсного нагрева образцов также открывает новые возможности инфракрасной термографии в решении прикладных задач неразрушающего контроля. В частности, заслуживает внимания бурный рост количества предлагаемых полупроводниковых источников света и значительное увеличение их мощности. На сегодняшний день интенсивность излучения коммерческих светодиодов и полупроводниковых лазеров достаточна для эффективного нагрева облучаемой поверхности в различных приложениях метода активной термографии. При этом дополнительными преимуществами являются возможности удаленного воздействия и его пространственной локализации, временной модуляции и необходимой синхронизации импульсов, выбора оптимального спектрального диапазона излучения.

В настоящей работе рассмотрены примеры математического моделирования и практических приложений метода активной термографии для анализа скрытой структуры объектов при использовании импульсного нагрева лазерным излучением. Основное внимание уделено образцам из пластмасс, применяемых в качестве конструкционных материалов в машиностроении, химической промышленности, медицине и т.д.

1 Скворцов Л.А. Основы фототермической радиометрии и лазерной термографии. М.: Техносфера. 2017. 218 с.
2 Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. М.: Спектр. 2009. 544 с.

Увеличение длительности импульса генерации CuBr-лазера при работе в цуговом режиме

Н.В. Карасев, В.О. Троицкий, М.В. Тригуб

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

Использование дополнительных источников возбуждения, работающих в цуговом режиме, открывает весьма широкие перспективы для изменения усилительных и генерационных характеристик активных сред на парах бромида меди. В рамках работы проведено исследование влияния параметров возбуждения активной среды на парах бромида меди на длительность импульса усиления, в том числе, при введении водородсодержащей добавки.

Ключевые слова: лазер на парах бромида меди, длительность импульса генерации, цуг импульсов

The use of additional excitation sources operating in the train mode opens up very large perspectives for regulating amplifying and radiating characteristics of active medium parameters based on CuBr. In this paper the investigation of active medium excitation parameters influence on amplification pulse duration, including hydrogen-containing additive integration, was carried out.

Keywords: copper bromide vapor laser, generation pulse duration, pulse train

Управление генерационными и усилительными харакетристиками активных сред на парах галогенидов металлов является актуальной задачей. В частности, увеличение длительности импульса усиления позволяет увеличивать предельное расстояния расположения объекта в схеме моностатического лазерного монитора [1]. Несмотря на то, что на данный момент удалось достичь длительности импульса в 320 нс [2], вопрос регулирования длительности импульса излучения остается открытым.

В рамках работы проведено исследование возможности увеличения длительности импульса за счет изменения режима возбуждения активного элемента на парах бромида меди с трехканальным стабилизатором температуры [3]. Экспериментальная установка состоит из трех источников питания, соединенных параллельно. Первый (диссоциирующий) формирует цуг импульсов и осуществляет предварительную наработку атомов меди. Второй необходим для гашения импульсов диссоциации. Третий – формирует импульс накачки активной среды. Регулировка параметров активной среды осуществляется изменением времени задержки (τ) между цугом импульсов и

импульсом накачки. Диапазон регулирования времени задержки при отсутствии добавки HBr составлял 0 – 2200 мкс, при наличии добавки HBr τ = 0– 5000 мкс. Известно, что добавка водорода приводит к задержке нарастания тока и росту напряжения [4]. Следовательно, происходит рост длительности импульса излучения. Связано это с электроотрицательностью водорода [5].

Максимальная достигнутая длительность импульса излучения в эксперименте составила 230 нс при отсутствии HBr в ГРТ и 300 нс при наличии HBr. Однако энергия излучения снизилась более, чем в 3 раза. Поэтому наиболее благоприятными диапазонами регулирования времени задержки являются 0-500 мкс без добавления HBr и 0-1500 мкс при добавлении HBr.

Исследование возможности увеличения длительности импульса излучения выполнено при поддержке проекта РНФ № 19-79-10096.

1 Тригуб М. В., Димаки В. А., Троицкий В. О., Карасев Н. В. Увеличение длительности импульса генерации CuBr-лазера при работе в цуговом режиме. // Оптика атмосферы и океана. 2021. Т. 34. № 03. С. 218–222.
2 Ф.А. Губарев, В.Ф. Федоров, К.В. Федоров, Д.В. Шиянов, Г.С. Евтушенко, Лазер на парах бромида меди с длительностью импульса генерации до 320 нс. // Квантовая электроника. 2016. Т. 46. №1 С. 57–60.
3 Активный элемент лазера на парах галогенида меди: пат. 62742 Рос. Федерация: МПК H01S 3/08, H01S 3/227/ Суханов В.Б., Троицкий В.О., Губарев Ф.А., Иванов А.И.; заявитель и патентообладатель Институт оптики атмосферы Сибирское Отделение Российской Академии Наук - № 2005130448/28; заявл. 30.09.2005; опубл. 27.04.2007. – 11 с.
4 Батенин В.М., Бойченко А.М., Бучанов В.В., Казарян М.М., Климовский И.И., Молодых Е.И. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов – 2. 2009, 604 с.
5 Бочков В.Д., Евтушенко Г.С., Кудинов В.Н., Суханов В.Б., Шиянов Д.В. Экспериментальное исследование влияния добавок водорода на частотные и энергетические характеристики CuBr лазера. // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307. №3 С. 74-77

Источник многоступенчатого заряда накопительной емкости лазера на самоограниченных переходах атомов металлов

К.Ю. Семенов[1,2], М.В. Тригуб[2]

([1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
[2]Институт оптики атмосферы имени В.Е. Зуева СО РАН, Томск,
semenovkostya98@gmail.com)

В работе приведены результаты разработки и исследования источника питания лазеров на самоограниченных переходах атомов металлов с высокочастотным многоступенчатым зарядом рабочей емкости. Описаны преимущества высокочастотного заряда, а также дана оценка массогабаритных параметров магнитных элементов в сравнении с наиболее распространенными источниками заряда накопительного конденсатора за один импульс.
Ключевые слова: лазеры на парах галогенидов металлов, высоковольтный источник напряжения, резонансный инвертор, высокочастотный заряд конденсатора
The paper describes a method for multi-stage high-frequency charging of a storage capacitor. The advantages of a high-frequency charge are described, and an assessment of the mass and size parameters of magnetic elements is given in comparison with the most common sources of charging a storage capacitor in one pulse.
Keywords: copper bromide vapor laser, high-voltage supply, resonant inverter, high-frequency charging of a capacitor

Лазеры на парах металлов и их галогенидов представляют собой газоразрядную трубку с активным веществом внутри. Возбуждение осуществляется в импульсно-периодическом режиме с высокой энергией в импульсе – напряжение до нескольких десятков киловольт и током до нескольких сотен ампер. В зависимости от требуемой мощности и частоты следования импульсов используются полупроводниковые источники накачки [1, 2], источники на базе тиратронов, таситронов или модуляторных ламп.

Наиболее распространенные источники заряда накопительного конденсатора за один импульс обладают рядом недостатков – частота работы зависит от частоты коммутации тиратрона, которые эффективно работают в частотном диапазоне до 20 кГц [3]. Магнитные элементы в таких схемах работают на частоте работы тиратрона, что приводит к увеличению их массогабаритных параметров и к сильному высокочастотному свисту при работе такого источника. Для решения этих проблем нами была реализована схема, в которой вместо заряда конденсатора за один длинный импульс

используется заряд пачкой импульсов с частотой от 200 кГц до 400 кГц (многоступенчатый заряд). Такое решение позволило в 10 раз снизить массогабаритные параметры магнитных элементов, при снижении их стоимости более, чем в 6 раз.

Для ограничения скорости нарастания тока, а также меньших динамических потерь при работе транзисторов, в основе силовой части многоступенчатого источника заряда накопительного конденсатора лежит мостовой резонансный инвертор. В ходе расчетов и экспериментального исследования схемы было определено оптимальное количество импульсов в пачке – от 6 до 12, в зависимости от параметров накопительного конденсатора. Частота импульсов в пачке зависит от постоянной времени колебательного контура. В наших экспериментах использовался конденсатор контура емкостью 20 нФ, а индуктивность дросселя варьировалась от 15 мкГн до 40 мкГн.

На практике было определено немаловажное достоинство многоступенчатой схемы заряда – низкий уровень электромагнитных помех при работе источника, в сравнении со схемами заряда за один импульс. КПД источника многоступенчатого заряда соизмерим с КПД источника заряда за один импульс и составляет от 65% до 85% в зависимости от параметров нагрузки.

Работа поддержана Российским научным фондом, проект №19-79-10096.

1 Gugin P.P., Trigub M.V. Semiconductor Power Supply for Capacitance Copper Bromide Active Filters. // 2018 19th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), 2018, P. 6403-6406, doi: 10.1109/EDM.2018.8435086.

2 Суханов В. Б., Татур В. В. Эксплуатационные характеристики CuBr-лазера с транзисторным коммутатором. // Известия ТПУ. 2008. №2.

3 Тригуб М. В., Огородников Д. Н., Димаки В. А. Исследование источника накачки лазера на парах металлов с импульсным зарядом рабочей емкости. // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 12. С. 1112-1115.

Высокочастотный источник возбуждения активных сред на парах галогенидов металлов

П.И. Гембух, М.В. Тригуб

(Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск,
gembukh.pavel@ya.ru, trigub@iao.ru)

Лазеры на парах галогенидов металлов широко используются в системах оптического неразрушающего контроля для визуализации быстропротекающих процессов, сопровождающихся сильной фоновой засветкой. В работе представлены результаты разработки полупроводникового источника возбуждения, позволяющего осуществлять возбуждение активного элемента на парах галогенидов металлов с частотой до 100 кГц. Более высокая частота следования импульсов позволяет увеличивать временное разрешение лазерных мониторов для исследованиябыстропротекающихпроцессов.

Ключевые слова: лазеры на парах металлов, источник возбуждения, усилитель яркости, высокая частота.

Metal vapor halide lasers are widely used in optical non-destructive control systems for image fast process shielded by strong background light. The paper presents the result of developing semiconductor excitation source which can excite metal vapor halide active element with frequency up to 100 kHz while currently available systems operate at frequencies up to 20 kHz. A higher pulse repetition frequency means a more detailed study of the fast process.

Keywords: metal vapor lasers, excitation sources, brightness amplifier, high frequency.

Лазеры на парах галогенидов металлов нашли применение в области визуализации быстропротекающих процессов, сопровождающихся сильной фоновой засветкой. Примерами таких процессов являются: производство нанопорошков, процесс разрушения электрода при сварке, процесс самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [1]. Подробное исследование различных процессов может быть интересно с точки зрения физики протекания (например, СВС) или оптимизации параметров производства (например, производство нанопорошков).

Традиционные принципы построения источников возбуждения лазеров на основе галогенидов металлов включают в себя тиратроны (ТГИ1-1000/25, ТГИ1-500/16 и др.), которые используются как высоковольтные коммутаторы. Частота работы тиратрона, определяющая частоту следования импульсов излучения (ЧСИ), ограничена на уровне 20 кГц. Существуют также схемные решения, использующие таситроны (ТГУ1-27/7 и др.), эти приборы работают с

относительно высокой частотой, однако срок их эксплуатации ограничен, и они требуют относительно мощных и габаритных схем запуска.

Вместо газонаполненных приборов можно использовать полупроводниковые приборы – транзисторы. К их достоинствам можно отнести малые размеры, маломощные схемы управления, а также доступность. Для коммутации напряжений порядка 5-10 кВ необходимо применять различные схемотехнические решения. Одним из таких решений является использование концепции LTD-генератора [2]. В данной концепции высоковольтный импульс с высокой скоростью нарастания тока получается за счёт синхронной работы большого количества базовых ячеек, включающих в себя конденсатор и транзистор.

Был реализован лабораторный макет, включающий в себя 10 типовых ячеек, набранных в круговой массив вокруг повышающего трансформатора (1:20). Использовались MOSFET транзисторы IPZA60R037P7, выполненные по технологии CoolMOS и обеспечивающие открытие за время ~ 4 нс. Подключение всех элементов выполнялось с минимизации параметров паразитной индуктивности, для обеспечения высокой скорости нарастания тока через ГРТ. Длина активной зоны ГРТ была 25 см, диаметр 24 мм. В результате была получена генерация на частоте 100 кГц, при этом скорость нарастания тока составила 18 нс, мощность излучения составляла порядка 180 мВт.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №19-79-10096.

1 M.V. Trigub, V.V. Platonov, G.S. Evtushenko, V.V. Osipov, T.G. Evtushenko, Laser monitors for high speed imaging of materials modification and production. //Vacuum, V. 143, 2017, P. 486-490. https://doi.org/10.1016/j.vacuum. 2017. 03.016.

2 Weihua Jiang, Tokuchi, A. (2012). Repetitive Linear Transformer Driver Using Power MOSFETs. IEEE Transactions on Plasma Science, 40(10), 2625–2628. doi:10.1109/tps.2012.2200048

Искажения изображений, формируемыхв лазерных мониторах, и способы их устранения

Н.А. Васнев[1], М.В. Тригуб [1], Г.С. Евтушенко [2]

([1]Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск, vasnev_na@iao.ru, trigub@iao.ru;
[2]Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, Москва, evt@tpu.ru)

Визуализация в лазерных мониторах осложняется паразитными отражениями от компонентов оптической схемы, яркость которых увеличивается в активной среде квантового усилителя. Установлено, что такие «технические» шумы могут быть минимизированы за счет варьирования концентрации активного вещества усилителя, а также путем временного согласования режимов работы двух активных элементов в схеме бистатического лазерного монитора.
Ключевые слова: квантовый усилитель на парах металлов, усилитель яркости, лазерный монитор, бистатический лазерный монитор, технический шум.
Imaging in laser monitors is complicated by parasitic reflections from the components of the optical system. The brightness of such reflections increases in the active medium of the quantum amplifier. It is found that such "technical" noises can be minimized by varying the concentration of the active substance of the amplifier, as well as by temporarily matching the operating modes of two active elements in the bistatic laser monitor.
Keywords: metal vapor quantum amplifiers, brightness amplifiers, laser monitor, bistatic laser monitor, technical noise.

Квантовые усилители на парах металлов активно используют для построения на их основе активных оптических систем. Входным сигналом квантового усилителя в этом случае является оптическое изображение объекта наблюдения. Активная среда усилителя повышает яркость изображения, если выполняются два условия. Во-первых, изображение должно быть сформировано усиленным спонтанным или вынужденным излучением той же длины волны, что и излучение усилителя. Во-вторых, оптическое изображение должно поступать в активный объем усилителя во время существования инверсной населенности. Эти два условия лежат в основе работы лазерных мониторов [1].

Отражения усиленного спонтанного излучения квантового усилителя от компонентов оптической системы принято называть техническим шумом. Эти шумы, попадая в активную среду, усиливаются, что приводит к снижению качества изображения, а также к частичной или полной потере информации об

объекте наблюдения [2]. Для минимизации этих шумов используют просветленную оптику, а также располагают оптические компоненты под небольшим углом относительно оптической оси усилителя.

Из анализа принципа действия лазерного монитора становится очевидно, что паразитные отражения попадают в активную среду усилителя раньше полезного сигнала. Существует бистатическая схема лазерного монитора, в которой один активный элемент формирует изображение, а другой – усиливает его яркость. Такой подход дает возможность направлять излучение, несущее изображение, в активную среду усилителя еще до формирования его усиленного спонтанного излучения. В этом случае происходит эффективный съем инверсной населенности, направленный на усиление исключительно полезного сигнала, а не паразитных отражений. Следовательно, временное согласование режимов работы двух активных элементов, источника подсветки и усилителя яркости, позволяет уменьшить или полностью нивелировать технический шум.

Другим способом минимизации технического шума является снижение концентрации активного вещества усилителя яркости, что приводит с одной стороны к уменьшению усиления среды, а с другой – к снижению мощности усиленного спонтанного излучения, которое является причиной возникновения технических шумов. Данный эффект ярко выражен при увеличении дистанции визуализации, которое сопровождается снижением соотношения полезного сигнала к шуму из-за расходимости и рассеяния излучения.

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

1 Евтушенко Г.С., Казарян М.А., Торгаев С.Н., Тригуб М.В., Шиянов Д.В. Скоростные усилители яркости на индуцированных переходах в парах металлов. Томск : STT, 2016. 246 с.

2 Земсков К.И., Казарян М.А., Петраш Г.Г. Оптические системы с усилителями яркости. Труды Физического института имени П.Н. Лебедева. Т. 206. 1978. 149 с.

Диагностика сдвигов земных пород при помощи видеонаблюдения

М.К. Исаев, Н.М. Скорнякова

(Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия,
111250, Москва, E-mail: universe@mpei.ac.ru)

Объектом исследования являлся лабораторно сгенерированный оползень на склоне. Целью исследования являлась визуализация смещений земли склона. Для наилучшей визуализации использовались метки. Процесс регистрировался видеокамерой. Далее проводилась кросскорреляционная обработка полученных изображений. В итоге были получены векторные поля смещений земли смоделированного склона.
Ключевые слова: видеонаблюдение, оползень, кросскорреляционная обработка
The object of the study is a laboratory-generated landslide on a slope. The aim of the study was to visualize the displacements of the slope ground. For the best visualization, labels were used. The process was recorded by a video camera. Next, cross-correlation processing of the obtained images was carried out. As a result, vector fields of earth displacements of the simulated slope were obtained.
Keywords: video surveillance, landslide, cross-correlation processing

Для рассмотрения возможностей метода диагностики сдвигов земли с помощью видеонаблюдения в лабораторных условиях был воссоздан земляной склон в меньшем масштабе. На склон для более наглядной визуализации были нанесены так называемые метки. В качестве меток были использованы спички и белые нити. Далее был сымитирован оползень (смещение земли) [1]. Весь процесс регистрировался на видеокамеру. После проводилась кросскорреляционная обработка изображений [2].

В результате были получены векторные поля сдвигов земли. В ходе обработки изображений было выявлено, что при использовании в качестве меток белых нитей смещения фиксировались намного лучше. В дальнейшем предполагается провести данный эксперимент в реальных условиях.

1. Казарновский В. Д. Динамическая реология грунтов. // Труды СоюзДорНИИ. 1997. № 194. С. 4-14.
2. Маркович Д.М., Токарев М.П., Бильский А.В.. Адаптивные алгоритмы обработки изображений частиц для PIV-метода. // Современные оптические методы исследования потоков. / Под ред. Б.С. Ринкевичюса. М.: Оверлей. 2011. С.179.

Фотоплетизмограф с двухлучевым оптоэлектронным датчиком

В.А. Алексеев, С.И. Юран, В.П. Усольцев

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

Рассмотрен фотоплетизмограф с двухлучевым оптоэлектронным датчиком и совмещенными световыми потоками, в котором оба световых потока являются измерительными, что позволяет снизить влияние артефактов. Для непрерывного контроля работоспособности датчика и всего устройства предусмотрена логическая схема обработки сигналов, поступающих с фотоприемников.
Ключевые слова: снижение влияния артефактов, оптоэлектронный датчик, фотоплетизмограф, фотоплетизмография
A photoplethysmograph with a two-beam optoelectronic sensor and combined light fluxes is considered, in which both light fluxes are measuring, which allows reducing the influence of artifacts. For continuous monitoring of the operability of the sensor and the entire device, a logical scheme for processing signals coming from photo detectors is provided.
***Keywords*:** reducing the influence of artifacts, optoelectronic sensor, photoplethysmograph, photoplethysmography

Важной задачей в фотоплетизмографии является уменьшение влияния на выходной сигнал различных артефактов [1, 2]. Для решения данной задачи в работе предназначен фотоплетизмограф, измерительный канал которого содержит генератор импульсов, оптоэлектронный датчик, состоящий из источника излучения и двух фотоприемников, размещенных в корпусе и подключенных к двум усилителям, сигналы с которых поступают в схему сравнения и далее в компьютер. Фотоприемники могут быть выполнены в виде концентрично размещенных в одной плоскости колец разного диаметра (дальнего и ближнего) или несколько фотодиодов, равномерно расположенных вокруг источника излучения.

Для контроля работоспособности датчика и всего устройства используется логическая схема обработки сигналов с фотоприемников.

Световой поток от биологической ткани поступает на фотоприемники, причем световой поток достигает дальнего фотоприемника (с большим диаметром) более ослабленным, так как он находится дальше от источника излучения. Усиленные сигналы с фотоприемников поступают на схему сравнения, в которой определяется соотношение сигналов с фотоприемников,

которое и характеризует количественно оптические свойства исследуемой ткани. При этом ослабление светового потока на участке от ближнего фотоприемника к дальнему фотоприемнику определяется только оптическими свойствами исследуемой ткани, а именно уровнем ее кровенаполнения.

При нормальной работе устройства логическая схема разрешает запись информации в компьютер. В случае выхода из строя одного или обоих фотоприемников, «отсутствии пациента», сильной фоновой засветке и резкого увеличения интенсивности помех, снижении амплитуды полезных сигналов ниже допустимого, логическая схема запрещает запись данных в компьютер. Вследствие симметричности формы оптоэлектронного датчика аналогичной будет работа устройства в случае перекоса установки датчика относительно поверхности участка тела, а также при смещении части датчика на загрязненную поверхность или участок с пигментацией кожного покрова.

Кроме этого, поскольку на выходе схемы сравнения получается отношение двух сигналов, прошедших через одну и ту же исследуемую ткань, и расстояние между фотоприемниками постоянно, сила прижима датчика, его положение на объекте, изменение мощности источника излучения и другие дестабилизирующие факторы практически не оказывают влияния на результат измерения.

Введение автоматического и непрерывного контроля работоспособности устройства, а также правильности установки датчика, повышает точность регистрации количественных оптических характеристик исследуемых тканей, особенно при массовых обследованиях биологических объектов, поскольку логическая схема информирует пользователя о недопустимых условиях измерений и позволяет либо исправить положение (устранить артефакты), либо правильно истолковать показания устройства, например, устранить перекос установки датчика или изменить место его расположения на биологическом объекте.

1 Алексеев В.А. Юран С.И. Проектирование устройств регистрации гемодинамических показателей животных на основе метода

фотоплетизмографии: монография. Ижевск: ИжГТУ, ИжГСХА, 2006. 248 с.
2 Попечителев Е.П.,Чигирев Б.И. Двухлучевые фотометрические системы для клинико-физиологических исследований. Л.: Изд-во ЛГУ. 1991. 224 с.

Лазерный прибор промышленного сканирования драгоценных камней

Палабугин М.В., Усольцев В.П.

(Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова, Ижевск, mien@istu.ru)

Лазерный прибор промышленного сканирования драгоценных камней позволяет оперативно, качественно и с высокой точностью создавать теневые карты дефектов исследуемых кристаллов. Полученные данные заносятся в базу данных. Сравнение полученных данных с информацией из базы позволяет судить о подлинности драгоценного камня. Были проведены эксперименты, подтвердившие работоспособность разработанной модели.
Ключевые слова: лазерный сканирующий прибор, драгоценные камни
The laser device for industrial scanning of precious stones allows you to quickly, efficiently and with high accuracy create shadow maps of defects of the studied crystals. The received data is entered into the database. A comparison of the data obtained with the information from the database allows us to judge the authenticity of the precious stone. Experiments were carried out that confirmed the operability of the developed model.
Keywords: laser scanning device, precious stones

Данный сканирующий лазерный прибор вызывает интерес своей методикой запечатления несовершенств в кристаллах алмаза. Она заключается в формировании на экране теневой карты распределения дефектов, посредством пропускания через исследуемый объект лазерного излучения. В каждом кристалле алмаза своя уникальная совокупность распределения дефектов, так как при образовании природного камня, каждый конкретный кристалл проходит свой путь становления, благодарячему, сочетания микро и макродефектов для каждого камня свои. В природе не существует двух одинаковых кристаллов алмаза, как не существует людей с одинаковыми отпечатками пальцев.

Метод, который используется в данной работе прост в освоении, доступен и интуитивно понятен. Точность получаемых результатов напрямую зависит от длины волны используемого лазерного излучения [1].

Размеры частиц, которые будут искажать изображение на экране, можно

найти по следующей формуле:

$$X = \sqrt{\lambda^2/8\pi^3}$$

где X – минимальный размер объектов, который сможет уловить данная оптическая система; λ – длина волны излучения.

Формула наглядно показывает, что для обнаружения изъянов малых размеров необходимо использовать лазерное излучение с небольшой длиной волны. Для экспериментов были выбраны три полупроводниковых лазера. Их длины волн составили 405, 515 и 650 нм. Минимальный размер объектов, которые будут влиять на распространение электромагнитного поля для лазера с длиной волны 405 нм составит 25.7 нм, для длины волны 515 нм – 32.7 нм, а для 650 нм – 41.3 нм [2,3]. Такая высокая точность позволит с лёгкостью обнаруживать дефекты в структуре алмаза и составлять их карту.

Таким образом, разработана лазерная система [4], позволяющая производить сканирование кристаллов алмаза в промышленных масштабах. Сформированная на экране карта дефектов заносится в электронный паспорт изделия. По этим сведениям, в будущем можно будет провести опознание драгоценного камня. Исходя из результатов сканирования, с определённой вероятностью можно судить о подлинности того или иного кристалла.

1. Bennett H. E., Porteus J. O. Relation between surface roughness and specular reflectanceat normal incidence. // JOSA. 1961. V. 51, № 2. P. 123-129.
2. Хусу А. П., Витенберг Ю. Р., Пальмов В. А. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход). М.: Наука, 1975. 344с.
3. Тымкул В. М., Овчинников С. С., Кузнецов М. М. Оптический метод контроля шероховатости поверхности. //Междунар. науч. конф. «СибОптика–2013». Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. С. 282-285.
4. Палабугин М.В., Усольцев В.П. Разработка системы промышленного сканирования бриллиантов. // Интеллектуальные системы в производстве. Т. 19, № 2, Изд. ИжГТУ. 2021. С. 20-24.

Лазерный комплекс оценки загрязнений морской воды органическими микрочастицами

В.А. Алексеев, М.Р. Зарипов, В.П. Усольцев, С.И. Юран

(Ижевский государственный технический университет
имени М.Т. Калашникова, Ижевск, e-mail: alekseevv@istu.ru
Ижевская государственная сельскохозяйственная академия)

Рассмотрен подход к созданию лазерного комплекса оценки загрязнений органическими микрочастицами мирового океана в выделенной акватории. Предлагается регистрация порций загрязнителей с измерением степени пропускания водной струи при зондировании лазерным излучением с длиной волны около 495 нм. Особенностью комплекса является экономия энергопитания лазера за счет использования пассивной схемы увеличения энергии зондирующего импульса на основе кольцевой линии задержки.
Ключевые слова: загрязнение морской воды, микрочастицы, органические загрязнители
An approach to the creation of a laser complex for the assessment of pollution by organic microparticles of the world ocean in the selected water area is considered. It is proposed to register portions of pollutants with measuring the degree of transmission of a water jet when probing with laser radiation with a wavelength of about 495 nm. A special feature of the complex is the saving of laser power supply due to the use of a passive scheme for increasing the energy of the probing pulse based on a ring delay line.
Keywords: seawater pollution, microparticles, organic pollutants

Важной проблемой является загрязнение мирового океана предметами человеческой деятельности в виде мелких частиц пластмассы подобных органических загрязнителей. Небольшого размера частицы влияют на живой мир морей и океанов, попадая в организм морских животных. Поэтому актуальной является задача оценки степени загрязнения морской воды частицами органики. Традиционное взятие и исследование проб воды не дает даже приблизительной оценки загрязнений акватории морей и океанов.

Для решения данной задачи предлагается использовать передвижной плавающий объект (катер, беспилотный управляемый водный объект), на котором установлена автоматическая станция контроля морской воды на органические загрязнители. Движение исследовательского объекта производится по заранее определенной трассе в течение нескольких часов. При этом через автоматическую станцию прокачивается струя морской воды, в которой определяются порции органических загрязнителей. Количество порций

загрязнителей, обнаруженных во время движения, соотносится с количеством пропущенной жидкости через автоматическую станцию. Чем больше прокаченной жидкости при измерениях, тем точнее будет оценка степени загрязнения акватории водного объекта.

Определение органических загрязнителей производится путем просвечивания потока воды лазерным излучением с фиксацией параметров поглощения протекающей воды через станцию. Известно [1], что чистая морская вода имеет наибольший коэффициент пропускания в диапазоне частот 495 нм. Поэтому лазерное излучение с указанными длинами волн при появлении загрязнений в виде легких фракций будет поглощаться частицами органических загрязнителей [2], что будет являться признаком прохождения в струе воды порции загрязнений.

Для обеспечения измерений измерительная система выполняет следующие функции: а) фильтрация струи воды от крупных загрязнений за счет клиновидного решетчатого заборника воды; б) выделение тяжелых и легких фракций в составе воды; в) концентрация мелких фракций в зоне оптического зондирующего датчика; г) документирование обнаруженных порций загрязняющих легких фракций по времени и по объему воды, забранной за это время в акватории.

В качестве примера построения источника излучения оптоэлектронного датчика может использоваться лазерный диод типа GH04850B2G с мощностью излучения 55мВт.

С целью экономии энергии, затрачиваемой на излучение лазера, предлагается защищенная патентом РФ № 189439 пассивная схема увеличения энергии зондирующего импульса лазерного излучения.

Таким образом, предлагаемый подход к оценке загрязнения акватории естественного водоема (моря, океана) органическими загрязнителями в виде микрочастиц, позволяет создавать исследовательские объекты для анализа загрязнений морового океана.

1.Показеев К.В., Чаплина Т.О., Чашечкин Ю.Д. Оптика океана. М.: МАКС Пресс, 2010. 216 с.
2. Анализ полимерных композиционных материалов (сост. Романова Н.В. и др.). Набережные Челны: НЧИ (ф) КФУ. 2017. 30 с.

Волоконно-оптический дефлектор для управления направлением лазерного излучения

А.А. Боев, М.Ю. Керносов, С.Н. Кузнецов, А.А. Паршин,

С.Ю. Поляков, С.Е. Широбакин.

(АО «Мостком», Рязань, info@moctkom.ru)

Волоконно-оптический дефлектор позволяет осуществлять быстрое управление диаграммой направленности лазерного излучения и проводить сканирование мощности в плоскости приёма. В ходе работы разработана математическая модель устройства, проведена её верификация, измерены АЧХ и ФЧХ дефлектора, промоделированы деформационные возмущения при различных видах трения в траверсах.
Ключевые слова: волоконно-оптический дефлектор, оптический канал связи, полоса обратной связи, двухкоординатный сканер.
The fiber optic deflector allows for fast control of the laser radiation pattern and scanning the power in the receiving plane. In the course of the work, a mathematical model of the device was developed, its verification was carried out, the amplitude frequency characteristic and phase-frequency characteristic of the deflector were measured, deformation disturbances were modeled for various types of friction in the traverses.
Keywords: fiber-optic deflector, optical communication channel, feedback band, two-dimensional scanner.

Во многих задачах создания лазерных систем есть необходимость точного наведения пучка излучения на цель в условиях воздействия механических нагрузок на источник излучения и искажений в канале распространения излучения. Это особенно актуально для систем оптической беспроводной связи, в том числе и для межспутниковых каналов связи.

Для решения задачи точного наведения пучка излучения на цель обычно используются управляемые поворотные зеркала [1]. В настоящем сообщении приводятся результаты разработки устройства, обеспечивающего другой принцип работы, а именно - изменение положения источника излучения в фокальной плоскости передающего объектива.

Устройство, реализующее этот принцип, должно обеспечивать точное

линейное перемещение торца оптического волокна по двум координатам с высокой скоростью. Требования к скорости перемещения вытекают из спектра вибраций, воздействующих на устройство – например, вибраций механизмов спутника (трансформаторы, маховики и т.п.). Точность позиционирования определяется размером тела свечения и не должна превышать 5% его размера. При использовании одномодового волокна эта величина составляет 0.5 мкм.

Оптический дефлектор представляет собой подвижную печатную плату с проводниками в виде катушек, помещенную в магнитное поле постоянных магнитов. В печатной плате закреплена ферула, представляющая окончание оптического волокна. Ток, протекающий по катушкам, приводит к перемещению платы с ферулой в фокальной плоскости оптической системы, изменяя направление оси диаграммы направленности излучения.

Использование системы траверс для перемещения торца оптического волокна в фокальной плоскости приёма позволяет уйти от угловых поворотов оптической системы.

Реализация в устройстве системы обратной связи подчиненного типа с управлением по скорости и положению обеспечило подавление резонанса и расширение малосигнальной (с амплитудой 0.01 полного хода) полосы регулирования до 1 кГц. На полном размахе линейность АЧХ достигает 200 Гц. Измеренная точность позиционирования составила 0.6 мкм по всему полю регулировки. При этом мощность потребления системы в динамике составила всего 2 Вт. Как показало моделирование, при работе в вакууме (космос) без конвективного охлаждения такой уровень тепловыделения приведет к перегреву обмоток всего на 60 град, что абсолютно приемлемо.

Предлагаемый вариант управления диаграммой направленности излучения и реализующее его устройство может найти свое применение не только в системах связи, но и например в технологических установках, автоколлиматорах с расширенным диапазоном угловых измерения, в лучевом оружии и других сферах.

1. Control of a MEMS Fast Steering Mirror for Laser Applications by Joseph Kerivan Lena, May 21, 2012.

Исследование многоволнового лазера на парах бария

А.Н. Солдатов, А.С. Шумейко, Л.Н. Чаусова Л.Ю. Цакилиди

(Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, general@tic.tsu.ru)

Приведены 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.

Ключевые слова: лазер на парах бария, лазер, энергия, конфигурация, возбуждение окружающей среды.

The results of experimental studies of the lasing characteristics of a laser based on electronic transitions of an atom and a barium ion upon excitation of a working mixture of barium vapor in a mixture with inert gases helium and neon by a high-voltage pulsed discharge.

Keywords: barium vapor laser, laser, energy level configurations, excitation of the environment.

Современная элементная база позволяет создавать источники накачки с широкими возможностями подбора параметров для эффективного возбуждения конкретной среды. Схемы питания позволяют формировать импульс возбуждения короткой длительности с крутыми фронтами и высокими напряжениями.

Основной причиной, ограничивающей срок службы активного элемента (АЭ) на парах бария, является высокая смачивающая способность керамического канала в жидкой фазе. Рабочая температура лазера превышает 800°С, а температура плавления 710°С, поэтому барий в разрядном канале находится в жидком виде. Растекаясь по стенке канала, он образует электропроводящую шину, шунтирующую разрядный канал, что приводит к выходу из строя АЭ.

Авторами предложена конструкция газоразрядного керамического канала с изолированием металла от внутренней разрядной стенки, позволяющая предотвратить шунтирование разрядного канала и увеличить срок службы АЭ.

В эксперименте использовалась газоразрядная трубка (ГРТ) с диаметром активной зоны 12 мм и длиной разрядного канала 50 мм, Электроды изготавливались из ниобия, выходные окна из CaF_2.

Для возбуждения рабочих сред применялись тиратронные схемы накачки с прямым разрядом накопительной емкости. ГРТ подсоединялась к вакуумной системе, обеспечивающей возможность наполнения инертными газами от десятых долей торр до атмосферного давления [1-8].

1. Солдатов А.Н. и др. Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция. //Под.ред. А.Н. Солдатова, Е.Л. Латуша. Томск: ТМЛ-Пресс. 2012. 526 с.
2. Иванов И.Г., Латуш Е.В., Сэм М.Ф. Ионные лазеры на парах металлов. М.: Энергоиздат,1990.
3. Бохан П.А., Закревский Д.Э. Исследование продольного импульсно-периодического разряда в парогазовых смесях высокого давления. //ЖТФ. 1997. Т.67. №4. С.25-31.
4. Исаев А.А., Казарян М.А., Маркова С.В., Петраш Г.Г. Импульсный лазер на парах бария. //Труды ФИАН. 1987. Т.181,
5. Исаев А.А., Казарян М.А., Маркова С.В., Петраш Г.Г. Исследование импульсной генерации на парах барияв инфракрасной области спектра. //Квантовая электроника. 1975. Т.2. №3. С. 285–287
6. Исаев А.А., Леммерман Г.Ю., Маркова С.В., Петраш Г.Г. Характеристики импульсной генерации на переходах в атоме бария. //Квантовая электроника. 1979. Т.6. №9. С.1942-1947.
7. Anatoly Soldatov, Nikola Sabatinov, Evgeny Latush, Gennady Chebotarev, Nikolay Vuchhov, Nikolay Yudin. Strontium and Calcium Vapor Lasers. V.1, Sofia. 2013. 292 p.
8. Солдатов А.Н., Шумейко А.С., Юрин В.Ю. Газоразрядная трубка для лазера на стронции. //Патент РФ 193604. Дата подачи заявки**:** 2018.12.25, Дата публикации:2019.11.06

Лазерный медицинский комплекс для лечения онкологических заболеваний «ЛИТТ-ФДТ»

А.Н. Солдатов, Е.Ф. Странадко, И.В Реймер, В.А. Евтушенко, М.В. Вусик, Л.Н. Чаусова

(Национальный исследовательский Томский государственный университет, Центр лазерной медицины, г. Москва, НИИ онкологии Томского научного центра СО РАМН, Томск)

Представлен новый лазерный медицинский комплекс для лечения онкологических заболеваний «ЛИТТ-ФДТ». Лазерный комплекс основан на системе лазера на красителе с накачкой излучением лазера на парах меди и имеет возможность плавной перестройки длины волны, что позволяет работать с любым фотосенсибилизатором при фотодинамической терапии. Приведены результаты клинической апробации комплекса «ЛИТТ-ФДТ» у больных базальноклеточным раком кожи.
Ключевые слова: лазерный медицинский комплекс на красителе, фотодинамическая терапия, базальноклеточный рак кожи
The new laser medical complex «LITT-FDT» for cancer treatment has been presented. The laser complex is based on the system of the dye laser with copper vapor laser pumping and is capable of smoothly reconstructing the wave length, allowing the use of any photosensitizer for photodynamic therapy. Results of clinical trial of the complex «LITT-FDT» for patients with basal-cell skin cancer have been presented.
Keywords: laser medical complex on the dye, photodynamic therapy, basal-cell skin cancer

За последнее десятилетие во всем мире отмечается стремительный рост заболеваемости злокачественными новообразованиями кожи. Одним из новейших подходов к лечению злокачественных новообразований является фотодинамическая терапия (ФДТ). Этот метод, основанный на лекарственной фотосенсибилизации опухолей и последующем световом воздействии, является новой перспективной медицинской технологией, позволяющей добиваться селективного разрушения опухоли с максимальным сохранением окружающей здоровой ткани. В мировой практике ФДТ при раке кожи проводится, как правило, в случаях неудачи предшествующего традиционного лечения. Для лечения злокачественных новообразований методом ФДТ используются различные типы лазеров.

В работе [5] были сформулированы следующие требования к источнику света для ФДТ:

-генерация света с длиной волны, соответствующей пику поглощения фотосенсибилизатора (ФС), и достаточной мощности;

-перестраиваемая длина волны;

-возможность подведения света к тканям по гибким тонким (200–400 мкм) световодам;

-портативность и удобство для клинического применения.

1. Ахмедов Б.Т. Скрининг рака кожи. //Современная онкология. 2000. №4. С. 199.
2. Евтушенко В.А. ФДТ с фотодитазином больных базальноклеточным раком кожи и тяжелыми сопутствующими заболеваниями. //Российский биотерапевтический журнал. 2007. №.1. С.15.
3. Солдатов А.Н., Полунин Ю.П., Воронов В.И. Патент на изобретение №2308794. Кювета для импульсного лазера на растворе красителя,
4. Солдатов А.Н. Воронов В.И. Патент на полезную модель. №59895. Импульсный лазер на растворе красителя.
5. Солдатов А.Н., Ермолаев А.П., Воронов В.И. и др. Лазерный медицинский комплекс для лечения онкологических и кожных заболеваний. // Тезисы докладов симпозиума «Лазеры на парах металлов» (ЛПМ-2004), посвященного памяти М.Ф. Сэма, Лоо, Ростов н/Дон. 2004. С. 88.
6. Soldatov A.N., Voronov V.I., Shumeiko A.S. et al .A CVL-Pumped Dye Laser System for Oncological and Dermatological Applications. //The7-th Russian-China Symposium. Tomsk. 2004. P.204–207.

Модель формирования инверсии в лазере на парах меди

Н.А. Юдин[1,2] Х.А. Баалбаки[2], К.В. Ночева[2], М.Е. Смирнова[2], Н.Н. Юдин[1,2]

([1]Институт оптики атмосферы СО РАН, Россия, г. Томск, [2]Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, г. Томск, yudin@tic.tsu.ru)

Накачка активной среды лазера на парах меди (ЛПМ) в газоразрядных трубках (ГРТ) с электродами, расположенными в холодных буферных зонах (ХБЗ) осуществляется в два этапа. На первом 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. Пробой – это переходный процесс развития разряда от тлеющего к нетермическому дуговому разряду и характеризуется резким изменением катодного падения потенциала на ГРТ.

***Ключевые слова*:** лазер на парах меди; пробой; термоэмиссия электронов

The pumping of the active medium of a copper vapor laser (CVL) in gas-discharge tubes

(GDT) with electrodes located in cold buffer zones (CBZ) is carried out in two stages. At the first stage, the capacitive components of the laser discharge circuit are charged from the storage capacitor, and at the second stage, the active medium is directly pumped. The transition from the preparatory stage to the pumping stage is carried out as a result of breakdown. Breakdown is a transient process of discharge development from a glowing to a non-thermal arc discharge and is characterized by a sharp change in the cathode potential drop across the GDT.
Keywords: copper vapor laser; breakdown; thermionic emission of electrons

Активные среды импульсно-периодических ЛПМ характеризуются высокой предымпульсной концентрацией электронов $n_{e0} \sim 10^{13}$ см$^{-3}$. Поэтому полагалось, что развитие разряда в данных условиях осуществляется без стадии пробоя. Однако, как показали исследования, развитие разряда в ГРТ с электродами, расположенными в ХБЗ осуществляется со стадией пробоя. Наличие пробоя позволяет объяснить наблюдаемый электрофизический процесс в разрядном контуре лазера, однако ранее проведенные исследования не раскрывают механизм данного процесса. Цель настоящей работы – выяснить механизм формирования пробоя, исследуя более детально электрофизический процесс в разрядном контуре ЛПМ и определить оптимальные условия накачки активной среды.

В докладе представлены результаты исследования электрофизического процесса в разрядном контуре ЛПМ. Показано, что накачка активной среды ЛПМ в ГРТ с электродами, расположенными в ХБЗ 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. Анализ экспериментально полученных результатов позволил сделать заключение, что пробой – это переходный процесс развития разряда от тлеющего к нетермическому дуговому и характеризуется резким изменением катодного падения потенциала на ГРТ. Показано, что индуктивность разрядного контура является фактором, определяющим эффективность накачки активной среды, поскольку сброс энергии, запасенной в индуктивности на подготовительном этапе, обеспечивает прогрев катодного пятна и определяет условия возникновения термоэмиссии

электронов с катода ГРТ.

Наличие $n_{e0} \sim 10^{13}$ см$^{-3}$ в активной среде ЛПМ определяет возможность развития разряда без стадии пробоя. Однако для возникновения разряда в газовой среде или плазме необходимо чтобы электрическая цепь была замкнута, что обеспечивается за счет эмиссии электронов с катода. При этом желательно (для эффективной накачки активной среды ЛПМ) обеспечить эмиссию электронов с катода ГРТ при минимальном катодном падении напряжения, что может быть реализовано в условиях термоэлектронной эмиссии, когда катод ГРТ или катодное пятно на электроде разогреты до температуры $T_k \sim 2000$°К, т.е. когда разряд имеет все признаки нетермического дугового разряда. Из вышесказанного следует, что для реализации эффективной накачки необходимо разогреть катод до температуры $\sim T_k$, поместив его, например, в горячую зону разрядного канала ГРТ, где рабочая температура $\sim T_k$. Это определяет необходимость использовать две модели формирования инверсии в зависимости от расположения электродов в ГРТ.

Релаксация метастабильных состояний в лазере на парах меди

Н.А. Юдин[1,2], Д.В. Шиянов[1], Х.А. Баалбаки, А.В. Васильева[2]

([1]Институт оптики атмосферы СО РАН, Россия, г. Томск, [2]Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, г. Томск, yudin@tic.tsu.ru)

Медленная релаксация метастабильных состояний обусловлена процессом диссипации энергии в межимпульсный период, запасенной в реактивных составляющих разрядного контура лазера. Процесс медленной релаксации метастабильных состояний характерен для газоразрядных трубок (ГРТ) с электродами расположенными в холодных буферных зонах и обусловлен тем, что после импульса возбуждения происходит быстрое охлаждение катодного пятна (за времена ~ 1 мкс). В результате возникает высокочастотный контур с высокой добротностью и диссипация энергии, запасенной в реактивных составляющих разрядного контура, продолжается в течение всего межимпульсного периода.

Ключевые слова: лазер на парах меди, газоразрядная трубка, метастабильные состояния

The slow relaxation of metastable states is due to the dissipation of energy in the interpulse period, stored in the reactive components of the laser discharge circuit. The slow relaxation process of metastable states is characteristic of gas-discharge tubes (GDT) with electrodes located in cold buffer zones and is due to the fact that after the excitation pulse, the cathode

spot is rapidly cooled (in a time of ~ 1 μs). As a result, a high-frequency circuit with a high-quality factor arises, and the dissipation of the energy stored in the reactive components of the discharge circuit continues throughout the entire interpulse period.
Keywords: copper vapor laser, gas-discharge tube, metastable states

Одной из основных причин ограничения частотно-энергетических характеристик (ЧЭХ) излучения лазера на парах меди (ЛПМ) являются высокие значения предымпульсных концентрации электронов и населенности метастабильных состояний атома меди в активной среде. Какой из этих параметров определяющий в ограничении ЧЭХ излучения лазеров являлось предметом длительной дискуссии, хотя хорошо известно, что метастабильные состояния очень эффективно тушатся в столкновениях с электронами.

В докладе представлены результаты исследования электрофизического процесса в разрядном контуре ЛПМ. Показано, что медленная релаксация метастабильных состояний обусловлена процессом диссипации энергии в межимпульсный период, запасенной в реактивных составляющих разрядного контура лазера. Процесс медленной релаксации метастабильных состояний характерен для газоразрядных трубок (ГРТ) с электродами расположенными в холодных буферных зонах и обусловлен тем, что после импульса возбуждения происходит быстрое охлаждение катодного пятна (за времена ~ 1 мкс). В результате возникает высокочастотный контур с высокой добротностью и диссипация энергии, запасенной в реактивных составляющих разрядного контура, продолжается в течение всего межимпульсного периода, подогревая электронную компоненту активной среды и, соответственно, снижает скорость тушения метастабильных состояний. Данный процесс характерен для газоразрядных трубок с керамическим разрядным каналом, когда диаметр разрядного канала ≥ 2 см. Обсуждаются технические решения по нейтрализации данного процесса.

Высокоскоростной алгоритм работы датчика оси диаграммы направленности в лазерных системах связи

А.А.Боев, С.Н. Кузнецов, Б.И. Огнев, К.И. Приходько

(АО «Мостком», info@moctkom.ru)

Предложен алгоритм обнаружения сигнала от удалённого терминала беспроводной лазерной линии связи, позволяющий осуществлять обработку изображения с высокой кадровой частотой. Рассмотрен вопрос реализации предложенного алгоритма в датчике оси диаграммы направленности на базе матричного фотодиодного приёмника.
Ключевые слова: обнаружение цели, бинаризация, беспроводная оптическая связь.
An algorithm for detecting a signal from a remote terminal of a wireless laser communication line is proposed, which allows image processing with a high frame frequency. The question of the implementation of the proposed algorithm based on a matrix photodiode receiver in the sensor of the axis of the radiation pattern is considered.
Keywords: target detection, binarization, free-space optics

Применение лазерных систем связи вместо традиционной радиосвязи позволяет решить проблему скрытности, а также существенно повысить скорость передачи информации. Наиболее перспективны варианты применения подобных систем для мобильных объектов (организация связи между морскими судами, космическими аппаратами и т.п.). Из-за очень узкой (порядка нескольких единиц угловых секунд) диаграммы направленности лазерного излучения, одной из основных задач в данных системах связи является наведение - поддержка направления связи с точностью до единиц и даже долей микрорадиан. Решение указанной задачи предполагает выделение цели - контрастного лазерного сигнала удалённого терминала путем обработки изображения на фотоприемной матрице (датчике оси диаграммы направленности, ДОДН), на котором, как правило, кроме цели присутствует фон (звёзды, Луна, Земля, блики, собственные шумы матрицы и т.п.).

Для решения подобной задачи обнаружения цели на фоне помех обычно используется алгоритм бинаризации [1], подразумевающий пороговую обработку каждого пикселя принятого изображения. При этом использование глобального порога по всему изображению может приводить к большому количеству ложных целей, причиной которых являются случайные шумовые выбросы яркости [2]. Появление ложных целейявляется крайне нежелательным

эффектом, т.к. это может приводить к переполнению буфера обнаруженных целей и потере полезных сигналов реальных объектов.

В качестве базового алгоритма, с учетом специфики решаемой задачи (выделение объекта с априорно известной формой) в работе была выбрана бинаризация с адаптивным порогом [1,3].

Примененный метод предусматривает бинаризацию путем двухступенчатой оценки контраста пиксела – как в его ближайшей окрестности (окну), так и по отношению к окружающему его окрестность фону («рамке», обрамляющей окно).

Вычислительные эксперименты показали достаточную эффективность линейной (построчной) бинаризации, что позволило проводить ее по мере поступления каждой строки с приемной матрицы в отличие от бинаризации 2D области размером NxN пикселов, требующей получений как минимум N строк. Данный подход, реализуемый в ДОДН на базе ПЛИС, даёт тридцатикратную экономию ресурсов.

Предложенный алгоритм позволяет определять направления на абонента в реальном времени при высокой кадровой частоте (340 Гц при разрешении 1024x1088), что дает возможность создания эффективных мобильных систем беспроводной лазерной связи.

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2006. 1072 с.
2. Трифонов, А. П. Совместное различение сигналов и оценка их параметров на фоне помех: монография. / А.П. Трифонов, Ю.С. Шинаков. М.: Изд. Радио и связь. 1986. 264 с.
3. Николаев Д.П., Сараев А.А., Николаев Д.П. Критерии оценки качества в задаче автоматизированной настройки алгоритмов бинаризации. // Труды ИСА РАН. 2013. № 3 (63). С. 85–94

Применение лазерных линий связи для космических аппаратов

А. В. Баскакова, А. А. Горячев, С. Н. Кузнецов, Б. И. Огнев,

Н. О. Пителин, С. Е. Широбакин

(АО Мостком, Рязань, info@moctkom.ru)

Лазерные системы передачи информации уже долгое время являются объектом внимания компаний, создающих и/или эксплуатирующих аппаратуру бортовых систем связи. Это внимание обусловлено уникальными потенциальными возможностями лазерных систем связи, в частности, при их использовании в каналах межспутникового обмена информацией. Проведенное исследование позволяет на основе имеющегося технологического опыта оценить преимущества лазерной оптической связи и её потенциал для проектирования низкоорбитальных спутниковых группировок.

Ключевые слова: космические оптические линии связи, оптический диапазон длин волн, лазерная связь

For a long time, laser optical communication systems have been the object of attention of companies that create and / or operate equipment for on-board communication systems. This attention is due to the unique potential of laser communication systems, in particular, when they are used in the channels of inter-satellite information exchange. This study allows, on the basis of the available technological experience, to evaluate the advantages of laser optical communication and its potential for the design of LEO satellite constellations.

Keywords: intersatellite optical links, optical waveband, laser communication

История развития космических линий лазерной связи насчитывает более 50 лет. За эти годы данная технология перешла от уникальных экспериментов к практической реализации в виде опытных образцов. Интерес к этой технологии значительно возрос за последние 5 лет.

Первый эксперимент, подтверждающий возможность создания космической оптической линии связи, был выполнен специалистами NASA в 1968 году. Также проводились три крупные разработки космических оптических линий связи в Западной Европе (проект SILEX — Semiconductor Laser Intersatellite Link Experiment), в Японии и в США под эгидой NASA. В 2013 году NASA продемонстрировало с помощью проекта Lunar Laser Communications Demonstration (LLCD) лазерную нисходящую и восходящую линии связи 622 и 20 Мбит/с соответственно.В январе 2018 года первые двунаправленные испытания высокоскоростной лазерной связи между спутником, находящимся на орбите высотой 40 000 км над Землей, и наземными станциями, провёл Китай.

В России соответствующие разработки ведутся уже на протяжении порядка 50 лет. С переменным успехом работы велисьспециалистами РКК «Энергия», АО НПК СПП, МГТУ им Н. Э. Баумана, ОАО ИСС им. академика М.Ф.Решетнева и другими научно-исследовательскими организациями. В России разработана и эксплуатируется лазерная навигационно-связная система для КА «Глонасс-М», скорость передачи данных 50 кбит/с. Весной 2019 года прошла успешная защита этапа технического проектапо СЧ ОКР «ЭКОЛИНС» на НТС в РКК «Энергия». В 2020 году начата разработка РКД, которую планируется завершить в 2021 году.

Несмотря на затянувшиеся темпы разработки необходимого оборудования в ряде стран, технология лазерной оптической связи уже достаточно развита, чтобы серийно создавать терминалы с параметрами размера, веса и мощности (SWaP) достаточными для межспутникового соединения, а в недалеком будущем и для соединения КА с наземными станциями, как на земле, так на воде и в воздухе. Спрос на информацию, необходимую в реальном времени, растёт неуклонно. В этой связи представляется, что низкоорбитальные спутниковые группировки, связь внутри которых осуществляется по лазерным каналам, станут оптимальным решением для таких задач как поддержка пилотируемой космической деятельности, передача данных в системах ДЗЗ, коммуникация в спутниковых группировках, организация широкополосного Интернета для летательных аппаратов и уменьшение нагрузки на наземные сети передачи данных.

1. An Updated Comparison of Four Low Earth Orbit Satellite Constellation Systems to Provide Global Broadband by Nils Pachler, Inigo del Portillo, Edward F. Crawley and Bruce G. Cameron [Электронныйресурс]. 2021. URL:http://systemarchitect.mit.edu/docs/pachler21a.pdf (Дата обращения 5.07.2021).
2. Казанцев С. Г. Лазерные технологии для телекоммуникационной платформы малого космического аппарата. Вопросы электромеханики. // Труды ВНИИЭМ. 2018. Т. 163 .№ 2. С. 29-47.
3. Гудвин, Ф. Действующие лазерные системы связи. Обзор // ТИИЭР. 1970. Т. 58. № 10. С. 365–372.

Модель лазерного воздействия на натуральные материалы

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

(Ижевский государственный технический университет
имени М.Т. Калашникова, Ижевск, E-mail: ajieksa_oo@mail.ru)

Рассмотрена модель воздействия лазерного излучения на натуральные материалы. Описано воздействие лазерного излучения установки Trotec Speedy 300 на материалы: кость, светлую натуральную кожу, темную натуральную кожу. Получены результаты экспериментов при изменении мощности лазерного излучения, скорости движения лазерного луча, частоты импульсов, разрешающей способности, диаметра сфокусированного лазерного луча на материале, угла падения лазерного луча. Для определения величины микронеровностей использовано воспроизведение ступенчатого клина с 15 ступенями.

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

The model of laser radiation effect on natural materials is considered. The impact of laser radiation of the Trotec Speedy 300 installation on biomaterials is described: bone, light natural skin, dark natural skin. The results of experiments were obtained when the laser radiation power, the laser beam speed, pulse frequency, resolution, the diameter of the focused laser beam on the material, the angle of incidence of the laser beam.. To determine value of micro-irregularities, reproduction of stepped wedge with 15 stages is used.

Keywords: laser impact, value of micro-irregularities, regression model

Надежность и долговечность приборов в значительной степени определяется качеством применяемых материалов. Номенклатура материалов, применяемых в приборостроении, составляет несколько десятков тысяч марок [1]. Высокие электрофизические свойства, химическая стойкость определили применение натуральных материалов в медицинской промышленности, в светотехнической промышленности, в приборостроении: корпусах приборов, панелях, защитных экранах, мобильных гаджетах и т.д.

Существование корреляционных связей между состоянием обработанной поверхности и параметрами, характеризующими технологию лазерной обработки, является предпосылкой получения поверхности материала с заданными характеристиками [2]. Предпринята попытка разработать модель и функционально связать состояние поверхности с параметрами лазерной обработки.

Учитывая микроструктуру, химический состав и физико-механические характеристики исследуемых материалов для проведения эксперимента

использована лазерная установка на углекислом газе CO_2 (*Trotec Speedy* 300). В качестве натуральных материала использованы древесина, камень, кость, светлая натуральная кожа, темная натуральная кожа. Анализ изменений состояния поверхности проводился при изменении мощности лазерного излучения от 2 до 12 Вт, скорости движения лазерного луча от 10 до 180 см/сек., разрешающей способности, количества линий на дюйм, от 100 до 1000 dpi., частоты импульсов излучения от 500 до 1000 Гц, диаметра сфокусированного лазерного луча на материале от 0.05 до 1.0 мм, угла падения лазерного луча от 0^0 до 45^0, и комбинации этих режимов. Для определения величины микронеровностей использовано воспроизведение ступенчатого клина с 15 ступенями. Величина микронеровностей рассчитывалась по Rz - высоте неровностей профиля, снятой в 10 точках, Ra - среднему арифметическому значению отклонения профиля, в соответствии с ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры, характеристики и обозначения».

В результате математической обработки данных эксперимента с помощью специализированного программного средства – MathCAD получена регрессионная модель, связывающая качество поверхности с технологическими режимами лазерной обработки. Коэффициент множественной корреляции между технологическими режимами и величиной микронеровностей составляет 0.9437.

1. Приборостроение – XX век / Сост. М.С. Шкабардня. М.: Совершенно секретно, 2004. 768 с.
2. Алексеев В.А., Усольцева А.В., Усольцев В.П. Регрессионная модель лазерного воздействия на натуральные материалы. // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте – 2020: труды XXVIII Международной конф. г. Новороссийск, (7-12 сентября 2020 г.). 2020. С. 95-99.

Исследование динамики разбрызгивания капель при абляции мишени $Nd:Y_2O_3$ с помощью волоконного иттербиевого лазера

В.В. Осипов[1], Г.С. Евтушенко[3], В.В. Платонов[1], Е.В. Тихонов[1], Е.А Кочурин[1], М.В. Кременецкий[1], Н.А. Васнев[2], П.И. Гембух[2], М.В. Тригуб[2]

([1]Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, platonov@iep.uran.ru,
[2]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, trigub@iao.ru,
[3]Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, Москва, evt@tpu.ru)

Проведена скоростная видеосъёмка разбрызгивания капель расплава при абляции спеченной из микропорошка мишени из $Nd:Y_2O_3$ импульсом излучения волоконного иттербиевого лазера ЛС-07Н. Использование для съёмки лазерного монитора на основе CuBr лазера позволило устранить на изображениях слишком яркое свечение пара в лазерном факеле и наблюдать разбрызгивание капель прямо из кратера. Расплав расплескивается из кратера в виде отдельных струй, которые затем разделяются на множество капель с размерами в десятки микрометров. Однако разбрызгиваются и одиночные капли. Исследована зависимость времени начала разбрызгивания капель от мощности лазерного излучения на мишени. Очевидно, что расплескивание расплава и образование капель является сложным гидродинамическим процессом, требующим дальнейшего изучения.

Ключевые слова: лазерная абляция, волоконный иттербиевый лазер, лазерный монитор, разбрызгивание капель расплава.

High-speed video shooting of the splashing of melt droplets during ablation of $Nd:Y_2O_3$ target sintered from micropowder by a pulse of an LS-07N fiber laser was carried out. The use of a laser monitor based on a CuBr laser for shooting made it possible to eliminate the too bright glow of vapor in the laser plume in the images and to observe the droplets splashing directly from the crater. The melt splashes from the crater in the form of separate jets, which are then divided into many drops with sizes of tens of micrometers. However, single drops are also sprayed out. The dependence of the onset time of droplet spraying on the power of laser radiation on the target is investigated. It is obvious that the splashing of the melt and the formation of droplets is a complex hydrodynamic process that requires further study.

Keywords: laser ablation, ytterbium fiber laser, laser monitor, splashing melt droplets.

Лазерный метод получения слабоагломерированных наночастиц оксидов с размерами 10÷20 нм заключается в испарении лазером мишени из спеченного микропорошка оксида (или их смеси) и в образовании наночастиц при конденсации пара в потоке газа. При использовании мощного CO_2 (λ=10.6 мкм) или непрерывного волоконного иттербиевого лазеров (λ=1.06 мкм) можно получать нанопорошки в количествах до нескольких килограммов. В случае волоконного лазера производительность получения нанопорошка может снижаться из-за разбрызгивания давлением пара множества капель расплава с

размерами 10÷100 мкм. Кроме того, при испарении сложных оксидов расплескивание расплава увеличивает отклонение химического состава наночастиц от состава мишени. В работе путем видеосъёмки исследуется разбрызгивание капель при абляции в воздухе мишени из Nd:Y_2O_3 с помощью импульса волоконного лазера ЛС-07Н.

Для съёмки использовался лазерный монитор на основе усилителя яркости на парах CuBr с частотой следования импульсов излучения 22 кГц, что позволило устранить на изображениях собственное свечение лазерного факела и наблюдать разбрызгивание капель. Видеоизображение регистрировалось камерой AOS Q-PRI, форма импульса волоконного лазера - pin-фотодиодом SFN2500FA, свечение лазерного факела - фотоэлементом ФЭК-22-СПУ-М. Лазерное излучение направлялось на мишень по нормали и фокусировалось линзой с F=400 мм в круглое пятно диаметром 430 мкм. Иногда мишень устанавливалась под углом 45°, и пятно имело форму эллипса (430х610 мкм).

Установлено, что расплав расплескивается обычно отдельными струями, из края кратера, которые в воздухе разделяются на отдельные капли. Разбрызгиваются и одиночные капли. При падении излучения на мишень по нормали, длительности импульсов 1300 мкс и мощности излучения на мишени P=670 Вт (I=0.46 МВт/см^2) расплав начинает расплескиваться спустя 70÷200 мкс после образования факела, а при P=260 Вт (I=0.18 МВт/см^2) задержка увеличилась до 570÷850 мкс. При P=205 Вт (I=0.14 МВт/см^2) расплав в половине случаев не смог оторваться от бруствера в виде капли, в одном случае капли образовались через 1050±23 мкс, а ещё в одном через 60±23 мкс.

В итоге, расплескивание расплава из кратера является сложным гидродинамическим процессом, и для выяснения механизма образования капель нужны дополнительные исследования.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ №20-38-70022 «Стабильность» и в рамках Гос. Задания №АААА-А19-119020790031-5. Усилитель яркости изготовлен в рамках проекта РНФ 19-79-10096.

Генерация на ионных переходах стронция и молекул азота при оптической накачке фемтосекундным лазером и наносекундным газовым разрядом

[1,2]В.Е. Прокопьев, [1]А.Н. Солдатов, [3]Н.К. Ошлаков, [1]Ю.П. Полунин, [1]А.В. Васильева, [3]А.Н. Иглакова, [1]А.Н. Шумейко

([1]Томский государственный университет, Томск, general@tic.tsu.ru; [2]Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия, prokop@ogl.hcei.tsc.ru; [3]Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск, Россия, ovk@iao.ru)

Актуальным направлением исследований в области фемтосекундной атмосферной оптики является теоретическое и экспериментальное исследование генерации сверхизлучения (СИ). В настоящей работе приведены результаты сравнительных экспериментальных исследований возникновения сверхизлучения на переходах иона молекулярного азота в воздухе и переходах иона стронция в атомарных парах в смеси с инергными газами (He, Ne) в нагреваемой кювете.

Ключевые слова: сверхизлучение, атом, молекула, ион, фемтосекунда

A topical area of research in the field of femtosecond atmospheric optics is the theoretical and experimental study of superradiance (SR) generation. This paper presents the results of comparative experimental studies of the appearance of superradiance on transitions of the molecular nitrogen ion in air and transitions of the strontium ion in atomic vapors in a mixture with inert gases (He, Ne) in a heated cell.

Keywords: superradiance, atom, molecule, ion, femtosecond

Сверхизлучение на длине волны 357.8 нм второй положительной системы молекулы азота в плазме филамента была впервые получена в работе [1] при оптической накачке атмосферного воздуха излучением фемтосекундного лазера (ФЛ) с длиной волны 800 нм. Позднее, при накачке ФЛ была получена генерация на длинах волн 427.8 нм и 391.4 нм первой отрицательной системы иона N_2^+ в воздухе. Причем в последнем случае инверсия населенности и генерация достигается на электронном переходе в основное состояние молекулярного иона азота. 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 сверхизлучения при длине активной среды порядка единиц сантиметров без применения резонаторов.

Целью настоящего сообщения является сравнительный анализ механизмов создания инверсии населенности и сверхизлучения на собственных переходах иона стронция и ионах молекулярного азота в основное электронное состояние

при оптической накачке фемтосекундными лазерами и в наносекундном газовом разряде.

Рабочая кювета (трубка) для создания и удержания паров стронция в смеси с инертными газами работала в режиме саморазогрева в случае газоразрядного способа возбуждения активной среды и испарения паров в кювете внешним нагревателем (печь сопротивления). Стронций кусочками закладывался по всей длине трубки-вкладыша. Длина активной зоны равнялась 40 см, внутренний диаметр трубок в разных экспериментах составлял 10 мм. Выходные окна из BaF_2 приклеивались к торцам газоразрядной трубки под углом к оптической оси. В качестве буферного газа использовались гелий или неон. Возбуждение разряда осуществлялось от высоковольтного источника напряжения по схеме Блюмляйна, в котором коммутатором служил тиратрон ТГИ1/1000. Частота следования импульсов возбуждения была близка к 20 кГц. Импульсы тока через трубку и коммутатор исследовались с помощью пояса Роговского и двухлучевого осциллографа, имеющего временное разрешение не хуже 0.1 нс.

Оптическая накачка осуществлялась лазерной системой, которая включала твердотельный стартовый комплекс ИОА СО РАН, излучающий фемтосекундные импульсы. Система включает в себя: Ti:Sa-задающий генератор с непрерывным лазером накачки, оптический стретчер, регенеративный и многопроходный усилители с импульсными лазерами накачки с длиной волны 532 нм. На выходе лазерной системы излучение на длинах волн ~ 800 нм имело длительность 50 фс и энергию до 50 мДж. Этот комплекс был разработан и изготовлен российской компанией «Авеста-проект» совместно с Физическим институтом им. П.Н. Лебедева РАН.

В работе реализовано сверхизлучение на указанных выше переходах иона стронция при оптической накачке паров стронция в смеси с инертными газами фемтосекундным лазером излучением. Указаны условия и параметры полученных линий сверхизлучения на электронных переходах Sr при оптической накачке и проведены сравнения с генерацией на переходах иона

стронция в импульсном газовом разряде. Показано, что основным механизмом создания инверсии населённости на переходах иона стронция и молекул азота является селективное многофотонное возбуждение рабочих состояний ионов этих квантовых частиц через автоионизационные состояния.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-08-00060_а)

1. Q. Luo, W. Liu and S.L. Chin //Appl. Phys. B, 2003, V. 76, P. 337–340.

Генерация высоконаправленного суперконтинуума в филаменте воздуха

[1,2] В.Е. Прокопьев, [1]Д.М. Лубенко, [1]В.Ф. Лосев

([1]Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия, prokop@hcei.tsc.ru; [2]Томский государственный университет, Томск, rector@tsu.ru)

В работе исследуются условия образования и физические параметры устойчивого направленного антистоксового суперконтинуума (СК) возникающего при распространении в воздухе сфокусированного инфракрасного фемтосекундного лазерного излучения с центральной длиной волны 940 нм. Высокая направленность излучения СК в нашем случае объясняется распространением и усилением света в оптическом световоде, возникшем в результате самоканализации излучения в воздухе в постфиламенте.

Ключевые слова: суперконтинуум, фемтосекундный лазер, каскадный четырёхфотонный параметрический процесс

This paper investigates the formation conditions and physical parameters of a stable directed anti-Stokes supercontinuum (SC) arising from the propagation of focused infrared femtosecond laser radiation with a central wavelength of 940 nm in air.

Keywords: supercontinuum, femtosecond laser, cascade four-photon parametric process

В работе исследуется осесимметричный и аберрационный случаи распространения пучка накачки. В первом случае, при длиннофокусной фокусировке и определённой мощности возникает одиночный филамент, являющимся источником направленного СК. Во втором случае, при внесение в пучок накачки фазовых искажений, например, путём наклона на определённый угол фокусирующей линзы или сферического зеркала возникает аберрация приводящая к возникновения двух симметричных относительно оси лазерного излучения ярко светящихся пучков света (СК) с малой расходимостью. В отличии от осесимметричного случая пучки СК во втором случае являются

более устойчивыми и стабильными.

Проведён сравнительный анализ полученных экспериментальных данных и различных механизмов возникновения направленного СК в прозрачных диэлектриках, в микроструктурированных и полых фотонно-кристаллических волокнах, газах. Показано, что наиболее вероятным механизмом возникновения направленного осевого и приосевого СК в воздухе является каскадный четырёхфотонный параметрический процесс (КЧФПП). При этом на первой стадии спектральное уширение излучения накачки в области нелинейного фокуса является результатом совместного действия стоксового ВКР на вращательных переходах молекул воздуха и параметрического четырехволнового смешения с незначительным вкладом в уширение фазовой самомодуляции (ФСМ) импульса накачки. Эта часть процесса уширения спектра реализуется уже в до точки нелинейного фокуса (предфиламента), а значительное антистоксовское уширение вплоть до частот 350 нм реализуется (возникает) в области постфиламента на расстоянии ~ 10 см от меридионального фокуса, где и возникают, в случае аберрации, два симметричных устойчивых филамента (постфиламента).

Физической причиной существования ЧФПП в наших условиях является: 1) нелинейная восприимчивость третье порядка воздуха и 2) последовательное уширении спектра в антистоксовую область при КЧФПП. Высокая направленность излучения СК в нашем случае объясняется распространением и усилением света в оптическом световоде, возникшем в результате самоканализации излучения в воздухе в постфиламенте.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-48-700016 р_а)

Особенности цветовых характеристик лазерных и светодиодных источников света

Н.А. Албу-Салих, И.В. Калинина, В.Н. Храмов

(Волгоградский государственный университет, Волгоград, stechka2017@mail.ru)

Приведены результаты спектральных измерений и расчетов цветовых характеристик светодиодных ламп и лазерных источников света видимого диапазона. Проведены расчеты цветовых координат в различных системах измерения цвета. Выяснены особенности расчета коррелированной цветовой температуры для лазерных и светодиодных источников света по сравнению с обычными лампами накаливания.
Ключевые слова: лазеры, источники света, спектры излучения, коррелированная цветовая температура
Spectral measurements results and their calculation were presented for color characteristics LED lamps and visible laser light sources. For color coordinates was calculations in different color measurement systems. After comparison laser and LED light sources with conventional incandescent lamps was identified features for calculations correlated color temperature.
Keywords: lasers, sources of light, emission spectra, correlated color temperature.

Цветовые параметры относятся к группе основных параметров источников света наряду с энергетическими и световыми параметрами. Если с классическими тепловыми источниками света проблем в определении этих параметров обычно не возникает, то с разработкой современных источников сета (светодиодных и лазерных) проблемы при их оценке появляются, даже если следовать стандартным процедурам измерения и расчета.

Наиболее точные результаты получаются на основе измерения спектра излучения источников света.В данной работе для измерения спектральных характеристик исследуемых источников света был использован модернизированный комплекс на базе монохроматора МДР-23. Все последующие расчеты цветовых характеристик источников света производились на основе этих спектральных измерений.

В соответствии ГОСТ Р 55703-2013 «Источники света электрические. Методы измерений спектральных и цветовых характеристик» коррелированная цветовая температура определяется по изотемпературным линиям на диаграмме цветности МКО[1]. Но таким способом корректные оценки получаются лишь для источников света, координаты цветности которых располагаются вблизи

кривой Планка (для абсолютно черного тела).

Для квазимонохроматических лазерных источников света, цветовые координаты которых располагаются на краях диаграммы цветности, такой подход нахождения коррелированной цветовой температуры приводит к неправильному результату. Здесь необходимо воспользоваться исходным определением коррелированной цветовой температуры:это температура черного тела, при которой координаты цветности его излучения близки в пределах заданного допуска к координатам цветности рассматриваемого излучения на цветовом графике МКО. Такой прямой способ позволяет максимально точно оценить коррелированную цветовую температуру квазимонохроматических источников света [2].

В работе также представлены результаты расчетов цветовых координат исследуемых источников света в различных системах измерения цвета. Для квазимонохроматических лазерных источников предпочтительной является система RGB. Приведены примеры пересчета цветовых координат МКО лазерных и светодиодных источников света в некоторые распространенные типы цветовых пространств RGB.

Уточненные результаты расчетов цветовых параметров данных источников света на основе экспериментальных спектральных данных можно использовать в проекционных лазерных устройствах, дисплеях, системах коррекции и синтеза цвета, системах освещения с регулируемыми параметрами и т.д.

1.ГОСТ Р 55703-2013. Источники света электрические. Методы измерений спектральных и цветовых характеристик. М.: Стандартинформ, 2015. 53 с.
2. Горбунова Е.В., Чертов А.Н. Типовые расчёты по колориметрии источников излучения. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2014. – 90 с.

Влияние турбулентности на распространение оптических сигналов с длиной волны 1550 нм

[1]Б.И. Огнев, [2]С.А. Складчиков, [3]Е.Г. Чуляева

[1]АО «МОСТКОМ», Рязань, [2]МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва,
[3]РГРТУ им. В. Ф. Уткина, Рязань, Россия, email: b_ognev@mail.ru,
skladtchikov@mail.ru, * elenachuljaeva@yandex.ru

В настоящей работе проведено моделирование процесса турбулентности в атмосфере, в которой распространяется лазерное излучение. Показано, что турбулентная атмосфера приводит к расщеплению пучка лазерного излучения (в данном случае на три пучка), что вынуждает разработчиков лазерных систем связи снабжать дополнительными приемниками системы атмосферных линий связи.
Ключевые слова: турбулентность, атмосфера, лазерное излучение, фотоприемник
A computer simulation of the turbulence process in the atmosphere in which laser radiation propagates is carried out in this paper. It is shown that the turbulent atmosphere leads to the laser beam splitting (into three beams in this case), which forces the developers of laser communication systems to supply additional receivers to the systems of atmospheric communication lines.
Keywords: turbulence, atmosphere, laser radiation, photo detector

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

Как показано в работе [1], потери на рассеяние в атмосфере из-за турбулентности незначительны, однако траектория луча претерпевает изменения, при этом повышается расходимость пучка и возникает неоднородность по сечению

Целью настоящей работы является моделирование в программе АНСИС процесса турбулентности вблизи приемной линзы приемо-передающего лазерного модуля (ППМ), входящего в систему атмосферной линии связи, и

выявление изменения коэффициента преломления вблизи приемной площадки.

Моделируя в программе АНСИС выражения для уравнений Навье- Стокса, получим графики распределения поля скоростей и плотностей газа (воздуха) при температуре 300 К. По результатам моделирования наблюдаются ярко выраженные неравномерности плотности вблизи поверхности линзы. Эти неравномерности будут способствовать искажению траектории луча. Причем, поскольку в центре линзы наибольшая плотность воздуха, луч будет расщепляться, по крайней мере, на три луча. При этом плотность воздуха изменяется в пределах от max плотность 7.375999e-01 до min плотность 7.375996e-01 [2].

1.Зуев В. Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере. М.: Сов.радио, 1970. 496 с.
2. Течения вязкой жидкости и модели турбулентности: методы расчета турбулентных течений. // Федеральное агентство РФ по образованию, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Физико-механический факультет, Кафедра гидроаэродинамики. Санкт–Петербург. 2010

СЕКЦИЯ Б-2 –НАНОТЕХНОЛОГИИ

Использование фотополимеризующейся композиции с нейтральным компонентом для оптического формирования планарных световодов

С.Н. Менсов[1,2], Ю.В. Полуштайцев[1]

([1] Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН,
[2] Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, mensov@rf.unn.ru)

Исследована возможность одностадийного формирования планарных световедущих структур из фотополимеризующихся композиций с нейтральным компонентом фотолитографическим методом. Показано, что требуемый профиль показателя преломления световода в виде полимерного ядра, окружённого низкопреломляющим демпферным участком из того же материала с большей концентрацией нейтрального компонента, можно формировать за счёт диффузионных процессов, стимулированных неоднородным распределением интенсивности актиничного излучения. Представлены результаты численного моделирования и экспериментов по оптическому формированию в полимерном слое стабильных световедущих 2D-структур с объёмным распределением показателя преломления.
Ключевые слова: многокомпонентные фотополимеризующиеся среды, планарные световоды
The possibility to form planar light-guides from photopolymerizable compositions with a neutral component in single stage by the photolithographic method is investigated. It is shown that the required profile of the refractive index in the light-guide, which is a polymeric core surrounded by a low-refracting damper of the same material with a higher concentration of the neutral component, can be formed due to diffusion processes stimulated by non-uniform distribution of actinic radiation intensity. The results of computer simulation and experiments on the optical formation of stable light-guiding 2D-structures with a volume distribution of the refractive index in the polymer layer are presented.
Keywords: multi-component photopolymerizable medium, planar light-guides

Диэлектрические слои, в которых можно формировать заданное распределение показателя преломления, находят широкое применение для создания элементов планарной оптики, в том числе и световедущих структур. Современные модифицируемые излучением среды (фоторезисты) позволяют фотолитографическими методами формировать нано- и микроразмерные структуры с произвольной топологией. Возможность локально менять величину показателя преломления в фоточувствительных материалах путём воздействия неоднородным излучением позволяет отказаться от многоэтапности в существующих технологиях изготовления оптических плат. Так, из жидких фотополимеризующихся композиций (ФПК) с нейтральным

компонентом (НК) за счёт диффузионных процессов, стимулированных неоднородным распределением интенсивности актиничного излучения, могут быть созданы структурированные полимерные материалы, фактически, в одну стадию. Здесь реализуется механизм вытеснения нейтрального компонента из областей с большей конверсией и накопление его в теневом участке. Благодаря различию оптических свойств НК и полимера это открывает возможность проекционным способом формировать полимерные 2D-структуры с требуемым распределением показателя преломления [1].

В работе методами численного моделирования исследованы процессы диффузионного перераспределения компонентов в слое ФПК при инициировании полимеризации светом с неоднородным распределением интенсивности. Установлено, что за счёт вытеснения НК в неосвещённые участки полимеризуемого слоя возможно одностадийное формирование в полимерном слое стабильных световедущих 2D-структур с объёмным распределением показателя преломления проекционным способом. Выявлены условия эффективного формирования полимерного ядра световода с низкопреломляющим демпферным участком, характеризуемым повышенной концентрацией нейтрального компонента. Проведены экспериментальные исследования по оптическому формированию в полимерном слое стабильных световедущих 2D-структур с объёмным распределением показателя преломления. Исследована возможность создания топологического рисунка в слое ФПК, заключённого между полимерных стёкол из того же материала. Эксперименты проведены с применением стандартной ФПК на основе ОКМ-2 с фотоинициирующей системой – замещённый орто-бензохинон и *N,N*-диметилэтаноламин, которая даёт возможность проводить полимеризацию оптическим излучением видимого диапазона. В качестве нейтральной добавки применяли низкомолекулярные спирты (метанол, 1-бутанол, ацетонитрил).

Работа выполнена в рамках гос. задания ФАНО России (тема № 45.7).

1 Mensov S.N., Polushtaytsev Yu.V. Single-stage optical formation of planar light-

guides in a layer of photopolymerizable composition // J. Applied Polymer Science. 2021. V. 138. N 15. Article ID APP50187

Формирование градиентных линз в фотополимеризующемся слое при воздействии нестационарным световым потоком

С.Н. Менсов[1,2], *Ю.В. Полуштайцев*[1]

([1] Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН,
[2] Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, mensov@rf.unn.ru)

Исследован процесс формирования плавных распределений показателя преломления в слое фотополимеризующейся композиции за счёт стимулирования нестационарным оптическим излучением диффузионных процессов перераспределения концентрации нейтрального компонента. Методом численного моделирования показано, что при фотополимеризации такой многокомпонентной среды световым распределением с границей освещённости, движущейся вдоль полимеризуемого слоя, возможно создание градиентных полимерных линз с параболическим и гауссовым профилем показателя преломления. Представлены результаты экспериментов по оптическому формированию плоских элементов градиентной полимерной оптики из ОКМ-2 с бутанолом в качестве нейтрального компонента.

Ключевые слова: фотополимер, градиентная оптика, нестационарная фотополимеризация, движение границы

The diffusion processes in a layer of a photopolymerizable composition stimulated by non-stationary optical radiation causing the relocation of the neutral component concentration and formation of smooth distributions of the refractive index were investigated. By the method of computer simulation, it was shown that with the photopolymerization of such a multi-component medium, moving the illumination boundary along the polymerized layer makes it possible to create gradient polymer lenses with a parabolic and Gaussian profile of the refractive index. The experimental results on the optical formation of flat elements of gradient polymeric optics from the industrial oligomer OCM-2 with butanol as a neutral component are presented.

Keywords: photopolymer, GRIN optics, non-stationary photopolymerization, moving boundaries

В отличие от линз, изготовленных из однородных оптических материалов, фокусирующие свойства градиентной оптики задаются не формой поверхности, а объёмным распределением показателя преломления. Плоские рабочие поверхности таких оптических элементов позволяют производить сборку нескольких элементов без воздушного контакта, обеспечивая меньшие потери на отражение. Однако технология их изготовления сложна и требует существенных временных затрат. Как правило, она основана на модификации боковой цилиндрической поверхности: послойно (напылением, осаждением,

соэкструзией), за счёт ионообменных процессов, при диффузионном размытии границы между базовым и легированным материалам, в ходе термической обработки заготовок в неоднородном температурном или электрическом поле.

В настоящее время для оптической записи голограмм с объёмным распределением показателя преломления и брегговских решёток успешно используются плоские слои фотополимеризующихся композиций (ФПК) с нейтральным компонентом (НК). Здесь стабильные градиенты концентраций компонентов ФПК, содержащих добавки, которые отличаются по показателю преломления, могут быть сформированы за счёт диффузионных механизмов в ходе полимеризации неоднородным по интенсивности излучением [1]. При этом эффективный массоперенос НК вдоль фотополимеризуемого слоя можно обеспечить и на протяжённых участках за счёт использования нестационарных световых потоков, инициирующих полимеризацию [2].

В данной работе показано, что создание элементов градиентной оптики осуществимо в ФПК с нейтральным компонентом при воздействии излучением с перемещаемой вдоль полимеризуемого слоя границей света и тени. Гибкость такой оптической технологии позволяет не только величиной скорости перемещения границы освещённости формировать различную кривизну и размеры градиентных линз [3], но и движением нескольких границ получать матрицы таких элементов, разнесённых в плоскости слоя. К тому же, изготовленные таким методом плёночные полимерные элементы градиентной оптики можно пакетировать для увеличения их светосилы, наносить на поверхность обычных линз для придания им астигматических свойств, например, для коррекции анизотропии излучения полупроводниковых лазеров.

Работа выполнена в рамках гос. задания ФАНО России (тема № 45.7).

1 Батенькин М.А., Менсов С.Н., Романов А.В., Использование нейтральных компонент с низкой вязкостью для повышения дифракционной эффективности фотополимерных голограмм. // Оптика и спектроскопия. 2008. Т.104. Вып. 1. С. 149-154

2 Менсов С.Н., Морозова М.А., Полуштайцев Ю.В. Оптическое формирование

и транспорт локальной области с повышенным содержанием нейтрального компонента в слое фотополимеризующейся композиции.// Письма в ЖЭТФ. 2018. Т.108. Вып. 8. С. 582-585
3 Polushtaytsev Yu.V., Mensov S.N. Formation of gradient polymer lenses by non-stationary luminous flux // J. Polymer Research. 2019. V. 26. N 12. Article ID 273

Фазовая диаграмма системы $BaBr_2$-BaI_2

А.И. Русаков, А.А. Шалаев

(Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, rusakov@igc.irk.ru)

Для твердых растворов различных составов с шагом 10 мол. % от $BaBr_2$ доBaI_2 методом диференциально-сканирующей калориметрии получены температуры плавления и кристаллизации этих твердых растворов. Построена фазовая диаграмма для таких систем.

Ключевые слова: твердые растворы $BaBr_2$ +BaI_2, метод диференциально-сканирующей калориметрии, фазовая диаграмма

Melting and crystallization temperatures of these solid solutions were obtained for solid solutions of different compositions in increments of 10 mol% from $BaBr_2$ to BaI_2 by differential scanning calorimetry. A phase diagram for such systems is constructed.

Keywords: solid solutions $BaBr_2$ +BaI_2, differential scanning calorimetry method, phase diagram

Для изучения системы $BaBr_2$-BaI_2 были получены твердые растворы различных составов с шагом 10 мол. % от $BaBr_2$ доBaI_2. С помощью метода диференциально-сканирующей калориметрии получены температуры плавления и кристаллизации этих твердых растворов. На основе полученных точек солидуса и ликвидуса была построена фазовая диаграмма для системы $BaBr_2$-BaI_2 (рис. 1).

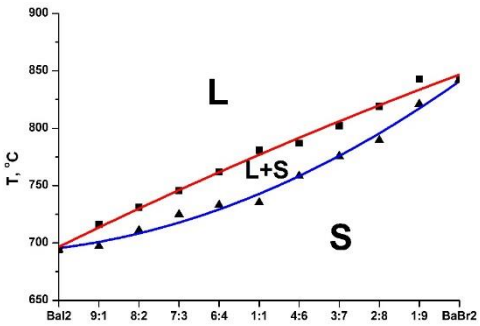

Рис. 1. Фазовая диаграмма системы $BaBr_2$-BaI_2. Линии ликвидуса (красным) и солидуса (синим). L – область жидкой фазы, S – область твердой фазы, L+S – область устойчивости двухфазной ассоциации.

На основании представленной диаграммы, отсутствия резких изменений параметров кристаллической решетки, проведенных РФА анализов и того что, выполняются все правила Юм-Розери можно сделать вывод: компоненты $BaBr_2$ и BaI_2 неограниченно растворимы между собой как в жидком, так и в твердом состоянии и представляют непрерывный ряд твердых растворов замещения с образованием упорядоченной структуры в области стехиометрического состава.

О причинах генерации электролюминесценции нанопористого оксида алюминия при его формировании в химически чистой воде

Д.С. Овеченко

(Кубанский Государственный университет, Краснодар, dimix3@mail.ru)

Для электролюминесценции (ЭЛ), сопровождающей процесс электролизного формирования нанопористого оксида алюминия (Al_2O_3) в химически чистой (дистиллированной) воде, проведен корреляционный анализ кинетики ее светимости с электрическими, геометрическими и структурными характеристиками растущего Al_2O_3. Установлено, что наибольшую взаимосвязь светимость ЭЛ имеет с напряженностью электрического поля, локально усиливаемого элементами нанопористой структуры растущего Al_2O_3и способного достигать $4 \cdot 10^8$ V/m.

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

For electroluminescence (EL) accompanying the process of electrolysis formation of nanoporous alumina (Al_2O_3) in chemically pure (distilled) water, a correlation analysis of the kinetics of its luminosity with the electrical, geometric, and structural characteristics of growing Al_2O_3 was carried out. It has been found that the EL luminosity has the greatest relationship with the strength of the electric field, which is locally amplified by the elements of the nanoporous structure of growing Al_2O_3 and is capable of reaching ~$4 \cdot 10^8$ V/m.

Keywords: electroluminescence, distilled water, correlation, 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 [1–3]. 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 [4, 5]. В настоящей работе предпринята попытка рассмотреть взаимосвязь кинетики

светимости ЭЛ (I) с токовыми и структурно-геометрическими характеристиками растущего Al_2O_3 в химически чистой (дистиллированной) воде с помощью корреляционного анализа. Этими параметрами являются: кинетика плотности электрического тока (J), протекающего через электролитическую систему, толщина растущего оксида (d), пористость (P), изменение напряженности электрического поля в растущем Al_2O_3 (E) и его локальное усиление(E_{max}) на элементах формируемой структуры из нанопор и характеризуемое геометрическим коэффициентом (ψ) [6, 7].

Из всех перечисленных параметров наибольшая величина коэффициента корреляции (R) оказалась для параметра E_{max} (для него R^2 составил 98.26%), определяемого простым соотношением: $E_{max} = \psi \cdot E$ и способного достигать $4 \cdot 10^8$ V/m. Наименьшая величина R^2 оказалась для ψ и составила 15.29%. Из полученных данных следует, что определяющей причиной генерации ЭЛ Al_2O_3 в химически чистой (дистиллированной) воде является напряженность электрического поля, локально усиливаемая элементами нанопористой структуры растущего оксида. Этот результат дает основание для построения более полной, физико-математической модели явления, позволяющей не только теоретически дать его количественную оценку, но и прогнозировать по ЭЛ ход этапов зарождения, формирования и роста пор в Al_2O_3.

Финансирование работы: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-32-90112.

Благодарности: Автор выражают большую благодарность своему научному руководителю, д-ру физ-мат наук, доценту кафедры оптоэлектроники КубГУ – А.П. Бойченко за большую помощь в работе.

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. The role of interference in the electroluminescence of thin anodic oxide films. // Thin Solid Films. 1981. V. 78. Iss. 3. P. 279-286

3 Zeković Lj.D., Urošević V.V., Jovanić B. Determination of anodic oxide film thickness by a luminescence method.мощью // Appl. Surface Sci. 1982. V. 11–12.

P. 90-99
4 Wielage B., Alisch G., Lampke Th., Nickel D. // Key Engineering Materials. 2008. V. 384. P. 263-281
5 Гриднев А.Е., Чернышев В.В. Спектры электролюминесценции анодного оксида алюминия в различных электролитах // Вестник ВГУ, Серия: Физика. Математика. 2005. № 2. С. 8–10
6 Ovechenko D.S., Boychenko A.P. Transformation of the nanoporous structure of anodic aluminium oxide and its «nonelectrolysis» electroluminescence. // Solid State Phenomena. 2020. V. 312. P. 166-171
7 Овеченко Д.С., Бойченко А.П. Электролюминесценция анодного оксида алюминия в кетонах. // Опт. и спектр. 2020. Т. 128. Вып. 2. С. 256–262

Отличия и область применения формулы для температуры Дебая, выведенной с помощью модели потенциального взаимодействия микрочастиц

А.В. Богданов

(Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета» в г. Новороссийске, e-mail: bogdanov50@gmail.com)

Получена новая формула для температуры Дебая, исключающая понятие кристаллической решётки и учитывающая кулоновское взаимодействие зарядов в донорно-акцепторных парах на границе раздела молекул основного вещества и инородных молекул включения, применимая для кристаллических, некристаллических, поликристаллических и жидких веществ.
***Ключевые слова*:** фононы, квантовая модель.
A new formula for the Debye temperature is obtained, which excludes the concept of a crystal lattice and takes into account the Coulomb interaction of charges in donor-acceptor pairs at the interface between the molecules of the base substance and foreign inclusion molecules, which is applicable for crystalline, no crystalline, polycrystalline and liquid substances.
Keywords: phonons, quantum model.

Внутренняя энергия тела состоит из кинетической энергии микрочастиц и кулоновского взаимодействия между ними. Основными положениями квантовой теории твёрдых тел является наличие кристаллической решётки в узлах которой находятся микрочастицы. Кинетическая энергия колебательного движения этих частиц вокруг некоторого положения равновесия отожествляется с квазичастицами – фононами, определяющими температуру тела. Минимальная частота фононов в кристалле размером 1 см составляет

более 10^4Гц.

Для каждого вещества существует характерная температура Дебая T_D, характеризующая резкое изменение его электрофизических свойств (электропроводности, теплопроводности, теплоемкости и т. д.) и определяемая максимальной частотой фононов ω_{max}:

$$\boldsymbol{T_D = \frac{h}{k}\omega_{max}} \quad (1)$$

где $\boldsymbol{h, k}$ - постоянные Планка и Больцмана, соответственно.

Недостатками известной модели является её использование в основном для сверхчистых полупроводников в микроэлектронике, имеющих кристаллическую структуру. Известная модель встречает трудности при описании, составляющих более 90% от всех веществ: кристаллических, некристаллических, поликристаллических и жидких структур. Электрофизические свойства таких структур, содержащих порядка 1% инородных веществ, более, чем на порядок отличаются от рассчитанных по известной модели.

Молекула, но не атом является мельчайшей частицей, характеризующей свойства вещества. Поэтому использование инструментария квантовой физики в модели Дебая – основной модели в квантовой теории твёрдого тела применимо в основном для моноатомных веществ. Предлагаемая нами модель удовлетворительно поясняет экспериментально полученные характеристики электронных устройств, не нашедших достаточно убедительных объяснений в квантовой теории. В частности, роль и влияние на них:

- инородных и некристаллических включений и дефектов;

- нагрева и низкочастотных (до 2 кГц) электромагнитных полей.

В предлагаемой модели сила кулоновского взаимодействия между зарядами частиц $\boldsymbol{q}$ определяется расстоянием между ними $\boldsymbol{R}$, которое в свою очередь определяется Боровским радиусом атома в донорно-акцепторной паре $\boldsymbol{a_B}$, расположенной между разнородными молекулами, относительной диэлектрической проницаемостью $\boldsymbol{\varepsilon}$ и температурой Дебая $\boldsymbol{T_D}$.

$$R = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{1}{3}}}\left(\frac{4k\cdot\varepsilon_o}{q^2(2\pi)^{\frac{1}{3}}}\right)^{-\frac{1}{2}}\cdot\left(\frac{\varepsilon\cdot T_D}{a_B}\right)^{-\frac{1}{2}} = 0,534\cdot 10^{-2}\sqrt{\frac{a_B}{\varepsilon\cdot T_D}}$$

Таким образом, предлагаемая модель отличается от квантовой заменой кинетической энергии микрочастиц на их потенциальную энергию, что позволяет её использовать для более широкого круга веществ.

1. Богданов А.В. Донорно-акцепторная рекомбинация как обратная связь и нормирующий фактор электрофизических свойств полимолекулярных веществ. // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте, 2020; труды XXVIII Международной конференции (г. Новороссийск, Краснодарский край, 7-12 сентября 2020 г.) под ред. проф. В.Е. Привалова. Пенза: Изд-во ПГУ, 2020. С. 157-159.

Влияние кулоновской силы взаимодействия в донорно-акцепторных парах на электрофизические свойства жидких углеводородов

А.В. Богданов

(Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета» в г. Новороссийске, e-mail: bogdanov50@gmail.com)

Показано, что с увеличением плотности жидких углеводородов уменьшается размер донорно-акцепторных пар (ДАП), возрастает кулоновское притяжение зарядов, температура выкипания, но увеличивается вязкость. За счёт обработки электромагнитными полями уменьшается неравновесная концентрация ДАП и уменьшается их вязкость.
***Ключевые слова*:** донорно-акцепторные пары, электромагнитная обработка.
It is shown that with an increase in the density of liquid hydrocarbons, the size of donor-acceptor pairs (DAP) decreases, the Coulomb attraction of charges and the boiling point increase, but the viscosity increases. Due to the treatment with electromagnetic fields, the no equilibrium concentration of DAPs decreases and their viscosity decreases.
***Keywords*:** donor-acceptor pairs, electromagnetic treatment.

Жидкие углеводороды - хорошие диэлектрики, содержащие не вступающие в химическую реакцию вещества с различным удельным весом. Для исследования электропроводности мазута мы его предварительно «пробивали» в сильных электрических или магнитных полях. Одновременно с ростом электропроводности наблюдалось уменьшение его вязкости.

При измерении электропроводности мазута обнаружено отрицательное дифференциальное сопротивления (ОДС) $\boldsymbol{N}$ - типа на частотах тока до 2 кГц [1]. Максимумы тока на кривых термостимулированной проводимости ТСП наблюдались только в определённом интервале температур. Данные результаты согласуются с аналогичными результатами, полученными на монокристаллах алмаза и подтверждают механизм рекомбинации носителей заряда в донорно-акцепторных парах (ДАП), используемый в нашей модели.

В зависимости от плотности и диэлектрической проницаемости жидких углеводородов [2] проведён расчёт согласно [3] размера $\boldsymbol{R}$ и концентрации ДАП $\boldsymbol{N_{do}}$ (Таблица 1).

Таблица 1 - Сравнительные значения концентрации ДАП $\boldsymbol{N_{d0}}$ и наиболее вероятного их размера $\boldsymbol{R}$ в жидких углеводородах

Жидкие углеводороды	Температура выкипания,℃	Диэлектрическая проницаемость,ε	Плотность ρ, г · см$^{-3}$	N_{d0} 10^{18}, см$^{-3}$	R, нм
Петролейный эфир	56-80	1,724 --- 2,26	0,6550	118	1,05
Бензины	60-150	1,887--- 2,59	0,7668	136	1,05
Керосины	140-200	1,958---2,74	0,8057	143	1,04
Дизтопливо	190-250	1,963--- 2,75	0,8081	144	1,04
Нефть	50-300	2,183--- 3,23	0,8627	169	0,98
Мазут	Больше 300	2,401--- 3,72	0,9388	195	0,93

С увеличением плотности происходит не только возрастание вязкости, но и уменьшение размера ДАП $\boldsymbol{R}$. Уменьшение $\boldsymbol{R}$ приводит к росту кулоновского взаимодействия между инородными молекулами в полимолекулярном мазуте, что подтверждает предлагаемую нами модель вязкости. Преимуществом предлагаемой модели по сравнении с известной, является возможность за счёт временного изменения концентрации $\boldsymbol{N_{do}}$ и $\boldsymbol{R}$ под действием внешних электрических и магнитных полей объяснить изменение вязкости и других параметров и их медленную релаксацию во времени.

1. Богданов А.В., Богданов В.А. Электропроводность мазута. // Научный вестник Херсонской государственной морской академии. 2013. №2 (9). - Херсон: Изд.: ХГМА. С. 83-87.
2. Скворцов Б.В., Силов Е.А. Исследование корреляционных зависимостей между октановым числом и электродинамическими параметрами углеводородных продуктов. // Известия Самарского научного центра РАН, 2009. Т. 11, № 5. С. 64-71.
3. Богданов, А.В. Донорно-акцепторная рекомбинация как обратная связь и нормирующий фактор электрофизических свойств полимолекулярных веществ. // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте, 2020; труды XXVIII Международной конференции (г. Новороссийск, Краснодарский край, 7-12 сентября 2020 г.) под ред. проф. В.Е. Привалова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2020. – С. 157-159.

Модель прочности металлов, учитывающая Кулоновское взаимодействие зарядов микрочастиц

А.В. Богданов

(Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета» в г. Новороссийске, e-mail: bogdanov50@gmail.com)

Предлагаемая модель согласуется с моделью Гриффитса, поясняя механическую прочность металлов, кулоновской силой взаимодействия между зарядами в донорно-акцепторных парах, расположенных на границе щели или раздела основного вещества – матрицы и включения в неё инородных веществ, а влияние электромагнитных полей на структуру металла кинетикой рекомбинации носителей заряда.
Ключевые слова: Донорно-акцепторное взаимодействие, модель Гриффитса
Donor-acceptor interaction at the boundary of crystallites in the dielectric film aluminium oxide causes the formation of a slowly relaxing (volume) no equilibrium charge, the appearance of maxima on the thermally stimulated conductivity curves, leakage currents and can characterize the potential unreliability of semiconductor devices.
Keywords: Donor-acceptor interaction, Griffits model

Большинство металлов - поликристаллы. Расчёт их механической прочности с помощью известной квантовой теории, включающей кинетическую энергию микрочастиц в кристаллической решётке (фононов) даёт более, чем на порядок завышенные значения. Незначительные, порядка нескольких процентов, включений молекул соединений углерода кардинально меняют прочностные и пластические свойства сталей. Данные

экспериментальные результаты значительно ограничивают использование известной квантовой теории, включая вводимую температуру Дебая в металлах, как максимальную частоту фононов.

Поэтому в настоящее время основной моделью разрушения металлов является дислокационная модель трещин Гриффитса [1]. Объяснение прочности металла накоплением механических напряжений на поверхностях трещин без учёта кулоновских сил притяжения между зарядами в данной модели затруднено. Единственной силой, определяющей прочность металлов, является кулоновская сила взаимодействия между электрическими зарядами соседних молекул. Подтверждением наличия электрического заряда на поверхностях щелей Гриффитса является метод неразрушающего контроля стальных деталей - метод магнитопорошковый дефектоскопии (МПД). Скопления магнитного порошка над дефектами в МДП образуют индикаторные рисунки, повторяющие очертания обнаруженных дефектов в металлах.

Расстояния между противоположными поверхностями щелей Гриффитса составляют несколько постоянных решёток веществ кристаллитов в металле, что соответствует нашей модели взаимодействия электрических зарядов, включая рекомбинацию в донорно-акцепторных парах (ДАП) на границах инородных включений в матрице основного вещества. Учёт рекомбинации носителей заряда в ДАП поясняет изменение структуры металлов в низкочастотных (до 10 кГц) магнитных и электрических полях, используемое в практике, но не имеющее достаточно убедительного доказательства.

Обнаруженная [2] прямолинейная зависимость прочности металлов от температуры Дебая $\boldsymbol{T_D}$, подтверждает нашу формулу [3], включающую Боровский радиус атома в ДАП $\boldsymbol{a_B}$, относительную диэлектрическую проницаемостью $\boldsymbol{\varepsilon}$, и расстояние между электрическими зарядами в ДАП $\boldsymbol{R}$:

$$\boldsymbol{T_D = 2,85 \cdot 10^{-5} \frac{a_B}{\varepsilon R^2}}$$

Таким образом, предлагаемая модель прочностных свойств металлов более полно поясняет экспериментальные результаты.

1..Дроздов А.Ю. Моделирование динамики развития нанодефектов в металлах при ионной имплатации и деформации: автореф. дис. … канд. физ. – мат. наук: 01.04.01 / Дроздов Александр Юрьевич. - Ижевск: РАН Уральское Отделение физико-технический институт, 2007. 21 с.
2. Хентов В.Я. Связь прочностных характеристик металлов с температурой Дебая [Электронный ресурс] // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. №1 (20), часть 1. – С. 96-98. URL: http://www.research-joumal.org.
3. Богданов А.В. Донорно-акцепторная рекомбинация как обратная связь и нормирующий фактор электрофизических свойств полимолекулярных веществ. // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте 02020; труды XXVIII Международной конференции (г. Новороссийск, Краснодарский край, 7-12 сентября 2020 г.) под ред. проф. В.Е. Привалова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2020. – С. 157-159.

Исследование пороговой плотности энергии при лазерной абляции оптических кристаллов инфракрасного диапазона

В.Г. Шеманин, О.В. Мкртычев

(Филиал Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова в Новороссийске, 353919, Новороссийск, Россия, e-mail: oleg412@yandex.ru, vshemanin@mail.ru)

В данной работе приведены экспериментально полученные зависимости пороговой плотности энергии лазерного абляционного разрушения оптических кристаллов различного химического состава, которые позволяют оценить лучевую прочность и надёжность работы таких кристаллов как основы для создания оптоволокна среднего ИК диапазона.
Ключевые слова: лазерная абляция, оптическая прочность, оптоволокно, средний инфракрасный диапазон
It has been reported the experimentally obtained dependences of the threshold energy density of laser ablation damage of optical crystals of various chemical compositions, which make it possible to evaluate the radiation strength and reliability of such crystals as the basis for creating an optical fiber of the mid-IR spectrum in this paper.
Key words: laser ablation, optical strength, optical fiber, mid-infrared range

В современных технологиях явления, основанные на лазерном абляционном разрушении материалов, применяются повсеместно. Теоретические и экспериментальные исследования этих явлений исследуются нами уже много лет [1–7]. В данной работе исследованы свойства

модифицированных поверхностей кристаллов с различным химическим составом, что позволяло изменять их оптические свойства в ИК-спектре. В дополнение к работам [4, 5] показана зависимость пороговой плотности энергии при исследовании лазерной абляции поверхности оптических кристаллов (типа $AgCl_xAgBr_y$ [8]) под действием импульсного лазерного излучения с длительностью 20 нс. Лабораторная установка для исследования лазерной абляции образцов была собрана на базе экспериментальной лазерной станции [3, 7].

Результатом данной работы являются экспериментально полученные зависимости пороговой плотности энергии при лазерной абляции оптических кристаллов образцов различного химического состава, которые позволяют оценить силу пучка таких кристаллов как основы для создания оптоволокна среднего ИК- спектра.

Авторы выражают благодарность Л.В. Жуковой, А.С. Корсакову и их сотрудникам из УрФУ за предоставленные образцы.

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. 265–270.
2 Мкртычев О.В., Привалов В.Е., Фотиади А.Э., Шеманин В.Г. Лазерная абляция нанокомпозитов. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2015. № 1. С. 128-135
3 Мкртычев О.В., Шеманин В.Г. Способ определения оптической прочности материалов при однократном облучении. Патент на изобретение RU 2694073 C1, 09.07.2019. Заявка № 2018110756 от 26.03.2018.
4 Шевцов Ю.В., Шеманин В.Г., Мкртычев О.В. Исследование импульсной лазерной абляции тонкоплёночных покрытий из оксида гафния. //В сб.: Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте. труды XXVII Международной Конференции. 2019. С. 89–90.
5 Mkrtychev O.V., Shemanin V.G., Shevtsov Y.V. Investigation of laser ablation destruction of polymer materials. // В сб.: Proc. SPIE. XIV International Conference on Pulsed Lasers and Laser Applications, AMPL 2019. 2019. С. 1132221.
6 Мкртычев О.В. Моделирование параметров разрушения твердого тела при лазерной абляции. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018666503, 18.12.2018. Заявка № 2018663452 от 18.11.2018.

7 Привалов В.Е., Шеманин В.Г., Мкртычев О.В. Метод оценки оптической прочности облучаемой поверхности при лазерной абляции. //Измерительная техника. 2018. № 7. С. 34–37.
8 Жукова Л.В., Корсаков А.С., Львов А.Е., Салимгареев Д.Д. Оптоволокно среднего ИК-спектра. Екатериинбург: Изд.УМЦ УПИ. 2016, 247 с.

Разработка численных методов изучения плотности электронных состояний кристаллов YAG

Л.К. Ермаков

(Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, Санкт-Петербург, ermakov-lk@mail.ru)

В работе разработан метод разложения функции Грина в непрерывную дробь, в ходе которого получена плотность электронных состояний в YAG. Чтобы избежать переполнения использовано масштабирование матрицы полуэмпирического гамильтониана.
Ключевые слова: функция Грина, непрерывная дробь, масштабирование полуэмпирического гамильтониана, локальная плотность электронных состояний.
The paper developed a method for decomposition the Green function into a continued fraction, during which the density of electronic states in YAG was obtained.To avoid overflow, scaling of the matrix of the half-empirical Hamiltonian was used.
Keywords: Green function, continued fraction, scaling of half-empirical Hamiltonian, local density of electronic states.

Большая величина запрещенной зоны в кристаллах иттрий алюминиевых гранатов (YAG) привлекают к ним внимание для целей создания оптоэлектронных приборов различного назначения: светодиоды, лазеры, датчики высокоэнергетичных квантов излучения [1]. При такой большой величине ширины запрещенной зоны YAG (около 6 эВ), можно получать разнообразные системы локальных электронных уровней, вводя в решетку примесные атомы разных сортов. Поэтому стали необходимы теоретические расчеты электронной структуры кристаллов YAG. В этих соединениях атомы часто присутствуют с индексом «x» либо «1-x» в формуле кристалла. Поэтому использование трансляционной симметрии невозможно. В связи с чем надо работать в несимметризованном базисе ЛКАО. Расчет локальной плотности состояний (ЛПС) велся с использованием метода разложения функции Грина в

непрерывную дробь (НД) [2]. Гамильтониан строился в полуэмпирическом варианте. Из работы [4] брались потенциалы ионизации атомов, параметры волновых функции брались из работы [3], интегралы перекрывания приведены в работе [5]. Ввиду того, что отсутствует дальний порядок, получение ЛПС системы YAG + примеси через зону Бриллюэна невозможно. Метод НД имеет свои трудности: в рекурсивной процедуре построения нового тридиагонального базиса присутствует гамильтониан многократно умноженный сам на себя. В результате этого числа быстро набирают большие порядки и выходят за разрешенные машиной значения. Дело в том, что в базисе ЛКАО, в полуэмпирическом варианте, диагональные элементы гамильтониана это потенциалы ионизации атомов, которые имеют значения единицы и десятки эВ. Поэтому необходимо применять масштабирование матрицы [6]. В данной работе это осуществляется с помощью деления диагональных элементов на наибольший потенциал ионизации, который выделяется автоматически по ключу разрешения, вводимого программистом в наборе исходных данных. Для получения истинных собственных значений гамильтониана надо умножить на этот же потенциал, полученные собственные значения и ЛПС.Напоминаем, что ЛПС есть мнимая часть функции Грина со знаком минус, деленная на число «π». Волновые функции масштабирования не требуют. Вышеуказанные операции выполняются автоматически в ходе работы программы. Программа имеет размер около 1500 операторов языка FORTRAN-77, разбитых на девять-десять подпрограмм в зависимости от деталей расчета. Интересно то, что для определения зависимости ЛПС от энергии достаточно идти по «нормальным» (немасштабированным) значениям энергии с «нормальным» шагом. При этом каждое масштабированное значение энергии вводится в алгоритм вычисления мнимой части функции Грина от масштабированного гамильтониана. Для данной энергии величина ЛПС все равно записывается в массив под определенным номером, который однозначно соответствует значению энергии в обоих вариантах. Поэтому не возникает трудностей при построении графика

зависимости ЛПС от энергии в обычном виде. Обычно реально нужна ЛПС «нормированная» на максимальное значение ЛПС, то есть чтобы максимум суммарной ЛПС был равен единице. Это упрощает работу. Результаты работы [7] близки к полученным здесь.

1. Polovchenko S.V., Chartii P.V., Shemann V.G., Privalov V.E. //J. Optical Technology. 2016. T.83. № 5. P. 43-49.
2. Solid State Physics. 1980. V.35. «Acad. Press». N.Y.
3. Clementi E., Raimondi D.L. // J. Chem. Phys. 1963. V.38. P. 2686-2689.
4. Левин А.А. Введение в квантовую химию твердого тела. М. : ХИМИЯ.1974.
5. Бацанов С.С., Звягина Р.А. Интегралы перекрывания. Новосибирск.: НАУКА. 1966.
6. Дж. Голуб, Ч. Ван Лоун. Матричные вычисления. М.: МИР. 1999.
7. A.B. Munoz-Garcia, L. Sejo. // Phys. Rev. 2010. B 82. P. 184118.

Лазерный синтез нанопорошков тугоплавких оксидов

В.В. Осипов, В.В. Платонов, В.В. Лисенков, Е.В. Тихонов

(Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, platonov@iep.uran.ru)

Рассмотрены особенности метода получения нанопорошков тугоплавких оксидов с помощью мощного импульсно-периодического CO_2 лазера или непрерывного волоконного иттербиевого лазера, а также характеристики получаемых наночастиц (форма, размеры, кристаллическая фаза). Метод заключается в испарении лазерным излучением мишени из спеченного микропорошка необходимого состава и в последующем образовании наночастиц при конденсации паров в потоке буферного газа. Исследуется зависимость среднего размерананочастиц и производительности их получения от давления и сорта буферного газа. Рассмотрены особенности получения нанопорошков волоконным лазером, связанные с прозрачностью материала мишени и разбрызгиванием капель расплава. Нанопорошки применяются для изготовления керамических электролитов типа YSZ и высокопрозрачных лазерных керамик. Возможно использование нанопорошков и в других целях.

Ключевые слова: лазерная абляция, нанопорошок, CO_2 лазер, волоконный иттербиевый лазер.

The features of the method for producing refractory oxide nanopowdersusing a high-power repetitively-pulsed CO_2 laser or CW fiber ytterbium laser, as well as the characteristics of the resulting nanoparticles (shape, size, crystalline phase) are considered. The method consists in the evaporation of a target sintered from a micropowder of the required composition by laser radiation and the subsequentformation of nanoparticles during vapor condensation in a buffer gas flow. The dependence of the average size of nanoparticles and the productivity of their obtaining on the pressure and type of buffer gas are investigated. The features of the production of nanopowders by a fiber laser, associated with the high transparency of the target material and the splashing of melt droplets, are considered. Nanopowders are used to make YSZ-type ceramic electrolytes and highly transparent laser ceramics. It is possible to use

nanopowders for other purposes.
Keywords: laser ablation, nanopowder, CO_2 laser, ytterbium fiber laser.

Лазерный способ получения нанопорошков оксидов заключается в испарении мишени из спеченного микропорошка оксида (или их смеси) с помощью лазера и в образовании наночастиц при конденсации пара в потоке газа, т.е. это газофазный метод. Достоинствами этого способа являются: слабая агломерация наночастиц, их правильная форма (сферической или с огранкой), не нужно удалять продукты химических реакций. При использовании мощного лазера можно получать нанопорошки в количествах до нескольких килограмм.

В работе изложены результаты исследований получения нанопорошков тугоплавких оксидов с помощью импульсно-периодического CO_2 лазера со средней мощностью излучения ≈500 Вт (λ=10.6 мкм), а также непрерывного волоконного иттербиевого лазера с мощностью излучения до 700 Вт (λ=1.07 мкм). В частности, было выяснено, что при испарении мишени с помощью CO_2 лазера увеличение давления и молекулярного веса буферного газа (p=100÷300 кПа, гелий, воздух, Ar) приводят к росту размеров наночастиц и к снижению производительности их получения. В воздухе атмосферного давления средний размер наночастиц из разных оксидов (Nd:Y_2O_3, YSZ, Al_2O_3, WO_3) равен 11÷20 нм, а производительность в зависимости от теплофизических свойств материала составляет от 15-23 г/час (YSZ) до 350 г/час (WO_3). Массовый выход нанопорошка обычно равен ≈30 вес.% от веса исходной мишени.

Рассматриваются особенности испарения мишеней из оксидов и фторидов волоконным лазером: высокая прозрачность многих из этих материалов (Y_2O_3, YSZ, Al_2O_3, TiO_2, CaF_2 и т.п.) на λ=1.07 мкм, рассеивание лазерного излучения в исходной пористой мишени, а также разбрызгивание капель расплава. Показано, что в такой мишени излучение рассеивается и концентрируется в некоторых её местах. Это облегчает оптическое разрушение прозрачного материала и позволяет достаточно эффективно получать нанопорошки из

оксидов с коэффициентом преломления n≥1.7÷1.75. Найден оптимальный режим получения нанопорошка $Nd:Y_2O_3$, при котором удалось снизить разбрызгивание капель и увеличить массовый выход нанопорошка до ≈30 вес.%. Однако из-за двукратного снижения средней мощности излучения лазера при работе в этом режиме производительность получения нанопорошка оказалась только 15 г/час, что меньше, чем в случае использования CO_2 лазера.

Работа выполнена в рамках Гос. Задания №АААА-А19-119020790031-5, а также при частичной поддержке проекта РФФИ №20-08-00054А.

Исследование свойств фотонно-кристаллических световодов на основе кристаллов системы AgBr–AgI для лазерных технологий

А. А. Южакова, Д. Д. Салимгареев, И. В. Южаков, А. С. Корсаков, Л. В. Жукова

(Уральский Федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

В данной работе были спроектированы и исследованы инфракрасные фотонно-кристаллические световоды на основе кристаллов галогенидов серебра системы AgBr - AgI. Разработка световодов включала в себя построение зонной структуры, поиск фундаментальных мод с увеличенным диаметром поля, определение составов и геометрических параметров фотонной структуры волокна. В результате были получены одномодовые световоды с увеличенным диаметром поля моды и высокими селективными свойствами, рассчитаны параметры передачи излучения. Проведены экспериментальные исследования свойств при передаче лазерного излучения с длиной волны 10,6 мкм.

Ключевые слова: фотонно-кристаллический световод, инфракрасный световод, увеличенное поле моды, галогениды серебра

In this work, infrared photonic-crystal fibers based on the AgBr - AgI system crystals were designed and investigated. The development of optical fibers included the construction of a band structure, the search for fundamental modes with an increased field diameter, and determination of the compositions and geometric photonic crystal fiber' parameters. As aresults single-mode fiber with an increased mode field diameter and high wavelength selective were obtained, and the transmission parameters were calculated. Experimental studiesof properties have been carried out in the transmission of laser with a wavelength of 10.6 μm.

Keywords: photonic crystal fiber, infrared fiber, increased mode field, silver halides

Фотонно-кристаллические световоды (ФКС) для инфракрасного диапазона спектра перспективны для применения в лазерных технологиях за счет передачи энергии высокой мощности, высокого качества луча, малой числовой

апертуры и устойчивости к изгибу, селективности и увеличенному диаметру поля моды. Помимо прочего ФКС могут быть источниками суперконтинуума при вводе излучения импульсного лазера. На сегодняшний день известны ФКС на основе халькогенидных, теллуридных и кварцевых стекол, однако их диапазон работы даже при генерации суперконтинуума не превышает 15 мкм. В сравнении с ними ФКС на основе кристаллов галогенидов серебра и таллия (I) способны передавать ИК излучение в диапазоне от 2 до 25 мкм без окон поглощения, что делает их разработку важной задачей для оптики и фотоники.

На сегодняшний день известны ФКС на основе систем твердых растворов AgCl-AgBr, AgBr-TlI и AgBr-$TlBr_{0,46}I_{0,54}$. Также сотрудниками Уральского федерального университета была уточнена фазовая диаграмма системы AgBr–AgI, получены кристаллы и световоды на их основе [1]. В связи с этим представляет интерес разработка ФКС на основе кристаллов системы AgBr–AgI и исследование функциональных свойств новых и уже известных световодов с целью внедрения их в лазерные технологии.

Разработка и исследование свойств новых ФКС производились с помощью компьютерного моделирования [2]. Были исследованы зонные структуры для анализа селективных свойств, выполнен модовый анализ, изучена устойчивость мод к изгибу. По результатам моделирования были обнаружены одномодовые световоды с увеличенным диаметром поля моды и высокими селективными свойствами по длине волны, рассчитаны параметры передачи излучения и изготовлены ФКС. Экспериментальные исследования проводились при передаче излучения CO_2 лазера и подтвердили результаты моделирования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90021

1 Salimgareev D, Zhukova L., Yuzhakova A., L’vov A., Korsakov A. Synthesis of the AgBr – AgI system optical crystals. // Opt. Mat. 2021. V. 114. P. 110903

2 COMSOL Multiphysics® v. 5.6, www.comsol.com. COMSOL AB, Stockholm, Sweden

Инфракрасные световоды на основе кристаллов системы AgBr–AgI для лазерных технологий

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

(Уральский Федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

Разработаны инфракрасные поликристаллические световоды на основе кристаллов системы AgBr-AgI. При разработке конструкции световодов использовалось компьютерное моделирование по методу конечных элементов для определения химических составов элементов структуры волокон. Изготовлены световоды с составом сердцевины 5, 10, 15 мас.% AgI в AgBr. Проведено измерение спектров пропускания световодов и их оптических свойств. Световоды пропускают ИК излучение в диапазоне от 3 до 25 мкм с прозрачностью до 70 %, что делает их перспективными каналами доставки оптического сигнала в лазерных технологиях.

Ключевые слова: инфракрасные световоды, галогениды серебра, волоконный вывод для лазера

Infrared polycrystalline fibers based on the AgBr-AgI systemcrystals have been developed. When developing the design of the optical fibers, computer simulation was used by the finite element method to determine the chemical compositions of the fiber structure' elements. Optical fibers with a core composition of 5, 10, and 15 wt% AgI in AgBr have been fabricated. The fiber's transmission spectra and their optical properties have been measured. Fibers transmit IR radiation in the range from 3 to 25 μm with a transparency of up to 70%, which makes them promising channels for delivering an optical signal in laser technologies.

Keywords: infrared fibers, silver halides, fiber laser output

Инфракрасные (ИК) волоконные материалы с широким диапазоном пропускания интересны для различных областей оптики и фотоники, включая лазерные технологии, поскольку открывают новые направления применения за счет наличия длинных и гибких каналов доставки оптического сигнала. Особый интерес представляют поликристаллические волокна на основе галогенидов серебра и таллия (I), поскольку они обеспечивают широкий диапазон пропускания от 2 до 25 мкм, в зависимости от системы и состава, без окон поглощения, являются фото- и радиационностойкими, с оптическими потерями в материале волокна до 0,1 дБ/м [1].

В Уральском федеральном университете сотрудниками научной лаборатории «Волоконных технологий и фотоники» была уточнена фазовая диаграмма системы AgBr–AgI. По результатам данной работы была получена область гомогенности в диапазоне от 1 до 40мас.% AgBr в AgI [2]. Данный диапазон составов пригоден для изготовления волоконных световодов, в связи

с чем посредством компьютерного моделирования и экспериментов были подобраны режимы экструзии и получены новые волокна с составом сердцевины 5, 10, 15 мас.% AgBr в AgI диаметром от 300 до 525 мкм, длиной от 0.5 до 2.0 м.

Световоды были помещены в защитную оболочку, торцы волокон срезаны торцовочной машинкой и подготовлены к измерению. Спектры пропускания измерялись на ИК Фурье спектрометре IRPrestige-21 (Shimadzu) с делителем луча на основе CsI, детектором – DLaTGS, в диапазоне длин волн от 1.28 до 40.0 мкм, с разрешением 4 $см^{-1}$. По результатам измерений диапазоны пропускания составили от 3 до 23 мкм для световода с сердцевиной на основе 5 мас.%AgBr в AgI и от 4 до 25 мкм для световода на основе 15 мас.% AgBr в AgI. Оптические потери были измерены по методу отрезков и составили 0,45 дБ/м.

Таким образом разработанные световоды обладают широким диапазоном пропускания, что делает их перспективными для изготовления волоконных выводов для инфракрасных лазеров, в том числе перестраиваемых.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90021

1 Zhukova L. V., L'vov A. E., Korsakov A. S., Salimgareev D. D., Korsakov V. S. Domestic developments of IR optical materials based on solid solutions of silver halogenides and monovalent thallium. // Opt. and Spectr. 2018. V. 125.P. 933-943
2 Salimgareev D, Zhukova L., Yuzhakova A., L'vov A., Korsakov A. Synthesis of the AgBr – AgI system optical crystals. // Opt. Mat. 2021. V. 114. P. 110903

Моделирование волоконного зонда на основе кристаллов системы AgBr–AgI для лазерной медицины

П. В. Пестерева, Ю. В. Волегова, А. А. Южакова, Д. Д. Салимгареев, Н. Н. Акифьева, Л. В. Жукова

(Уральский Федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

Посредством компьютерного моделирования был спроектирован зонд, состоящий из

волокон на основе кристаллов системы AgBr – AgI для работы в субтерагерцовом диапазоне с применением в качестве источника излучения терагерцовых лазеров. Моделирование осуществлялось с помощью метода конечных элементов и позволило выбрать геометрические параметры зонда, составы сердцевины и оболочки волокон зонда и чувствительного элемента. По результатам моделирования оценена работоспособность зонда, оптимальное время и площадь воздействия на поврежденный участок кожи, а также диапазон частот работы зонда.
Ключевые слова: терагерцовый диапазон, волоконный зонд, галогениды серебра
A probe was designed consisting of fibers based on the AgBr - AgI system crystals for operation in the subterahertz range using terahertz lasers as a radiation source by means of computer simulation. The simulation was carried out using the finite element method and made it possible to select the optical and geometric probe' parameters, the compositions of the core and clad of the probe fibers and the sensitive element. Based on the simulation results, the probe operability, the optimal time and area ofexposure to the damaged area ofthe skin, as well as the frequency range were evaluated.
Keywords:terahertz range, fiber probe, silver halides

В настоящее время терагерцовый диапазон излучения является одним из наиболее перспективных направлений развития науки и техники, так как оказывает неионизирующее воздействие на ткани и обладает высокой проникающей способностью. На данный момент известны источники терагерцового излучения, в том числе лазерные: терагерцовые лазеры на основе современных цепей умножительных диодов Шоттки или квантово-каскадных переходов с диапазоном генерации от 0,075 до 5ТГц. Данные лазеры востребованы для медицинских применений, в частности для диагностики и лечения раковых опухолей (злокачественных эпителиом кожи).

Для доставки излучения от терагерцового лазера к месту воздействия требуются оптические каналы, в качестве которых могут быть использованы галогенидные кристаллы и световоды на их основе. В зависимости от кристаллической системы и состава, показатель преломления варьируется от 1.9 до 2.5, а спектральный диапазон пропускания составляет 0.4 – 6000.0 мкм (0.05 –666 ТГц). Одним из наиболее совершенных материалов для применения в медицине являются кристаллы системы AgBr–AgI, поскольку они фото- и радиационностойки, нетоксичны и негигроскопичны [1]. В связи с этим целью данной работы являлось проектирование зонда для диагностики и лечения раковых заболеваний путем передачи субтерагерцового излучения к поврежденному участку кожи.

Для проектирования зонда использовалось программное обеспечение COMSOL Multiphysics 5.6 [2], которое позволяет подобрать геометрические и оптические параметры зонда, оптимизировать его функциональные характеристики: эффективную частоту и время воздействия, площадь облучаемого участка и пр. Входные параметры моделирования: частота излучения и температура кожи. Частота излучения принималась 75 ГГц-150 ГГц, температура кожи 34 - 37°С.

По результатам моделирования были определены конструкция зонда: двухслойный световод с сердцевиной на основе кристалла $AgBr_{0.87}I_{0.13}$ и оболочкой – $AgBr_{0.97}I_{0.03}$, чувствительный элемент из сапфира. Оптимальное время воздействия составило до 2 минут в диапазоне частот 100 – 150 ГГц.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEUZ-2020-0058 (Н687.42Б.223/20).

1 Salimgareev D, Zhukova L., YuzhakovaA., L'vov A., Korsakov A. Synthesis of the AgBr – AgI system optical crystals // Opt. Mat. 2021. V. 114. P. 110903
2 COMSOL Multiphysics® v. 5.6, www.comsol.com. COMSOL AB, Stockholm, Sweden

Введение оксидов редкоземельных элементов в матрицу галогенидов серебра

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

(Уральский Федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

Работа посвящена гидрохимическому легированию галогенидов серебра оксидами редкоземельных элементов и изучению их свойств полученных материалов.
Ключевые слова: оксиды редкоземельных элементов, оптические материалы, лазерные материалы, галогениды серебра
The work is devoted to the hydrochemical alloying of silver halides with oxides of rare earth elements and the study of their properties of the materials obtained.
Keywords: rare earth oxides, optical materials, laser materials, silver halides

Создание мощныхи компактных источников когерентного излучения в

диапазоне 5–1000 мкм является актуальной задачей. Активные среды лазеров прозрачны на длине волны излучения и имеют включения в виде ионов примесей, люминесцирующие при накачке. Известные активные вещества прозрачны только в видимой и ближней ИК областях спектра. Например, лазеры с редкоземельными элементами (РЗЭ) в стеклах, алюмоиттриевом гранате, оксиде иттрия. Естественные вещества люминесцирующие в указанной области оптического спектра, практически отсутствуют. Данную проблему можно решить как созданием новых материалов, так и путем внедрения активных центров излучения не в виде ионов, а в виде частиц в оптически прозрачные уже имеющиеся материалы. Сами по себе многие материалы, кроме германия, не обладают люминесцентными свойствами, но оптически прозрачны в средней и дальней ИК областях. Галогениды серебра обладают прозрачностью в диапазоне длин волн 0.46–30 (до 60 мкм в зависимости от состава) и 260-5500 мкм. Также, в отличие от германия и кремния, галогениды серебра прозрачны и в видимой области спектра, что может облегчать настройку оптической системы.

Для равномерного введения оксидов РЗЭ элементов в матрицу галогенидов серебра использовался метод ТЗКС с модифицированным составом маточного раствора, для того чтобы не допустить переход оксидов в галогениды РЗЭ. В качестве легирующей добавки использовался порошок диоксида церия (CeO), размер частиц ~ 2–4 мкм. Материал матрицы – твердый раствор системы AgBr – AgI состава 5 мас. % AgI в AgBr. Доля диоксида церия в материале матрицы составляла 10 мас. %. Перекристаллизацию веществ проводили однократно. Из легированной шихты методом Бриджмена был выращен кристалл, из которого в дальнейшем была изготовлена методом горячего прессования поликристаллическая пластина толщиной ~400 мкм. Исследование спектрального диапазона пропускания пласин осуществлялось с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-1800 в диапазоне от 190 до 1100 нм и ИК-Фурье спектрометра Shimadzu IR-Prestige-21 в диапазоне 1.28 – 28.6 мкм. Условия записи спектров: делитель пучка – KBr, детектор- DLaTGS, диапазон длин волн 7800-350 $см^{-1}$,

разрешение – 4 $см^{-1}$. Также был проведен РФА на установке Rigaku MiniFlex 600 при следующем режиме: материал анода – медь, излучение CuK_{α} с длиной волны 1.541862 Å, диапазон съемки от 3° до 90°, шаг 0,02°, скорость сканирования 10 /мин. Для изучения полученной керамики с помощью настольный СЭМ Phenom с EDX модулем получены изображений высокого разрешения.

Данных РФА хорошо позывает наличие двух фаз на основе твердого раствора AgBr – AgI и диоксида церия, при этом параметры решетки обоих фаз отклоняются от референсных значений, что может говорить об образовании оксигалогенидных комплексов. Средний размер зерен диоксида церия на микрофотогрфиях поверхности находится в диапазоне 0.5–2 мкм. На ИК спектрах присутствуют характерные для диоксида церия пики поглощения на 3400, 1630, 1518, 1350 $см^{-1}$, однако отсутствуют пики на 1053 и 848 $см^{-1}$. Общий уровень пропускания остался на прежнем уровне.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, https://rscf.ru/project/21-73-10108/

Оптические монокристаллы и нанокристаллическая керамика на основе системы AgBr – AgI – TlI

А.Е. Львов, Д.А. Белоусов, Д. Д.Салимгареев, Л. В. Жукова,

А. А. Южакова, Д. В. Шатунова

(Уральский Федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

Данная работа направлена на создание новых монокристаллов и нанокристаллической керамики на основе системы AgBr – AgI – TlI, соединяющих различные кристаллические фазы, прозрачной от 65 до 75 % и имеющей диапазон спектрального пропускания от 0,5 до 47,0–67,0 мкм, в зависимости от системы и состава, а также в терагерцовой и миллиметровой областях спектра, с высокими функциональными характеристиками. Предлагаемые монокристаллы и керамика способна отвечать всем требованиям к оптическим материалам, необходимым для развития фотоники, лазерной физики и волоконной оптики, поскольку обладает всем спектром функциональных свойств.

Ключевыеслова: оптические материалы, монокристаллы, керамика, галогениды серебра, галогениды таллия

This work is aimed at creating new single crystals and nanocrystalline ceramics based on the

AgBr – AgI – TlI system, connecting various crystalline phases, transparent from 65 to 75% and having a spectral transmission range from 0.5 to 47.0–67.0 μm, in depending on the system and composition, as well as in the terahertz and millimeter regions of the spectrum, with high functional characteristics. The offered single crystals and ceramics are capable of meeting all the requirements for optical materials necessary for the development of photonics, laser physics and fiber optics, since it has the entire spectrum of functional properties.
Keywords: optical materials, single crystals, ceramics, silverhalides, thalliumhalides

На сегодняшний день активно развиваются материалы для создания оптических элементов для лазерных источников и преобразователей в среднем, дальнем и сверхдальнем ИК диапазонах, а также в ТГц диапазоне частот. Данные материалы и изделия на их основе представляют большой интерес для научных и технологических применений. В настоящее время одним из перспективных материалов, способных решить представленные проблемы, являются монокристаллы и нанокристаллическая керамика на основе двух и более твердых растворов галогенидов серебра и одновалентного таллия. Это обусловлено спектральным пропусканием, которое в зависимости от состава охватывает широкий спектральный диапазон от 0.5 до 47.0–65.0 мкм без окон поглощения. Кроме того, эти материалы прозрачны в терагерцовом и миллиметровом диапазонах [1]. Данные материалы обладают низким коэффициентом поглощения от 10^{-5} до 10^{-3} $см^{-1}$ (для кристаллов и керамики) и оптическими потерями 0.1–0.5 дБ/м (для световодов). Керамика на основе двух и более твердых растворов галогенидов серебра и одновалентного таллия может соединять различные кристаллические фазы регулируемого состава, обладающих различными физико-химическими свойствами. Использование сложного состава таких композитных сред позволяет получить в одном материале несколько функциональных свойств. В рамках работы были исследованы фазовые переходыв трехкомпонентной системе AgBr – AgI – TlI. Были подтверждены области составов, в которых возможно получение, как монокристаллов со структурой (Fm3m или Pm3m), так и нанокристаллической керамикина основе двух и более твердых растворов (Fm3m или Pm3m, R-3, P63mc). Монокристаллы со структурой Fm3m возможно получать в диапазоне составов 0–32 мас. % (TlI,AgI) в AgBr. Монокристаллы со структурой Pm3m возможно получать в диапазоне составов 0–20 мас. % AgBr и 0–10 мас. %

AgI в TlI. Керамику на основе двух и более твердых растворов со структурными типами Fm3m, R-3 и $P6_3mc$ возможно получать в диапазоне составов 0–40 мас. % (TlI, AgI) в AgBr. Керамику на основе двух и более твердых растворов со структурными типами Pm3m, R-3 и $P6_3mc$ возможно получать в диапазоне составов 0–32 мас. % (TlI, AgI) в AgBr.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, https://rscf.ru/project/21-73-10108/

1 Zhukova L. et al. The optical transparency investigation of crystals based on the AgHal – TlHal solid solutions systems in the terahertz range. // Opt. Mat. 2021. V. 113. P.110870.

Научно-прикладной модифицированный метод термозонной кристаллизации синтеза высокочистых твердых растворов различного состава

В. М. Кондрашин, 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 представлен усовершенствованный метод термозонной кристаллизации-синтеза, применяемый для очистки и синтеза сырья – шихты для производства керамики и кристаллов на основе галогенидов серебра. При модификации метода использовались научно-прикладные подходы, связанные как с изменениями в составе химических реактивов при проведении синтеза-очистки, так и с усовершенствованием реактора. Были достигнуты высокие результаты в очистке шихты: содержание примесей составило 0,0001 мас. % и менее, выполнен синтез оптических материалов на основе твердых растворов галогенидов серебра различных систем, таких как оптическая керамика. Описаны перспективы применения данных материалов в различных областях науки и техники, таких как лазерные технологии.

***Ключевые слова*:** инфракрасная керамика, оптическая керамика, галогениды серебра

In this work, the method of thermal-zone crystallization-synthesis is improved, which is used for theraw material purification and synthesis used to produce ceramics based on silver halides. When modifying the method, applied-scientific approaches were used, associated both with changes in the composition of chemical reagents during synthesis and purification, and with thereactor improvement. High results were achieved in cleaning the raw materials: theimpurities content was 0.0001 wt. % and less.The optical materials based on silver halides solid solutions has been performed. The prospects for the application in laser technology, are described.

Keywords: infrared ceramics, optical ceramics, silver halides

Керамика на основе твердых растворов систем $TlBr_{0.46}I_{0.54}$ – AgI, $TlCl_{0.7}Br_{0.3}$

– AgI; AgCl – $Ag_{0,85}Tl_{0,15}Br_{0,92}I_{0,08}$; AgCl – $Ag_{0,85}Tl_{0,15}Br_{0,85}I_{0,15}$ обладает широким спектром функциональных свойств: прозрачностью в широком спектральном диапазоне, малыми оптическими потерями и высокой фотостойкостью, пластичностью и гибкостью, технологичностью изготовления. Это делает керамику уникальным материалом, востребованными для лазерной физики, инфракрасной и терагерцовой оптики, а также фотоники и оптоэлектроники [1].

Проблемы выращивания новых монокристаллов на основе галогенидов серебра и таллия (I) решаются, во-первых, путем подбора составов, соответствующих гомо- и гетерогенным областям существования твёрдых растворов. Во-вторых, за счет технологических подходов синтеза высокочистого сырья заданного состава и последующего получения монокристаллов и керамики. При этом режимы синтеза подбираются индивидуально для каждого химического состава, что, в свою очередь, определяется также конструкцией установок.

В основе базового метода термозонной кристаллизации-синтеза (ТЗКС) лежат процессы растворения исходных веществ в водных растворах галогенводородных кислот с последующей кристаллизацией твердых растворов галогенидов металлов заданного состава высокой степени чистоты (99,9999 мас. % и более). Существующие технологические режимы протекания ТЗКС происходят при концентрации кислот около 5-6 H Hal, причем концентрация может быть уменьшена с сохранением скорости протекания ТЗКС.

Проведен базовый анализ метода ТЗКС с точки зрения химической кинетики, на основе чего сделаны выводы об условиях лимитирующих стадий растворения/кристаллизации и транспортировки веществ, предложена модернизация метода, позволяющая уменьшить концентрации галогенводородных кислот в 5–6 раз в маточном растворе, что естественно приводит к общему сокращению затрат на кислоты и повышению экологичности метода, без изменения скорости протекания процесса ТЗКС.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда

№ 21-73-10108, https://rscf.ru/project/21-73-10108/

1 Zhukova L., Salimgareev D., Lvov A. et al. Highly transparent ceramics for the spectral range from 1.0 to 60.0 mu m based on solid solutions of the system AgBr-AgI-TlI-TlBr // Chin. Opt. Let. 2021. V. 19. N 2. P. 021602.

Инфракрасный волоконно-оптический датчик контроля температуры ветрогенератора на основе нанокристаллических световодов системы AgBr – $TlBr_{0,46}I_{0,54}$

Д. Д. Салимгареев, Л. В. Жукова

(Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

Разработан новый инфракрасный волоконно-оптический датчик для контроля температуры узлов ветрогенератора, с применением в качестве канала доставки оптического сигнала волоконной сборки из кристаллов системы AgBr – $TlBr_{0,46}I_{0,54}$. Применение волоконной сборки позволило создать датчик температуры, устойчивый к вибрациям и электромагнитным помехам, обладающий высокими оптическими и прочностными характеристиками, измеряющие температуру удаленных и труднодоступных объектов прямым бесконтактным методом.

Ключевые слова: инфракрасные волокна, волоконные сборки, волоконно-оптический датчик, галогениды серебра и таллия, оптика

A new infrared fiber-optic sensor has been developed to control the temperature of wind turbine units, using a fiber assembly made of AgBr - $TlBr_{0.46}I_{0.54}$ crystals as a delivery channel for an optical signal. The use of a fiber assembly made it possible to create a temperature sensor that is resistant to vibrations and electromagnetic interference, which has high optical and strength characteristics, and measures the temperature of remote and hard-to-reach objects using a direct non-contact method.

Keywords: infrared fibers, fiber assemblies, fiber optic sensor, silver and thallium halides, optics

Существующие на сегодняшний день устройства контроля температуры либо обладают низкой точностью в условиях высоких электромагнитных помех, либо измеряют температуру косвенными методами, которые требуют дополнительных сложных аппаратных комплексов и систем математической обработки. Низкая точность измерения нарушает режим работы ветрогенератора, а также повышает риск его аварийности, а косвенное измерение приводит к снижению точности и надежности системы контроля температуры.

Для решения поставленной задачи были разработаны новые кристаллы системы AgBr – $TlBr_{0,46}I_{0,54}$, из которых методом двухстадийной экструзии изготовлена серия инфракрасных световодов состава 10 мол. % $TlBr_{0,46}I_{0,54}$ в AgBr, а также собраны волоконно-оптические сборки. Данные световоды пропускают в диапазоне от 2.5 ± 0.5 до 25.0 ± 1.0 мкм с прозрачностью 63 – 70 %, имеют оптические потери 0.4 – 0.5 дБ/м на длине волны 10.6 мкм, обладают фото- и радиационной устойчивостью. Применяя изготовленные волоконные сборки был создан датчик диагностики температуры ветрогенератора, который реализует метод прямого измерения, поскольку изготовленные ИК световоды прозрачны от 2.5 ± 0.5 до 25.0 ± 1.0 мкм, что соответствует температурному диапазону от –200 до +800 °C, а элементы ветрогенератора работают в температурном диапазоне от +300 до –20 °C, что соответствует спектральному диапазону от 5.1 до 11.5 мкм. Кроме того, для повышения точности датчика на входном торце волоконной сборки установлена цилиндрическая линза с фокусным расстоянием 30 мм, оптически связанная с источником ИК излучения, а на выходном торце размещена собирающая линза с тем же фокусным расстоянием, оптически связанная с приемником ИК излучения. Все оптические элементы датчика (инфракрасные световоды и оптические линзы) изготовлены из монокристаллов системы AgBr – $TlBr_{0,46}I_{0,54}$.Такая конструкция датчика позволяет выполнять измерения температуры бесконтактно, с помощью передачи ИК излучения от объекта к тепловизору с точностью определения ±0.1°C и ниже.

Исследование выполнено за счет стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики СП-600.2019.1

Исследование фазовой диаграммы системы AgI – $TlBr_{0,46}I_{0,54}$

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

М. С. Корсаков, Е. А. Корсакова

(Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

Проведено исследование диаграммы плавкости системы AgI – $TlBr_{0,46}I_{0,54}$ для синтеза нанокристаллической керамики. Данная система является изотермическим сечением политермического разреза AgBr – AgI – TlI – TlBr концентрационного тетраэдра четырехкомпонентной системы Ag – Tl – Br – I. Керамика системы AgI – $TlBr_{0,46}I_{0,54}$ является перспективным материалом для лазерной физики, инфракрасной и терагерцовой оптики, а также фотоники и оптоэлектроники.

Ключевые слова: нанокристаллическая керамика, диаграмма плавкости,галогениды серебра, галогениды таллия, оптика

The study of the melting diagram of the AgI – $TlBr_{0.46}I_{0.54}$ system for the synthesis of nanocrystalline ceramics has been carried out. This system is an isothermal cut of the polythermal section AgBr – AgI – TlI – TlBr of the concentration tetrahedron of the four-component Ag – Tl – Br – I system. Ceramics of the AgI – $TlBr_{0.46}I_{0.54}$ system is a promising material for laser physics, infrared and terahertz optics, as well as photonics. and optoelectronics.

Keywords: nanocrystalline ceramics, melting diagram, silver halides, thallium halides, optics

Для развития лазерной физики, волоконной оптики и фотоники в среднем (2 – 25 мкм) и дальнем (25 – 100 мкм) инфракрасных диапазонах, а также в терагерцевом частотном (0.1 – 10.0 ТГц) и миллиметровом диапазонах (до 3 мм), которые являются малоосвоенными вследствие недостатка элементной базы, необходимы высокопрозрачные, функциональные материалы, способные пропускать оптическое излучение в широком спектральном диапазоне без окон поглощения, при этом негигроскопичные и способные сохранять свои свойства на открытом воздухе и в более «жестких» условиях ионизирующих излучений [1]. Для решения поставленной задачи был исследован концентрационный тетраэдр четырехкомпонентной системы Ag – Tl – Br – I, в частности его политермический разрез AgBr – AgI – TlI – TlBr [1, 2]. Данному разрезу принадлежит исследованное изотермическое сечение AgI – $TlBr_{0,46}I_{0,54}$. Установлено существование одной области гомогенности. В концентрационном диапазоне от 0 до 15 мол. % AgI в $TlBr_{0,46}I_{0,54}$ возможно выращивать монокристаллы структурного типа Pm3m, а в диапазоне от 0 до 30 мол. % –

синтезировать оптическую нанокерамику с двумя кристаллическими фазами структурного типа Pm3m иR3. Полученные данные являются основой дляразработки технологии синтеза высокочистого сырья, получения керамики и изготовления на ее основе оптических изделий методом горячего прессования, а методом экструзии – инфракрасных световодов. Практическое использование разработанных материалов и оптических изделий на их основе, в том числе световодов, перспективно для лазерной физики, энергетики, волоконной оптики и фотоники, оптоэлектроники, а также различных применений в спектроскопии, оптическом приборостроении, оптических датчиках широкого спектра действия от волоконных термометров до эндоскопов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, https://rscf.ru/project/21-73-10108/

1 Жукова Л. В., Салимгареев Д. Д., Корсаков А. С., Львов А. Е. Перспективные терагерцовые материалы: кристаллы и керамика: учебник. Екатеринбург : Издательство УМЦ УПИ. 2020. 308 с.
2 Zhukova L., Salimgareev D., L'vov A., etal. Highly transparent ceramics for the spectral range from 1.0 to 60.0 mu m based on solid solutions of the system AgBr-AgI-TlI-TlBr // Chin. Opt. Let. 2021. V. 19. N 2. P. 021602.

Оптические свойства кристаллов системыAgBr –AgI

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

А. А. Щукина, П. В. Пестерева

(Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

Работа посвящена исследованию оптических свойств кристаллов системы AgBr–AgI в диапазоне составов от 0 до 36 мол. % AgI в AgBr. Все эти параметры имеют ключевое значение для моделирования и конструирования волоконно-оптических изделий в широком спектральном диапазоне.

Ключевые слова: нанокристаллическая керамика, диаграмма плавкости, галогениды серебра, оптика

The work is devoted to the study of the optical propertiesof the AgBr – AgI system crystals in the composition range from 0 to 36 mol. % AgI in AgBr. All of these parameters are of key importance for the modeling and design of fiber optic products over a wide spectral range.

Keywords: nanocrystalline ceramics, melting diagram, silver halides, optics

Одним из перспективных оптических материалов для применения в медицине являются кристаллы системы AgBr – AgI, поскольку они прозрачны от 0.45 до 50 мкм без окон поглощения с прозрачностью около 75% [1].

Для образцов составов 3, 13, 25, 36 мол. % AgI в AgBr, а также кристалла бромида серебра были исследованы основные оптические свойства, такие как показатель преломления на краю собственного поглощения кристалла, зависимость изменения показателя преломления от состава и длины волны (для длин волн от 3.0 до 14.0 мкм), мнимые части показателей преломления, характеризующие затухание излучения в материале, а также их фотостойкость.

Проведенные исследования показали, что в исследуемых составах системы AgBr–AgI (0, 3, 13, 25, 36 мол. % AgI в AgBr) в результате замещения в анионной подрешетке более легкого на более тяжёлый по молекулярной массе галоген (Cl^- на I^-, т. е. увеличение содержания AgI, в AgBr) наблюдается увеличение показателя преломления на всех длинах волн, смещение коротковолновой границы поглощения в область более высоких длины волн (от 0.46 до 0.52 мкм), и как следствие, уменьшение Eg_{opt} (от 2.68 до 2.41). При увеличении концентрации ионов I^- в твёрдом растворе системы AgBr–AgI, происходит нелинейное увеличение показателей преломления. В начале (до 3 мол. % I^-) наблюдается достаточно резкий рост значений показателя преломления на всех измеренных длинах волн (от 3 до 14 мкм), и уже далее скорость роста показателя преломления замедляется и выходит примерно на постоянный уровень. Например, для состава $AgBr_{0.87}AgI_{0.13}$ значение показателя преломления изменяется от 2.190 до 2.179 при увеличении длины волны от 3 до 14 мкм. Также проведено исследование фотостойкости всех кристаллов. У кристаллов системы AgBr – AgI в диапазоне составов от 0 до 13 mol. % AgI в AgBr существует локальный минимум оптических потерь, что говорит о повышенной фотостабильности твердых растворов в этом диапазоне составов. При этом увеличение оптических потерь с увеличением концентрации AgI в AgBr для коротких длин волн имеет логарифмический характер, а для более

длинноволновой области – линейный характер.

Полученные значения показателей преломления, а также проведенные исследования фотостабильности кристаллов системы AgBr – AgI являются основой для дальнейшего моделирования и изготовления инфракрасных световодов.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEUZ-2020-0058 (Н687.42Б.223/20).

1 Salimgareev D, Zhukova L., Yuzhakova A., L'vov A., Korsakov A. Synthesis of the AgBr – AgI system optical crystals // Opt. Mat. 2021. V. 114. P. 110903

Методы цифровой голографии применительно к визуализации и характеризации объемных дефектов $ZnGeP_2$

[1,2]Н.Н. Юдин, [2]В.В. Дёмин, [2]А.Н. Солдатов, [1,2] Н.А Юдин., [2] Х.А. Баалбаки, [2]И.Г. Половцев, [2]С.Н. Подзывалов, [1,2]М.М. Зиновьев, [2]Е.С. Слюнько, [2]Е.В. Журавлева, [2]А.А. Пфайф, [2]М.М. Кулеш

([1]Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск, [2]Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия, yudin@tic.tsu.ru)

Исследования подтверждают перспективность использования ИК-излучения лазера на парах стронция в методе цифровой голографии для визуализации объемных дефектов, и неоднородностей монокристаллов $ZnGeP_2$. Голографический метод позволяет с заданной точностью определять размеры дефектов и неоднородностей внутренней структуры кристаллов. Проведенный анализ и экспериментальные данные показали возможность идентификации объемных дефектов с размерами ≥ 15-20 мкм.
Ключевые слова: Лазер на парах стронция, $ZnGeP_2$, метод цифровой голографии
The studies confirm the prospects of using the IR radiation of a strontium vapor laser in the digital holography method for visualizing bulk defects and inhomogeneities of ZnGeP2 single crystals. The holographic method allows determining the sizes of defects and inhomogeneities of the internal structure of crystals with a given accuracy. The analysis and experimental data showed the possibility of identifying bulk defects with dimensions of ≥ 15-20 microns.
Keywords: Strontium vapor laser, $ZnGeP_2$, digital holography method

Способ визуализации, представленный в данной работе, представляет собой типичную осевую схему записи цифровых голограмм Габора при использовании компьютерной обработки полученных теневых изображений.

Плоскопараллельный пучок света от газоразрядной трубки стронциевого лазера проходит через оптический фильтр для выделения требуемой длины волны (1.06; 1.09 мкм) и исследуемый образец. В результате прохождения излучения через исследуемый образец формируется картина интерференции опорной волны (часть излучения, которая прошла через однородную часть образца, без рассеяния на дефектах) и предметной волны (часть излучения, рассеянная на дефектах и примесях). ПЗС матрица регистрирует эту интерференционную картину (голограмму) и передаёт её в память компьютера. Таким образом, цифровая голограмма представляет собой дискретный двумерный массив оцифрованных значений интенсивности картины интерференции опорной и предметной волн [1]. Этот массив принимается за распределение (с точностью до константы) поля в плоскости голограммы ($U(x_1,y_1)$). Это распределение используется в качестве исходного, а численный расчет [2] дифракционного интеграла (1) позволяет рассчитать распределение поля (а затем интенсивности) в плоскости на заданном расстоянии от плоскости голограммы $U(x_2,y_2)$ (то есть в соответствующем поперечном сечении исследуемого объема).

$$U(x_2,y_2)=\frac{1}{i\lambda z}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}U(x_1,y_1)e^{i\frac{2\pi}{\lambda}z}e^{\frac{i\pi}{z\lambda}((x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2)}dx_1dy_1, \qquad (1)$$

где λ – длина волны, z – расстояние между плоскостью голограммы и плоскостью восстановления.

Соответственно, слой за слоем можно формировать изображение исследуемого объема образца. При этом в каждом восстановленном изображении поперечного сечения монокристалла визуализируются дефекты (неоднородности) и появляется возможность определить их размеры, форму, ориентацию, расположение в монокристалле. Для получения цифровых голограмм в качестве регистрирующей камеры 5 использовалась CCD-камера с матрицей 1600×1200 пикселей, размером пикселя ~ 7.4×7.4 мкм. Длинноволновая граница спектральной чувствительности используемой CCD-камеры соответствует длине волны λ = 1.1 мкм, что определило используемый диапазон длин волн лазера на парах стронция.

Показано, что метод цифровой голографии при использовании излучения лазера на парах стронция позволяет идентифицировать такие объемные дефекты в монокристалле $ZnGeP_2$ как полосы роста и игольчатые включения фосфидов цинка. В результате обработки голографических данных определены периодичность образования полос роста и физические причины, приводящие к появлению полос роста с периодом 10-20 мкм; 25-90 мкм и ~ 200 мкм.

1 Schnars U. Digital Hologram Recording, Numerical Reconstruction, and Related Techniques. Berlin: Sprinder, 2005. 164 p.
2 Collier R., Burkhart C., Lin L. Optical Holography. N.-Y.: Acad. Press, 1971. 605p.

Разработка лазерной установки для определения показателя преломления в ИК диапазоне

В. М. Кондрашин, А. С. Корсаков, Д. Д. Салимгареев, А. Е. Львов,

А. Тураби, Д. В. Шатунова, Л. В. Жукова

(Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

На основе интерферометра Майкельсона разработана установка для измерения показателя преломления с помощью когерентного излучения. В качестве источника излучения были взяты лазеры на длине волны 632 нм и 10.6 мкм. В качестве приемника применялась камера Spiricon PyrocamIII. Установка была применена для измерения показателя преломления кристаллического кварца и кристаллов галогенидов серебра системы AgCl-AgBr. Полученные значения совпали со справочными для кристаллического кварца и показали высокую повторяемость и точность для кристаллов галогенидов серебра. Разработанный метод позволяет определять показатели преломления как оптических, так и акустооптических кристаллов, с высокой точностью в видимом и ИК диапазоне.

Ключевые слова: показатель преломления, когерентное излучение, интерферометр Майкельсона, галогениды серебра

On the basis of the Michelson interferometer, an installation has been developed for measuring the refractive index using coherent radiation. Lasers at the 632 nm and 10.6 μm wavelengths were taken as a radiation source. A Spiricon Pyrocam III camera was used as a receiver. The setup was used to measure the refractive index of crystalline quartz and crystals of the AgCl- AgBr system. The obtained values coincided with the reference values for crystalline quartz and showed high repeatability and accuracy for silver halide crystals. The developed method makes it possible to determine the refractive indices of both optical and acousto-optical crystals with high accuracy in the visible and IR ranges.

Keywords: refractive index, coherent radiation, Michelson’ interferometer, silver halides

Целью данной работы являлось моделирование лазерной установки на основе интерферометра Майкельсона для определения показателя преломления на длине волны 10.6 мкм на различных кристаллах галогенидов серебра. Для создания установки была рассмотрена принципиальная схема интерферометра Майкельсона и на ее основе собран новый интерферометр с когерентными источниками излучения, в качестве которых применялись следующие установки:

- Углекислотный лазер(CO_2–лазер), диапазон длин волн которого 9.4-10.6 мкм. Активная среда этого лазера – это смесь газов CO_2, гелия (He) и азота (N_2);
- Гелий-неоновый лазер, длина волны которого составляет 632 нм, что соответствует красной части видимого спектра.

В качестве приемника использовалась SSD камера Spiricon PyrocamIII.

Для апробации и калибровки установки было проведено исследование показателя преломления кристаллического кварца, по результатам которого полученное значение (n =3.419± 0.002)совпало со справочными данными. Таким образом, была подтверждена корректность работы установки и проведены измерения кристаллов галогенидов серебра состава $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$и $AgBr_{0,80}I_{0,20}$.

Изготовленная лазерная установка позволяет проводить исследование показателя преломления вертикально поляризованным излучением на длине волны 10.6 мкм в случае применения CO_2-лазера, а также на длине волны 0.632 мкм в случае He- Ne лазера. Данная установка наряду с ИК- Фурье спектрометром позволяет быстро и достоверно определить показатель преломления различных образцов оптических кристаллов с точностью до 0.001.

С помощью полученной установки впервые определены показатели преломления (при λ=10.6 мкм вертикально поляризованное излучение) поликристаллических пластин твердых растворов галогенидов серебра состава $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$и $AgBr_{0,80}I_{0,20}$, которые составили 2.10±0.04 и 2.30±0.07, соответственно. Полученные данные необходимы для создания световодов

различной структуры для медицинских и промышленных применений. Разработанный метод позволяет определять показатели преломления как оптических, так иакустооптических кристаллов, с высокой точностью в ИК диапазоне.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, https://rscf.ru/project/21-73-10108/

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

Программно–аппаратный комплекс эмуляции наклонов волнового фронта лазерного излучения

Л.В. Антошкин, А.Г. Борзилов, В.В. Лавринов,

Л.Н. Лавринова, А.А.Селин

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

Эмуляция наклонов волнового фронта лазерного излучения это совокупность программных и технических средств, предполагающих воспроизведение предварительно смоделированных наклонов волнового фронта и их устранение из изображения излучения в фокальной плоскости. Набор управляющих сигналов для корректора наклонов формируется, как с помощью численной модели дрожания изображения оптического излучения в фокальной плоскости, так и в качестве результатов трассовых измерений. Предусмотрена возможность работы комплекса в реальном времени на атмосферной трассе.

Ключевые слова: угол наклона волнового фронта оптического излучения, изображение оптического излучения в фокальной плоскости

Emulation of the tilt of the wave front of optical radiation is a set of software and hardware that involves the reproduction of pre-modeled tilt of the wave front and their elimination from the radiation image in the focal plane. The set of control signals for the tilts corrector is formed both using a numerical model of the optical radiation image jitter in the focal plane, and as the results of trace measurements. It is possible to operate the complex in real time on an atmospheric route.

***Keywords*:** angle of the tilts wave front of optical radiation, image of optical radiation in the plane of the receiving device

Под воздействием атмосферной турбулентности и в результате собственных вибраций системы адаптивной оптики изображение излучения в фокальной плоскости флуктуируют во времени относительно оси распространения излучения, приводя к изменению углов наклона волнового фронта.

В случае необходимости точного позиционирования фокального пятна, например, с целью наведения на щель спектрофотометра, устранение угловых ошибок становится важным моментом при астрономических наблюдениях. Стабилизацию изображения на фотоприёмной матрице оптической системы выполняет корректор наклонов, который является одним из ключевых элементов программно–аппаратного комплекса эмуляции наклонов волнового

фронта [1, 2].

Частью комплекса является моделирование дрожания лазерного излучения на входной апертуре адаптивной системы, которое в программе задается варьированием отклонения распределения амплитуды светового поля в поперечном сечении оптического излучения от нормального распределения, или варьированием углов наклона в фазовом распределении светового поля [3, 4]. При этом рассчитывается спектр общих углов наклона волнового фронта для полученной модели дрожания изображения под воздействием турбулентной атмосферы и в результате дрожания оси оптического излучения. Выходные данные программы представляют набор управляющих сигналов для двухкоординатного дефлектора, предназначенного для коррекции общих углов наклона волнового фронта излучения.

Программно–аппаратный комплекс эмуляции наклонов позволяет моделировать общие наклоны волнового фронта с задаваемыми параметрами, с возможностью воспроизведения и повторения любого временного фрагмента смоделированной или ранее записанной натурной выборки атмосферной турбулентности.

Комплекс предназначен не только для тестирования отдельных элементов и оптической системы в целом, но и для проведения экспериментальных исследований алгоритмов, методов.

1.Антошкин Л.В., Борзилов А.Г. Устройство управления двухкоординатным пьезокерамическим оптическим дефлектором // Патент №2695281 от 22 июля 2019г.
2. Antoshkin L.V., Borzilov A.G., Lavrinov V.V., Tsoroev I.M. New construction decisions in the creation of the wavefront tilt corrector // Proc. SPIE. 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2020. Vol. 11560, P. 115601Y. DOI: 10.1117/12.2575582
3. Лавринов В.В. Динамическое управление адаптивно-оптической коррекцией турбулентных искажений лазерного излучения // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т.30, № 10. С. 893-901.
4. Антошкин Л.В., Лавринова Л.Н., Борзилов А.Г., Лавринов В.В. Программа, формирующая управляющие сигналы с моделируемыми углами наклона для

двухкоординатного дефлектора // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017660132 от 14 сентября 2017. Правообладатель: ИОА СО РАН (RU).

Двухпотоковая методика передачи данных в многомодовых ВОЛС: влияние межмодовой связи

Д.В. Свистунов

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, svistunov@mail.ru)

На примере формата кодирования RZ показано, что наличие межмодовой связи в магистральном волокне ограничивает допустимую длину линии, но не влияет на уровень защищенности передаваемых данных при использовании двухпотоковой методики передачи.

Ключевые слова: волоконно-оптическая связь, двухпотоковая методика передачи, межмодовая связь

The example of using the RZ code is considered. It is shown that intermodal coupling into the trunk fiber limits the available line length, but it does not affect the level of data protection when the two-stream technique of data transmission is applied.

Keywords: fiber communications, two stream technique, intermodal coupling

Принцип недавно предложенной методики двухпотоковой передачи данных [1] основан на применении метода модового мультиплексирования. Из исходного потока данных выделяются потоки логических 1 и 0. Эти потоки в виде световых импульсов раздельно передаются разными модами трактового волокна, принадлежащими к одной модовой группе. На выходе волокна потоки детектируются, и восстанавливаются исходные данные. При нелегальном вторжении в тракт такой линии, считывается суммарный сигнал потоков, что препятствует дешифровке данных. В докладе рассмотрено влияние одного из вредных факторов – взаимной связи мод в трактовом волокне, ведущей к уменьшению амплитуды импульса по мере его распространения и к изменению нулевого уровня сигнала. В результате, понижается контраст восстановленного сигнала, что ограничивает допустимую длину линии связи. Однако, поскольку эти эффекты одинаково проявляются в обеих модах, то суммарный сигнал, регистрируемый при нелегальном вторжении в такую линию связи, остается неизменным вне зависимости от взаимной перекачки мод. Поэтому, наличие

межмодовой связи не снижает уровень защищенности передаваемых данных.

1 Свистунов Д.В. // Сборник трудов Междунар. конф. «Прикладная оптика-2018» (С.-Петербург, дек. 2018), т. 1, с. 167

Компьютерные технологии классификации функционального состояния биоматериала на основе рекурсивной модели Войта

А.В. Мирошников, Н.С. Стадниченко, О.В. Шаталова
(Юго-Западный государственный университет, Курск, e-mail: Shatolg@mail.ru)

Создана модель биоимпедансного анализа, основанная на многочастотной биоимпедансометрии. Для получения дескрипторов осуществлялось многочастотное зондирование биоматериала и строился график Коула. Дескрипторы вычислялись на основе представления графика Коула рекурсивной моделью Войта. Дескрипторы использовались в классификаторах, выполненных на обучаемых нейронных сетях.
Ключевые слова: биоимпеданс, модель Войта, дескрипторы, нейронная сеть
A bioimpedance analysis model based on multifrequency bioimpedance measurement has been created. To obtain descriptors, multifrequency sounding of the biomaterial was carried out and a Cole plot was constructed. The descriptors were computed based on the representation of the Cole plot by Voight's recursive model. Descriptors were used in classifiers executed on trained neural networks.
Keywords: bioimpedance, Voight model, descriptors, neural network

Оценка функционального состояния биоматериала имеет в эксперименте in vivo важное значение для диагностики инфекционных и онкологических заболеваний [1]. Дескрипторы для классификаторов биоматериала получают путем многочастотного зондирования биоматериала. С этой целью накладываются электроды на выделенный сегмент биообъекта и осуществляется его многочастотное зондирование на стольких частотах, сколько требуется для определения параметров моделей пассивных двухполюсников. По полученным параметрам двухполюсников осуществляется классификация биообъекта. В качестве электродов при зондировании биообъекта используется матрица N электродов, электроды в которой с помощью мультиплексоров последовательно попарно коммутируются таким

образом, чтобы получить N/2 электродных пар, каждая из которых соответствует N/2 направлениям электрического поля в биоматериале. Для каждого направления электрического поля строится модель сегмента биоматериала, соответствующая этому направлению. В качестве модели сегмента биоматериала используется рекурсивная модель Войта. Для каждой из моделей Войта строится график Коула биоматериала под соответствующими электродами в диапазоне частот от Ω_{min} до Ω_{max} и выполняется рекурсивная процедура решения систем нелинейных уравнений по определению параметров модели начиная от первого звена модели Войта и последовательно, наращивая звенья в модели Войта до тех пор, пока функционал ошибки аппроксимации графика Коула для соответствующей модели Войта не достигнет допустимого значения. В каждой модели Войта осуществляется преобразование множества параметров звеньев модели Войта $\{C_i,R_i\}_j$ в множество $\left\{\omega_i^*\right\}_j$, где *i*-номер звена в *j*-ой модели Войта, $j=\overline{1,N/2}$ - номер модели Войта для *j*-го сочетания электродов, $\omega_i^* = 1/(C_i R_i)$. Используя множество $\left\{\omega_i^*\right\}_j$ как дескрипторы, классифицируется биологический объект посредством обучаемого классификатора, построенного по иерархическому принципу.

В качестве классификаторов функционального состояния биоматериала использовались гибридные нейросетевые модели [2].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90063.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 20-38-90063.

1 Использование гибридных нейросетевых моделей для многоагентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков/Курочкин А.Г., Жилин В.В., Суржикова С.Е., Филист С.А./Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2015. № 3 (31). С. 85-95

2 Модели импеданса биоматериала для формирования дескрипторов в интеллектуальных системах диагностики инфекционных

заболеваний/Мирошников А.В., Стадниченко Н.С., Шаталова О.В., Филист С.А.//Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. Т. 8. № 4 (31). С. 3-4

Вейвлет-спектр электрокардиосигнала в классификаторе функционального состояния системы дыхания

М.Б. Мяснянкин, А.В. Серебровский, С.А. Филист

(Юго-Западный государственный университет, Курск, e-mail: SFilist@gmail.com)

Для классификации функционального состояния системы дыхания используется иерархическая нейронная сеть. Дескрипторы для нейронных сетей на нижнем иерархическом уровне определяют по вейвлет-коэффициентам электрокардиосигнала. Дескрипторы для нейронной сети верхнего иерархического уровня определяются по выходам нейронных сетей нижнего иерархического уровня.
Ключевые слова: система дыхания, вейвлет-плоскость электрокардиосигнала, дескрипторы, нейронная сеть
A hierarchical neural network is used to classify the functional state of the respiratory system. Descriptors for neural networks at the lower hierarchical level are determined by the wavelet coefficients of the electrocardiosignal. Descriptors for the neural network of the upper hierarchical level are determined by the outputs of the neural networks of the lower hierarchical level.
Keywords: respiratory system, wavelet plane of the electrocardiosignal, descriptors, neural networkork

Вариабельность ритма системы дыхания (СД) является важным предиктором ее функционального состояния (ФС) и проявляется в области медленных волн ритма дыхания (РД) [1]. Процесс классификации ФС СД заключается в записи пневмограммы, определение ее частотного диапазона и последующем анализе вариабельности РД. Параллельно с записью пневмограммы проводят запись электрокардиосигнала (ЭКС), на вейвлет-плоскости ЭКС выделяются строки, принадлежащие частотному диапазону пневмосигнала, определяют показатели вариабельности этих строк по времени и по частоте, и используют их в качестве дескрипторов для обучаемого классификатора ФС СД, выполненного на многослойной нейронной сети прямого распространения.

Нейронная сеть состоит из двух автономных нейронных сетей, каждая из которых имеет два выхода, показывающих вероятность нахождения СД в

заданном состоянии и вероятность нахождения СД в индифферентном классе, и третьей нейронной сети, агрегирующей решения первых двух по обоим выходам [2].

В качестве дескрипторов первой нейронной сети используются показатели вариабельности выделенных строк вейвлет-плоскости ЭКС по времени, а в качестве дескрипторов второй нейронной сети используются показатели вариабельности выделенных строк вейвлет-плоскости ЭКС по частоте. Для вычисления дескрипторов формируют матрицу вейлет-коэффициентов $\{w_{\ell n}\}, \ell = \overline{1,L}, n = \overline{1,N}$ размером *L*x*N* из строк вейвлет-плоскости, лежащих в области частот РД, определяют спектры Фурье $\{f_{\ell n}\}, \ell = \overline{1,L}, n = \overline{1,N}$ строк полученной матрицы, и выделяют из них *M* коэффициентов $f^*_{\ell m}$, соответствующих диапазону VLF спектра, и вычисляют множество дескрипторов $\{d1_j\}, j = \overline{1,M}$ как $d1_j = \sum_{\ell=2}^{L} \left| f^*_{\ell,j} - f^*_{\ell-1,j} \right|$.

Для вычисления дескрипторов второй нейронной сети транспонируют полученную матрицу вейвлет-коэффициентов и формируют вариационный ряд из *N* номеров строк транспонированной матрицы, элементы которого определяют как $d2_n = \arg\left(\max_{\ell \in 1,L} \left(\left| w_{n\ell} \right| \right) \right)$.

Дескрипторы для третьей нейронной сети определяются по выходам нейронных сетей нижнего иерархического уровня.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90058.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 20-38-90058.

1 Мяснянкин М.Б., Филист С.А., Киселев А.В., Кузьмин А.А. 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., Томакова Р.А., Яа З.Д. Универсальные сетевые модели для задач классификации биомедицинских данных. // Известия Юго-Западного государственного университета. Курск: Изд-во ЮЗГУ. 2012. №4(43). Ч. 2. С. 44-50

Многомодальная компьютерная система персонифицированной диагностики и терапии внутренних органов человека

Е.В. Кривина, Р.И. Сафронов, София Кадырова

(Юго-Западный государственный университет, Курск, e-mail: SFilist@gmail.com)

Для оптимизации электромагнитного терапевтического воздействия предлагается использовать биотехнические обратные связи по множеству параметров внутренних органов, которые являются суррогатными маркерами эффективности терапевтического воздействия. Для формирования управляющих воздействий на источник электромагнитного излучения используется модуль нечеткого управления.
Ключевые слова: контроль эффективности терапии, предстательная железа, биотехническая обратная связь, модуль нечеткого управления
To optimize the electromagnetic therapeutic effect, it is proposed to use biotechnical feedbacks on a variety of parameters of internal organs, which are surrogate markers of the effectiveness of the therapeutic effect. To form control actions on the source of electromagnetic radiation, a fuzzy control module is used.
Keywords: monitoring the effectiveness of therapy, prostate gland, biotechnical feedback, fuzzy control module

Одной из актуальных задач компьютерных технологий в медицине является разработка и внедрение эффективных систем реабилитации, которые, используя методы интеллектуального анализа данных, помогают врачам в задачах оценки эффективности лечения, в частности, эффективности терапии внутренних органов человека [1, 2]. Например, для оптимизации электромагнитного терапевтического воздействия на предстательную железу (ПЖ) используется биотехническая обратная связь (БТОС) и модуль нечеткого управления (МНЧУ) [1, 3]. Однако управляющее воздействие необходимо формировать не только по текущему функциональному состоянию (ФС) органа-мишени, но и по динамики его ФС в процессе курсового лечения.

Для диагностики ФС ПЖ анализируется текущее УЗИ-изображения ПЖ,

полученные в реперных точках курсового лечения, что позволяет определять эффективность магнитотерапии на основе ретроспективного анализа УЗИ-изображений ПЖ. В модуле ретроспективного анализа осуществляется анализ текущего вектора ФС органа-мишени, а также векторов дескрипторов ФС, полученных в других реперных точках. Кроме этого используется БТОС по температуре и гемодинамики. С помощью первого (основного) и второго (индифферентного) датчиков температуры измерялась температура в окрестности простаты и в индифферентной точке. С помощью фотоэлектрических датчиков измерялись показатели гемодинамики в окрестности ПЖ.

При магнитотерапии ПЖ использовался аппликатор аппарата УЛП-01-ЕЛАТ [3]. На аппликаторе имеется технологическое плато, которое было использовано для установки инфракрасного излучателя и приемника инфракрасного излучения. На входе МНЧУ имеем лингвистические переменные, которые характеризуют изменение суррогатных маркеров в процессе магнитотерапии, на входе – числовую переменную, которая характеризует величину информативного признака. Динамический диапазон генератора электромагнитного поля и аудиусилителя формируется МНЧУ на основе анализа датчиков БТОС.

Проведенные клинические испытания магнитотерапии совместно с противобактериальной терапией показали, что интеллектуальная магнитотерапия является эффективным средством в лечении острого и хронического воспаления ПЖ.

1. Филист С.А., Кузьмин А.А., Мешковский Д.В. Магнитотерапевтический аппарат с адаптируемым спектром электромагнитного излучения для лечения простатита и гинекологических заболеваний. // Медицинская техника. 2008. №4. С.20-24.
2. Филист С.А., Курочкин А.Г., Кузьмин А.А. и др. Алгоритмы мета-анализа эффективности диагностических и терапевтических решений на основе мониторинга суррогатных маркеров, получаемых по результатам анализа сложноструктурируемых изображений. // Известия Юго-Западного

государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. № 4 (21). С. 41-55.
3. Ефремов М.А., Филист С. А., Забанов Д.С., Мяснянкин М.Б., Савинов Д.Ю. Биотехническая система персонифицированной магнитотерапии с комбинированной обратной связью. // Известия ЮЗГУ. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2020. Т.10. № 2 С.46-66.

Компьютерная система классификации УЗИ-изображений

В.А. Белозеров, Д.С. Кондрашов, И.Н. Горбачев

(Юго-Западный государственный университет, Курск, e-mail: SFilist@gmail.com)

Исследование направлено на изучение возможности использования методов компьютерной диагностики для классификации УЗИ-изображений поджелудочной железы. Для построения вектора информативных признаков для классификатора использовались особенности текстуры прямоугольного сегмента изображения.
Ключевые слова: УЗИ-изображения, поджелудочная железа, области интереса, текстурные особенности сегмента изображения, классификатор
The study is aimed at exploring the possibility of using computer diagnostic methods to classify ultrasound images of the pancreas. To construct a vector of informative features for the classifier, the features of the texture of a rectangular segment of the image were used.
Keywords: ultrasound images, pancreas, regions of interest, textural features of an image segment, classifier

Технологии цифровой обработки и компьютерного распознавания УЗИ-изображений являются очень точными и неинвазивными методами диагностических исследований. Технология представляет собой своего рода новый и ценный диагностический инструмент для клинического определения патологии поджелудочной железы (ПЖ).

При классификации УЗИ-изображений ПЖ используется принцип выделения областей интереса (ROI) [1]. При этом УЗИ-изображение сегментируется на прямоугольные области размером 5…8 мм, в которых помещается 32…32x64…64 пикселей. Если размер УЗИ-изображения некратен размеру прямоугольных сегментов, то «остатки» по краям изображения могут быть удалены без потери информативности при классификации изображения, и таким образом УЗИ-изображение может быть обрезано на величину, определяемую размером «остаточного» сегмента по обоим краям и нижней

части изображения.

Классификатор изображения сканирует изображение по выделенным прямоугольным областям (сегментам) и относит каждый из них к определенному классу. После классификации всех сегментов изображения получаем «тепловую» карту изображения, на которой соответствующий сегмент изображения закрашивается в цвет, соответствующий статусу сегмента, определяемому вероятностью принадлежности сегмента к ROI.

При классификации УЗИ-изображений ПЖ были рассмотрены четыре категории (класса) сегментов: норма ПЖ; онкология ПЖ; панкреатит ПЖ и «все остальное – индифферентный класс». Для формирования базы данных для классификатора сегментов по четырем выделенным классам была создана компьютерная программа, которая позволяла эксперту отравить соответствующий сегмент в соответствующую базу данных (папку с файлами изображений сегментов соответствующего класса). Для получения обучающей выборки из каждой базы данных (папки) формировалась таблица объект-признак, представленная одним файлом. Из четырех файлов формировались стратифицированные обучающие и контрольные выборки.

Для формирования векторов информативных признаков по сегментам УЗИ-изображений ПЖ использовалось преобразование Уолша. Для формирования «слабых» классификаторов разработано программное обеспечение поиска спектральных признаков для «слабых» классификаторов на спектральной плоскости [2, 3]. Технология синтеза «слабого» классификатора состоит в анализе двумерных частот Уолша в окнах, содержащих патологические изменения и нахождении их отличий от окон, не содержащих патологии.

1 Филист С.А., Дабагов А.Р., Томакова Р.А., Малютина И.А., Кондрашов Д.С. 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

2 Филист С.А., Томакова Р.А., Брежнева А.Н., Малютина И.А., Алексеев В.А. Клеточные процессоры в классификаторах многоканальных изображений. //Радиопромышленность. 2019. № 1. С. 45-52
3 Белых В.С., Ефремов М.А., Филист С.А. Разработка и исследование метода и алгоритмов для интеллектуальных систем классификации сложно-структурируемых изображений. //Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. № 2 (19). С. 12-24

Обучение техническому творчеству и работе на лазерном станке с ЧПУ подростков в системе дополнительного образования

О.Ю. Афонин, М.Ю. Орлов, И.В. Ульянов, В.А. Степанов

(РГУ имени С. А. Есенина,г. Рязань;e-mail:vl.stepanov@365.rsu.edu.ru)

Данная статья посвящается обучению техническому творчеству и работе на лазерных станках с ЧПУ подростков в системе дополнительного образования. Описываются: структура и оптическая схема лазерного станка с ЧПУ, система охлаждения и поддува, порядок включения и эксплуатации, последовательность изготовления изделий. Приводится дополнительная общеразвивающая программа обучения.

Ключевые слова: лазерный станок, числовое программное управление, обучение, оптическая схема, ЧПУ, образование, 3D-проектирование, жилой дом, кольцевая дорога, строительство, мост

This article is devoted to teaching technical creativity and work on numerical control (NC) laser machines for teenagers in the system of additional education. The following are described: the structure and optical scheme of a NC laser machine, the cooling and blowing system, the procedure for switching on and operating, the sequence of manufacturing products. An additional training program is presented.

***Keywords*:** laser machine, numerical control, training, optical scheme, NC, education, 3D design, residential building, ring road, construction, bridge

Дополнительное образование играет важную роль при формировании у детей представлений о современных профессиях. Являясь частью системы непрерывного образования, оно дает расширенное преставление об изучаемых предметах. Техническая (технологическая) направленность занимает важное место в дополнительном образовании. Обучающиеся после прохождения образовательных программ овладевают начальными или расширенными навыками работ в различных областях техники, что во многом формирует их направление, развитие и самореализацию обучаемых в профессии.

В данной работе использовался лазерный станок с числовым программным

управлением (ЧПУ) марки Wattsan 0503 (Рис.1), использующий в качестве источника излучения – CO_2 лазер мощностью излучения до 150 вт на длине волны 10.6 мкм и лазерной трубкой, образованной стеклянным прямоточным газоразрядным активным элементом с внутренними зеркалами, охлаждаемый водой с замкнутой системой охлаждения. Система охлаждения активного элемента является важнейшим для обеспечения работоспособности и продуктивности лазерного станка системой, работающей при помощи чиллера. Принцип охлаждения состоит в конверсии воды из сосуда с терморегулятором, при помощи встроенного компрессора, через внешнюю оболочку активной среды и возвращения жидкости обратно в сосуд (Рис.2).

Оптическая схема лазерного станка (Рис.3) включает в себя лазерную трубку, электрическое питание ее, три поворотных зеркала, находящихся в одной плоскости с лазерной трубкой и фокусирующую головку. Лазерный станок состоит из пяти основных частей: механическая система, оптическая система, привод, система управления, дополнительные принадлежности. Механическая часть станка включает раму, рельсовую направляющую держателей, крышку. Привод состоит из трех линейных направляющих, ремня, двушаговых двигателей и нескольких шестерней. Дополнительные принадлежности: воздушный компрессор, чиллер, вытяжной вентилятор.

Система управления лазерным станком основывается на контроллере. Управляющая программа изделия генерируется на компьютере, затем сигнал подается на управляющую DSP плату и распределяется на шаговые двигатели, отвечающие за перемещение лазерной головки и блок поджига, который подает напряжение на газоразрядную трубку, поджигает ее и генерирует лазерный пучок ИК излучения.

Взаимодействие лазерного излучения с обрабатываемым материалом сопровождается интенсивной подачей воздуха (Рис. 4). Давление создается при помощи компрессора. Проходя вдоль газоразрядной трубки, воздух выходит из сопла фокусирующей головки. Он служит для улучшения (управления)

качеством реза. Под давлением воздуха сокращается вероятность возгорания обрабатываемого материала и степень его копчения.

1. Е.Н. Моос, М.Ю. Орлов, В.А. Степанов, Е.Е. Харитонова. Технология использования станков с ЧПУ в системе дополнительного образования. //Материалы IIВсерос. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы физики и технологии в образовании,науке и производстве», РГУ имени С. А. Есенина,2020. С.61-64.
2. М.Ю. Орлов, Д.А. Навитанюк, В.А. Степанов, Э.Г. Сидорова, Е.Е. Харитонова. Обучение техническому творчеству подростков, находящихся в трудной жизненной ситуации, в системе дополнительного образования. //Материалы 3 Всер. наун-практ.конф.«Актуальные проблемы физики и технологии в образовании науке и производстве»,РГУ имени С. А Есенина, 2021. С.101-104

Термостабильный цифровой автоколлиматор

А. В. Баскакова, А. А. Боев, М. Ю. Керносов, С. Н. Кузнецов,

С. Ю. Поляков, С. Е. Широбакин

(АО Мостком, Рязань, info@moctkom.ru)

Термостабильный цифровой автоколлиматор обладает увеличенной, по сравнению с аналогами, дальностью измерений и автоматической компенсацией ошибок, возникающих из-за изменения температуры окружающей среды. Проведенные расчеты показали увеличение дальности и точности работы автоколлиматора в широком диапазоне рабочих температур, а полученные экспериментальные данные подтвердили корректность расчета и предложенных конструктивных решений.

Ключевые слова: цифровой автоколлиматор, матричный фотоприемник, широкий диапазон рабочих температур

The thermostable digital autocollimator has an increased, in comparison with analogs, measurement range and automatic compensation of errors arising from changes in the ambient temperature. The calculations showed an increase in the range and accuracy of the autocollimator in a wide range of operating temperatures, and the experimental data obtained confirmed the correctness of the calculation and the proposed design solutions.

Keywords: digital autocollimator, array photoreceiver, wide range of operating temperatures

Термостабильный цифровой автоколлиматор примечателен тем, что совмещает в себе два основных типа автоколлиматоров – классический и компенсационный, используя преимущества обоих типов.

В классическом автоколлиматоре дальность работы определяется геометрическим условием попадания оси отраженного пучка в апертуру

объектива приемного канала автоколлиматора [1]. В компенсационных автоколлиматорах поворот зеркала компенсируют либо поворотом оптических элементов автоколлиматора, либо поворотом автоколлимационного зеркала и измерением углов поворота, так, чтобы изображение марки на измерительной поверхности не смещалось [2]. В подобных устройствах рабочая дистанция определяется расстоянием, на котором центр пучка излучения автоколлиматора попадает на край автоколлимационного зеркала. В обоих типах автоколлиматоров их применение, помимо рабочего расстояния, серьезно ограничено диапазоном рабочих температур. Для существующих конструкций необходимо поддерживать стабильную температуру установки в течении всего времени измерений.

В предлагаемом устройстве рабочее расстояние увеличено за счет совмещения компенсаторного механизма и принципа прямого измерения смещения изображения марки на измерительной поверхности, которое проводится в автоматическом режиме. Для увеличения диапазона рабочих температур применяется способ непрерывной оценки эталонных отрезков, формируемых на измерительной поверхности. Путем геометрических преобразований в процессе работы проводится расчет изменения масштаба, сдвига и поворота матричного фотоприемника и его креплений для измерения углов отклонения автоколлимационного зеркала в эталонной системе координат.

Таким образом, разработанный цифровой термостабильный автоколлиматор позволяет проводить измерения на большей дальности и при большем диапазоне рабочих температур по сравнении с аналогами.

1 Женьпу Ли, Коняхин И. А. Синтез отражателей для автоколлимационных измерений при увеличенной рабочей дистанции. // Изв. Вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 11

2 Городецкий А Е., Дорошенко М. С., Тарасова И. Л., Коняхин И. А. Анализ погрешностей системы управления автоколлиматора с активной компенсацией. // Изв. Вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 5

Электронные образовательные ресурсы в развитии дистанционных методов обучения иностранному языку

В.В. Вишневецкая

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, Россия

На современном этапе развития образования, несомненно, особым преимуществом обладают Интернет- технологии. Как показывает практика, внедрение Интернет – технологий в процесс обучения, в частности, иностранному языку, уже не вызывает сомнений и не требует дополнительных доказательств. Конечно же, электронные образовательные ресурсы являются бесценной и необъятной базой для создания информационно-предметной среды, образования и самообразования людей, удовлетворения их профессиональных, личных интересов и потребностей. Современная система образования РФ делает Интернет повседневной реальностью для большинства российских школьников и студентов.

Ключевые слова: электронные образовательные ресурсы, процесс обучения, современные технологии, информационно-предметная среда, образование и самообразование.

At the present stage of education development, Internet technologies undoubtedly have a special advantage. As practice shows, the introduction of Internet technologies in the process of teaching, in particular, a foreign language, is no longer in doubt and does not require additional evidence. Of course, the electronic resources are an invaluable and vast base for creating an information and subject environment, people's education and self-education, meeting their professional and personal interests and needs. The modern education system of the Russian Federation makes the Internet an everyday reality for most Russian schoolchildren and students.

Keywords: electronic educational resources, the learning process, modern technologies, information and subject environment, education and self-education.

На современном этапе развития образования, несомненно, особым преимуществом обладают Интернет- технологии. Как показывает практика, внедрение Интернет – технологий в процесс обучения, в частности, иностранному языку, уже не вызывает сомнений и не требует дополнительных доказательств. Обладая элементарной компьютерной грамотностью, преподаватель в состоянии создавать развивающие, оригинальные учебные материалы, которые способны увлечь, мотивируя и нацеливая обучающихся на успешные результаты.

Конечно же, электронные образовательные ресурсы являются бесценной и необъятной базой для создания информационно-предметной среды, образования и самообразования людей, удовлетворения их профессиональных,

личных интересов и потребностей. Современная система образования РФ делает Интернет повседневной реальностью для большинства российских школьников и студентов.

Сегодня существует довольно обширная база образовательных ресурсов в сфере обучения иностранному языку, большая из них направлена на подготовку школьников к успешной сдаче ЕГЭ. На наш взгляд, это является основополагающим, и разработка учебных электронных ресурсов должна быть направлена на комплексное формирование аспектов иноязычной коммуникативной компетенции во всем многообразии его компонентов, а это и языкового, грамматического, социокультурного, компенсаторного и, конечно же, учебно-познавательного [4].

Современные электронные образовательные ресурсы, а это текстовый, аудио- и визуальный материал по различной тематике на разных языках, должны способствовать коммуникативно-когнитивным умениям, то есть обучающийся может осуществлять поиск и отбор материала, производить обобщение, классификацию, анализ и синтез полученной информации, а также использовать их для образования и самообразования с целью знакомства с культурно-историческим наследием различных стран и народов [7].

Иностранный язык одним из первых стал использовать электронные ресурсы в процессе обучения, где особое внимание уделяется аудированию, фонетике и построению предложений. Способность правильно говорить, выражать свои мысли и, конечно же, понимать собеседника являются главными приоритетами на стадии обучения. В свою очередь они выступает формой телекоммуникации, и способствует развитию познавательной деятельности обучающихся, достижению основных целей обучения предмету. Развитие современных технологий сегодня, позволяет нам использовать электронные ресурсы в качестве аналоговых или альтернативных, которые задействуют, например, все виды речевой деятельности: продуктивный – говорение и письмо, и рецептивный – аудирование и чтение [6].

Преподаватель в ВУЗе может варьировать программным материалом в соответствии с уровнем развития обучающихся на каждом этапе обучения. Частота и набор используемого материала может изменяться в зависимости от уровня владения иностранным языком, общим уровнем развития информационной компетенции, интересами и образовательными потребностями обучающихся. Наряду с гуманитарно- филологическим и социально- гуманитарным направлениями в обучении необходимо внедрять внутрипрофильную специализацию, уделяя особое внимание профессиональной направленности в обучении иностранному языку. Электронные образовательные ресурсы являются дополнительным помощником преподавателя: представляют и корректируют интонацию, уделяют внимание фонетике и грамматике, дают более точный перевод пословиц, устойчивых выражений и разговорных фраз, представляют лексическое многообразие и его написание, выступают помощником при переводе художественных текстов и технической терминологии, а также обогащают культурно- историческими знаниями и умениями, создают благотворную среду для самообразования. Разнообразные информационные объекты, то есть лексический, грамматический и текстовый материалы, изобразительная наглядность могут быть объединены в тщательно выверенную, методически оправданную последовательность работы над тем или иным учебным материалом. При этом обширный и простой методический инструментарий воплощается в решение конкретных задач по обучению, развитию и контролю знаний [1, 2, 3].

Например, такие направления как Лазерная техника и Приборостроение требуют особого внимания преподавателя к обучению иностранному языку. Язык меняется, с развитием науки появляются новые дефиниции, которым необходим четкий перевод и пояснения. Для сопоставления литературного и разговорного языка, перевода того или иного слова, фразы, требуются также электронные ресурсы, способствующие их четкому пониманию и разъяснению

[8].

Моделей и сценариев использования электронных образовательных ресурсов в обучении иностранному языку можно предложить великое множество, однако, принимая во внимание характеристики исключительно своей группы обучающихся, каждый преподаватель решает сам, какие из них он будет использовать в учебном процессе и в какой степени, так как все они обогащают учебный процесс и позволяют, в значительной степени, создать благоприятные условия для обучающихся с высоким потенциалом коммуникативной компетенции для проведения дебатов или обсуждений насущных культурных и социальных проблем, проведения лингвистического анализа устного и письменного дискурса носителей языка, отбора текстовых, графических, фото, аудио и видеоматериала по изучаемым темам [5].

Стремительное развитие цивилизации и технических средств коммуникации позволяет сделать предположение, что буквально через несколько лет соотношение книжных и электронных учебных изданий значительно изменится в пользу последних. Для такого перехода уже имеется вся необходимая методическая база, а обучение иностранному языку посредством электронных образовательных ресурсов станет более актуальной и менее затратной.

1. Вишневецкая В.В. Эпитет, как стилистический прием в создании художественного образа персонажа (на материале творчества Томаса Майна Рида) «Объединенный журнал» № 4-5, Агенство научной печати, Москва, 2012.
2. Вишневецкая В.В. Лингвостилистические средства создания портрета (на материале художественных текстов Томаса Майна Рида) «Объединенный журнал» № 4-5, Агенство научной печати, Москва, 2012.
3. Вишневецкая В.В. Приключенческий мир как мир Добра и мир Зла. Дискурс: Концептуальные признаки и особенности их осмысления: Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск №1. Краснодар: КубГУ, 2007
4. ГОСТР 52653-2006 Информационно-коммуникационные технологии в образовании.
5. Дьяченко В.В [и др.] Геоинжиниринг: области распространения, аспекты безопасности в техносфере и особенности управления Безопасность в

техносфере. 2020. Т. 9 № 1. С. 3-12
6. Овсянникова С.А. Электронные ресурсы в современном образовательном процессе// Актуальные проблемы современной педагогики: материалы IVМеждунар. научн. конф. (г. Уфа, ноябрь 2013 г.). – Т.О. – Уфа: Лето, 2013. – С.42-44— URL: https://moluch.ru/conf/ped/archive/97/4399/ (дата обращения: 27.07.2021).
7. Осин А.В. Электронные образовательные ресурсы нового поколения: Аналитическая записка. - М.: ИИТО ЮНЕСКО, 2011. –12с.
8. Мусихина О.Н. и др. Готовимся к ЕГЭ. Английский язык в тестах и упражнениях. «Феникс», г. Ростов-на-Дону, 2012

Импульсно-периодический разряд в воде

А.М. Вальшин

Башкирский государственный университет, Уфа, amvals@mail.ru

Данная работа посвящена исследованию пробоя жидкости 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, механизмы разряда
This work is devoted to the study of liquid breakdown by high-frequency electrical pulses. The obtained dependences of the parameters of the breakdown of a 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 vibrations and the state of the liquid are presented.
Keywords: electric discharge in water, high-frequency discharge, discharge mechanisms

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 наносекундным 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 жидкости 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 [1]. Нами было также обнаружено существенное уменьшение порога пробоя в воде при высокочастотной накачке. Из четырех механизмов инициации разряда наш эксперимент по крайней мере оставляет на дальнейшее исследования следующие механизмы: пузырьковый, микровзрывной и электротепловой. Ионизационный механизм инициации разряда при высокочастотном разряде не подтверждается, ибо предполагает сверхвысокое перенапряжение на электродах.

В докладе будут 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.

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.

Лазер на гранате с комбинированной накачкой

А.М. Вальшин

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

Показана возможность эффективной работы лазера на гранате при комбинированной накачки. Комбинированная накачка позволяет перераспределять энергии дежурной дуги и емкостной накачки для повышения эффективности работы лазера путем увеличения доли энергии высокочастотных колебания по сравнению с энергией емкостной накачки.

Ключевые слова: лазер, комбинированная накачка, высокочастотная накачка, повышение эффективности лазера

The possibility of effective operation of a laser on a grenade with combined pumping is shown. Combined pumping allows you to redistribute the energies of the duty arc and capacitive pumping to increase the efficiency of the laser by increasing the proportion of the energy of high-frequency oscillations compared to the energy of capacitive pumping.

Keywords: laser, combined pumping, high-frequency pumping, laser efficiency

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.

На первом этапе лампа поджигается высокочастотными колебаниями, образуется канал разряда, далее запускается высокочастотная дежурная дуга в импульсном режиме, которая выполняет следующие функции: уширяет канал разряда лампы и одновременно доводит уровень накачки активного элемента до порогового значения генерации лазера. Затем 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 дуги и импульса разряда конденсатора. Нами обнаружена возможность деформации спектра излучения лампы накачки при высокочастотном возбуждении в сторону увеличения эффективности накачки.

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.

Твердотельный лазер с высокочастотной накачкой

А.М. Вальшин

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

Показана перспективность использования высокочастотной накачки твердотельного лазера с ламповой накачкой в импульсно-периодическом режиме для создания эффективного лазера на гранате. В результате экспериментов были исследованы различные режимы работы лазера на гранате с высокочастотной накачкой. Также проведены измерения параметров излучения.
Ключевые слова: высокочастотная накачка, твердотельный лазер, ламповая накачка.
The prospects of using high-frequency pumping of a solid-state laser with a tube pump in a pulsed-periodic mode to create an effective laser on a grenade are shown. As a result of the experiments, various modes of operation of a high-frequency pumped grenade laser were investigated. The radiation parameters were also measured.
Keywords: high-frequency pumping, solid-state laser, tube pumping.

Эффективность, стабильность энергетических и пространственных характеристик твёрдотельных лазеров во многом определяется системой накачки. На сегодня существуют два направления развития источников питания импульсных ламп для твёрдотельных лазеров, это традиционный разряд импульсного или постоянного напряжения однополярным током и диодная накачка.

Полупроводниковая накачка диодными лазерами на сегодня является наиболее распространенной, так как обладает максимальным КПД, минимальными массогабаритными параметрами, а так же сравнительно узкой шириной спектра излучения (2÷5) нм диодных лазеров. Однако требуется

стабилизация температурного режима диодных лазеров накачки для совпадений полос излучения диодного лазера с полосой поглощения активного элемента. В случае масштабирования необходимо увеличить количество диодов пропорционально увеличенной выходной мощности.

Традиционный вид накачки, который мы называем условно емкостной накачкой, обладает минимальным кпд, хотя является наиболее простым и доступным способом. Минимальный кпд лазера обусловлен широким сплошным спектром излучения ламп накачки, охватывающий практически весь видимый диапазон, в том числе охватывающий широкий спектр ультрафиолетового излучения.

Нами предлагается другой вид накачки, это накачка высокочастотными импульсами тока. 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].

В связи с этим нами была рассмотрена накачка высокочастотными импульсами тока твердотельного лазера на гранате.

Нами предложен и реализован высокочастотный источник питания для накачки твердотельных лазеров. В данном источнике реализованы функции высокочастотного поджига, высокочастотной дежурной дуги и формирования высокочастотных импульсов тока регулируемой амплитуды и длительности цуга для силовой накачки активного элемента. В основе источника питания для накачки лазера используются три высокочастотные транзисторные преобразователи с рабочими частотами в области (1÷6) МГц.

Высокочастотный поджиг служит для зажигания плазмы в лампе, высокочастотная дежурная дуга необходима для расширения канала разряда, а формирователь высокочастотных импульсов тока служит для силовой накачки активного элемента. Формирователь импульсов тока позволяет регулировать длительность, частоту следования и амплитуду цуга импульсов в лампе

накачки.

Показана перспективность использования высокочастотного источника питания для накачки твердотельных лазеров.

1. Вальшин А.М., Тавлыкаев Р.Ф., Михеев Г.М, Першин С.М. Управление параметрами газоразрядной плазмы низкого давления при высокочастотной накачке. //Инженерная физика. №3, 2015, стр.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.

Функционал энергии в моделях Маргерра-Власова колебаний пологих оболочек

Е.В. Колпакова

(Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова, Новороссийск, kolpakova-e-v@nb-bstu.ru)

Разрешимость начально-краевая задача модели Маргерра-Власова колебаний пологих оболочек с малой инерцией продольных перемещений срединной поверхности с шарнирным закреплением края оболочки доказывается сначала на ограниченном промежутке времени, а затем на произвольном. Доказательство существования обобщенных решений модели проводится с помощью метода приближений Бубнова-Галеркина. В результате получена основная теорема существования обобщенных решений

Ключевые слова: начально-краевая задача, модели Маргерра-Власова, метода приближений Бубнова-Галеркина

Solvability the initial-boundary value problem of the Marguerre-Vlasov model of vibrations of flat shells with a small inertia of longitudinal displacements of the median surface with a hinge fixing of the shell edge is proved first for a limited period of time, and then for an arbitrary one. The proof of the existence of generalized solutions of the model is carried out using the Bubnov-Galerkin approximation method. As a result, the main theorem of the existence of generalized solutions is obtained

Keywords: initial-boundary value problem, Marguerra-Vlasov models, Bubnov-Galerkin approximation method

Начально-краевая задача модели Маргерра-Власова колебаний пологих оболочек с малой инерцией продольных перемещений срединной поверхности с шарнирным закреплением края оболочки приведена, например, в [1]. Разрешимость данной задачи доказывается сначала на ограниченном промежутке времени, а затем на произвольном. Доказательство существования

обобщенных решений модели проводится с помощью метода приближений Бубнова-Галеркина. Для этого использована полная ортонормированная система в $L_2(\Omega)$ и полная ортогональная система в $\tilde{H}_2^2(\Omega,\mu)$ [2]. На произвольном конечном интервале времени $t\in[0,t_f]$, где $t_f>0$, представляем приближения Бубнова-Галеркина поперечного перемещения $w(x,t)$ данной начально-краевой задачи в виде

$$w^m(x,t)=\sum_{j=1}^{m}a_j^m(t)\xi_j(x).$$

где функции $a_j^m(t)$, зависящая от времени $t\in[0,t_f]$, является решением следующей системы обыкновенных дифференциальных уравнений 2-го порядка:

$$\ddot{a}_i^m+\gamma\sum_{j=1}^{m}\ddot{a}_j^m\left(\nabla\xi_i,\nabla\xi_j\right)=P\left(a_i^m,\dot{a}_i^m\right),\quad i=\overline{1,m}$$

Система дифференциальных уравнений разрешима на некотором конечном отрезке времени $[0,t_0]$, $t_0<t_f$, согласно теореме Коши-Пикара. Для определения глобальных по времени решений вводится функционал энергии.

Функционал Φ кинетической энергии и потенциальной энергии изгиба и растяжения пологой оболочки для приближений Бубнова – Галеркина имеет следующий вид [3]:

$$\Phi_m(t)=\frac{1}{2}\left(\left\|w_t^m(\ ,t)\right\|_{L_2(\Omega)}^2+\gamma\left\|w_t^m(\ ,t)\right\|_{\overset{\circ}{H}{}_2^1(\Omega)}^2+D\left\|w^m(\ ,t)\right\|_{\tilde{H}_2^2(\Omega,\mu)}^2\right)+$$

$$+\frac{Eh}{2\left(1-\mu^2\right)}\int_\Omega\Big[\left(\varepsilon_1^m(x,t)\right)^2+\left(\varepsilon_2^m(x,t)\right)^2+2\mu\,\varepsilon_1^m(x,t)\,\varepsilon_2^m(x,t)+$$

$$+\frac{1-\mu}{2}\left(\varepsilon_{12}(x,t)\right)^2\Big]dx. \qquad (1)$$

Теорема 1. Пусть $X,Y,Z\in C\left([0,t_f],L_p(\Omega)\right)$ для некоторого $p>1$. Для всех $t\in[0,t_0]$ имеет место соотношение

$$\frac{d\Phi_m}{dt}+\delta\left\|w_t^m(\ ,t)\right\|_{\tilde{H}_2^2(\Omega,\mu)}^2=\int_\Omega\left(X\,u_t^m+Y\,v_t^m+Z\,w_t^m\right)dx.$$

Теорема 2. В условиях теоремы 1 для всех $t_1,t_2\in[0,t_0]$ имеет место соотношение баланса энергии:

$$\Phi_m(t_2)-\Phi_m(t_1)+\delta\int_{t_1}^{t_2}\left\|w_t^m(\ ,t)\right\|_{\tilde{H}_2^2(\Omega,\mu)}^2dt=\int_{t_1}^{t_2}\int_\Omega\left(X\,u_t^m+Y\,v_t^m+Z\,w_t^m\right)dx\,dt \quad (2)$$

Затем устанавливаются так называемые энергетические, равномерные оценки приближений Бубнова – Галеркина, или, что достаточно близко, энергетические априорные оценки решений основной начально-краевой задачи на интервале времени любой конечной длины. Для этого выполнены оценки правой части (2). В результате получен следующий факт.

Теорема 3. В условиях теорем 1,2 приближения Бубнова-Галеркина имеют следующие дифференциальные свойства:

$$w^m \in C^2\left([0,t_f],\tilde{H}_2^2(\Omega,\mu)\right)\cap C^2\left([0,t_f],H_2^4(\Omega)\right)$$

$$u^m, v^m \in C^1\left([0,t_f],\overset{\circ}{H}{}_2^1(\Omega)\right)\cap L_\infty\left([0,t_f],H_p^2(\Omega)\right),\ 1<p<2.$$

$$\Phi_m(t)\le\sigma_2,\left\|w_t^m(\ ,t)\right\|_{L_2(\Omega)}\le\sigma_3,\quad \left\|w^m(\ ,t)\right\|_{\tilde{H}_2^2(\Omega,\mu)}\le\sigma_4$$

$$\left\|w^m(\ ,t)\right\|_{\overset{\circ}{H}{}_r^1(\Omega)}\le\sigma_5^r,\quad r\ge 1,\quad \left\|u^m(\ ,t)\right\|_{\overset{\circ}{H}{}_2^1(\Omega)}+\left\|v^m(\ ,t)\right\|_{\overset{\circ}{H}{}_2^1(\Omega)}\le\sigma_6,$$

$$\left\|u^m(\ ,t)\right\|_{H_p^2(\Omega)}+\left\|v^m(\ ,t)\right\|_{H_p^2(\Omega)}\le\sigma_7^p,\ 1<p<2,$$

где константы $\sigma_2-\sigma_7$ не зависят от m и t, а зависят от $\|w_0\|_{\tilde{H}_2^2(\Omega,\mu)}$, $\|w_1\|_{\overset{\circ}{H}{}_2^1(\Omega,\mu)}$, $\|X(\ ,0)\|_{L_2(\Omega)}$, $\|Y(\ ,0)\|_{L_2(\Omega)}$, $\|X\|_{L_{p,1}^{0,1}(\Omega\times[0,t_f])}$, $\|Y\|_{L_{p,1}^{0,1}(\Omega\times[0,t_f])}$, $\|Z_0\|_{L_{q,2}(\Omega\times[0,t_f])}$, $\|Z_1\|_{L_2(\Omega\times[0,t_f])}$, $\|Z_2\|_{L_2(\Omega\times[0,t_f])}$, от $p>1$, $q>1$, от Ω и t_f и не зависит от m, t и $t_0\in[0,t_f]$.

Затем выполнен предельный переход к обобщенным решениям, выделив из ограниченных всюду по времени последовательностей сходящиеся подпоследовательности. В результате получена основная теорема существования обобщенных решений, а также стало возможным показать априорные оценки самих обобщенных решений в целом по времени.

Теорема 4. В условиях теорем 1-3 существуют обобщенные решения w, u, v исходной начально-краевой задачи, удовлетворяющие следующим условиям

$$w\in L_{2,\infty}^{2,0}\left(\Omega\times[0,t_f]\right)\cap L_{2,\infty}^{0,1}\left(\Omega\times[0,t_f]\right)\cap C\left([0,t_f],H_r^1(\Omega)\right),$$

для всех $r\ge 1$ и при $1<p<2$

$$u,v\in L_\infty\left([0,t_f],\overset{\circ}{H}{}_2^1(\Omega)\right)\cap L_\infty\left([0,t_f],H_p^2(\Omega)\right),$$

при $p\ge 2$

$$u, v \in L_\infty\left([0,t_f], \overset{\circ}{H}{}_2^1(\Omega)\right) \cap L_\infty\left([0,t_f], H_q^2(\Omega)\right),$$

для всех $q < 2$. Выполняются следующие оценки:

$$vrai\max_{t\in[0,t_f]} \left\| w_t(\ ,t)\right\|_{L_2(\Omega)} \le \sigma_{11},$$

$$vrai\max_{t\in[0,t_f]} \left\| w(\ ,t)\right\|_{\tilde{H}_2^2(\Omega,\mu)} \le \sigma_{12},$$

$$vrai\max_{t\in[0,t_f]} \left\| w(\ ,t)\right\|_{\overset{\circ}{H}{}_r^1(\Omega)} \le \sigma_{13}^r,\ r>1,$$

$$vrai\max_{t\in[0,t_f]} \left(\left\| u(\ ,t)\right\|_{\overset{\circ}{H}{}_2^1(\Omega)} + \left\| v(\ ,t)\right\|_{\overset{\circ}{H}{}_2^1(\Omega)}\right) \le \sigma_{14},$$

$$vrai\max_{t\in[0,t_f]} \left(\left\| u(\ ,t)\right\|_{H_p^2(\Omega)} + \left\| v(\ ,t)\right\|_{H_p^2(\Omega)}\right) \le \sigma_{15}^p,\ p<2,$$

$$vrai\max_{t\in[0,t_f]} \left(\left\| u(\ ,t)\right\|_{H_q^2(\Omega)} + \left\| v(\ ,t)\right\|_{H_q^2(\Omega)}\right) \le \sigma_{16}^q,\ p \ge 2,$$

для любого $q < 2$, где константы $\sigma_{11} - \sigma_{16}$ того же типа, что и σ_4.

1. Колпакова Е.В. О начально-краевой задаче модели Маргерра–Власова колебания пологой оболочки и существовании обобщенных решений.//Вестник НФ БГТУ: мехмат. 2021. Том 01. No 01 (01)
2. Колпакова Е.В., Давтян Д.Б., Седенко В.И. Задача на собственные значения для бигармонического оператора с краевыми условиями смешанного закрепления края оболочки. // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2008. №3.
3. Ворович И.И. О некоторых прямых методах в нелинейной теории колебаний пологих оболочек. // Известия АН СССР. Сер. мат. 1957. Т. 21, № 6. С. 747.

Применение лазерной медицины в реабилитации людей с ограниченными возможностями как фактор экономического роста

Е.В. Агамагомедова, А.А. Осённова

(Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, bezuglaia.e@yandex.ru , Курский государственный медицинский университет)

Неустойчивость социально-экономических процессов в российской экономике, рост без развития при активной поддержке государством свидетельствует о глубине системного

кризиса. Основной причиной является потеря человеческого и трудового потенциала и невозможность его реализовать ввиду сложившейся структуры экономики, отсутствия необходимых механизмов привлечения высококвалифицированных специалистов в реальный сектор, на инновационные производства.
Ключевые слова: лазерная медицина, дефицит трудовых ресурсов, устойчивое экономическое развитие, социальная политика государственная политика
The instability of socio-economic processes in the Russian economy, growth without development with the active support of the state testified to the depth of a systemic crisis. The main reason is the loss of human and labor capacity and the inability to realize it due to the existing structure of the economy, lack of mechanisms to attract highly qualified specialists in the real sector on the innovative production.
Keywords: laser medicine, labor shortages, sustainable economic development, social policy

Неустойчивость социально-экономических процессов в российской экономике, рост без развития при активной поддержке государством свидетельствует о глубине системного кризиса. Одной из важных причин является потеря и трудового потенциала и невозможность его реализовать ввиду сложившейся структуры экономики, отсутствия необходимых механизмов привлечения высококвалифицированных специалистов в реальный сектор, на инновационные производства. В данной ситуации реабилитация инвалидов, адаптация их к нормальной жизнедеятельности в обществе и вовлечение в производственный процесс в качестве наставников, работников, консультантов может стать фактором преодоления дефицита трудовых ресурсов. Одним из наиболее важных вопросов в обеспечении благоприятных условий для реабилитации людей с ограниченными возможностями является применение лазерных технологий в медицине.

В заключении можно сказать, что реабилитация людей с ограниченными возможностями – это не только важная задача социальной политики государства, но и возможность снизить дефицит трудовых ресурсов. В результате совокупный эффект послужит триггером к дальнейшему устойчивому экономическому развитию.

1 Безуглая Е. В., Убоженко Т. А. Механизмы государственного регулирования инфраструктурных преобразований региона на примере Курской области. //5-я Международна научно-практическая конференция институты и механизмы инновационного развития: мировой опыт и российская практика: материалы конференции. Курск. 2015. С. 38.
2 Коварда В. В., Безуглая Е. В. Реабилитация инвалидов как фактор реализации

социальных функций государства и преодоления дефицита трудовых ресурсов: инфраструктурный аспект. //European Social Science Journal. 2013. №. 2. С. 285-290.

СЕКЦИЯ Г-4 – ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Лазерно-локационные методы и системы оптико-физических измерений в условиях априорной неопределенности

М.М. Кугейко

(Белорусский государственный университет, Минск, kugeiko@bsu.by)

Рассмотрены лазерно–локационные методы и системы определения концентраций атмосферного аэрозоля в условиях априорной неопределенности исследуемой среды. Оценена их эффективность.

Ключевые слова: лазерно–локационные методы, аэрозоль, априорная неопределенность

Laser-ranging methods and systems for determining the concentrations of atmospheric aerosol under conditions of a priori uncertainty of the medium under study are considered. Evaluated their effectiveness.

Keywords: laser-location methods, aerosol, a priori uncertainty aerosols.

В работах [1,2] предложены регрессионные методы решения обратных задач оптического зондирования светорассеивающих сред, заключающиеся в определении параметров исследуемой среды на основе аналитических выражений, аппроксимирующих связи искомых параметров среды с измеряемыми параметрами. Эти выражения получают путем регрессионного анализа результатов статистического моделирования оптических характеристик при широкой вариации микрофизических характеристик среды. Важным достоинством такого подхода к интерпретации данных является возможность восстановления параметров среды в режиме реального времени без привлечения для этого априорной информации (если реальные значения параметров среды не выходят за пределы выборки, используемой для получения статистического оператора решения обратной задачи). На этой основе разработан ряд методов и методик определения микрофизических характеристик аэрозоля. В частности:

– метод восстановления профилей коэффициентов аэрозольного обратного рассеяния на горизонтальных и наклонных трассах в атмосфере из результатов зондирования лазерно-локационными системами на основе YAG:Nd^{3+}-лазера, 355; 532 и 1064 нм [3].

– метод восстановления высотных профилей оптических и микрофизических параметров поствулканического стратосферного аэрозоля из результатов зондирования на длинах волн 355, 532 и 1064 нм [4].

– методы определения концентрации фонового атмосферного аэрозоля, основанные на измерении спектральных значений коэффициентов ослабления или коэффициентов обратного рассеяния (Патент BY 10845 C1, 2008), а также коэффициентов рассеяния под углами (Патент BY 10844 C1, 2008).

– метод оперативного мониторинга массовой концентрации и эффективного размера пылевых частиц в аспирационном воздухе и отходящих газах на цементных заводах [5].

– метод определения массовой концентрации респирабелных частиц аэрозоля в атмосфере из результатов лидарного зондирования на длинах волн YAG:Nd^{3+}-лазера (Патент BY 14094 C1, 2008),

– метоы определения массовых концентраций фракций атмосферного аэрозоля –$PM_{1,.0}$, $PM_{2,.5}$ и PM_{10} (Евразийский патент 026024 B1, 2014, 026528 B1, 2014).

– метод восстановления высотного профиля объемной концентрации мелкодисперсных фракций аэрозоля [6].

1. Кугейко М.М., Лысенко С.А. Лазерная спектронефелометрия аэродисперсных сред . Минск: БГУ, 2012: 208
2. Кугейко М.М. Теория и методы оптико–физической диагностики неоднородных рассеивающих сред. Минск: БГУ, 2003: 188
3. Лысенко С.А., Кугейко М.М. Регрессионный подход к анализу информативности и интерпретации данных аэрозольных оптических измерений. ЖПС. 2009. Т. 76, № 6. С. 876–883.
4. Лысенко С.А., Кугейко М.М. Восстановление оптических и микрофизических характеристик поствулканического стратосферного аэрозоля из результатов трехчастотного лидарного зондирования // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 24, № 4. – С. 308–318.
5. Кугейко М.М., Лысенко С.А. Определение интегральных микрофизических параметров многокомпонентных аэрозолей по данным зондирования атмосферы локационными системами на основе Nd:YAG–лазера. Оптика и спектроскопия. 2009. Т. 107, №1. – С. 166–172.
6. Лысенко С.А., Кугейко М.М. Методика определения концентрации респирабельной фракции атмосферного аэрозоля по данным трехчастотного лидарного зондирования. Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23, № 2.

С.149–155.

Автономная метеостанция АрктикМетео: новая модификация

В.А. Корольков, А.А. Кобзев, А.А. Тихомиров, А.Е. Тельминов

(Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, kor@imces.ru, kaa@imces.ru, tikhomirov@imces.ru,talexey@imces.ru)

Представлено описание новой модификации экспериментального образца автономной автоматической метеостанции (АМС) АрктикМетео, которая обеспечивает измерение метеорологических величин, входящих в основной перечень Росгидромета и ряд метеовеличин дополнительного перечня. Измерительная информация может передаваться по кабельному каналу, каналам сотовой и спутниковой связи. Автономность работы АМС (до одного года) обеспечивается комбинированной системой электропитания. Конфигурация АМС обеспечивает вандалозащищенность ее конструкции. Представлены результаты натурных испытаний.

Ключевые слова: автономная автоматизированная метеостанция, технические характеристики, конструкция, результаты испытаний

The description of the new prototype modification of the autonomous automatic weather station (AWS) ArcticMeteo is presented. The AWS provides measurement of meteorological values those included in the main list of Roshydromet and a number of meteorological values of the additional list. Measurement information can be transmitted via cable, cellular and satellite communication channels. The autonomy of the AWS operation (up to one year) is provided by a combined power supply system. The configuration of the AWC ensures vandal-proof of its design. The results of field tests are presented.

Keywords: autonomous automatic weather station, specification, construction, test results

Имеющиеся в настоящее время российские автоматические метеорологические станции (АМС), состоящие из датчиков отечественного производства, позволяют измерять лишь минимальный набор метеорологических величин и уступают по точности и надёжности иностранным аналогам. В ИМКЭС СО РАН завершена разработка и изготовление экспериментального образца АМС АрктикМетео, который предназначен для работы на удаленных и труднодоступных территориях со сложными климатическими условиями [1, 2].

Созданная АМС обеспечивает измерение метеорологических величин, входящих в основной перечень Росгидромета: температура воздуха (минус 60 ... +55 °С), скорость (0.1 ... 60 м/с) и направление ветра (0 ... 360 град), относительная влажность воздуха (15 ... 100 %), атмосферное давление (520 ... 800 мм рт. ст.), температура подстилающей поверхности (минус 60 ... +55 °С) и количество жидких атмосферных осадков (0 ... 500 мм). Кроме того, АМС измеряет ряд метеорологических величин дополнительного перечня: высота снежного покрова (2 ... 100 см), величина приходящей солнечной радиации (0,1 ... 1,6 кВт/м^2) и профиль температуры почвы (минус 50 ... +55 °С) на глубинах от 10 до 100 см с шагом 10 см.

В метеорологических датчиках использованы оптические, акустические и

электронные методы измерений. Комбинированная система электропитания включает аккумуляторные батареи, солнечные панели и генератор на топливных элементах (метанол). Измерительная информация может передаваться по кабельному каналу, каналам сотовой и спутниковой связи.

Существенное изменение представленной ранее конфигурации АМС [1, 2], было проведено на основе результатов ее обсуждения на конференциях. Все электронные системы АМС расположены в установочном модуле, который размещен на 4-х трубчатых стойках на высоте ~2 м от поверхности земли. На этой же высоте располагаются усиленные выносные кронштейны, на которых установлены метеорологические датчики. Ультразвуковой блок измерения параметров ветра размещен на мачте, на высоте 10 м. На вершине мачты установлена антенна системы спутниковой связи "Гонец".

В докладе представлено подробное описание новой конфигурации АМС АрктикМетео, приведены ее технические характеристики и результаты лабораторных и натурных испытаний в течение 2019-2020 гг.

Работа выполнена в рамках госзадания ИМКЭС СО РАН.

1 Корольков В.А., Кобзев А.А., Тельминов А.Е., Тихомиров А.А. Автоматическая метеостанция арктического исполнения АрктикМетео // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте: Труды XXVII Международной конференции (9-14 сент. 2019 г.). Краснодар: ФГБОУ ВО, "КубГТУ", 2019. С. 119-121.

2 Korolkov V.A., Bogushevich A.Ya., Kalchikhin V.V., Kobzev A.A., Kurakov S.A., Pustovalov K.N., Telminov A.E., Tikhomirov A.A., Petrov D.V. Experimental prototype of automatic weather station ArcticMeteo // Proc. of SPIE. 2020. V. 11560. 1156058. doi: 10.1117/12.2575822.

Применение лазерного дисдрометра для измерения характеристик выпадающих атмосферных осадков в критических метеоусловиях

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

(Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, vvk@imces.ru, kaa@imces.ru, tikhomirov@imces.ru, dmitrii.04101995@gmail.com)

Представлены результаты измерений атмосферных осадков (дождя и града), выполненных с помощью лазерного дисдрометра ОПТИОС 26 мая 2020 г. при сильном порывистым ветре и интенсивной грозовой деятельности. Проведен сравнительный анализ полученных интегральных и микроструктурных характеристик осадков. Сделан

вывод о высокой надежности используемого прибора и возможности его применения для измерений в критических метеоусловиях.
Ключевые слова: лазерный дисдрометр, структурные и интегральные характеристики дождя и града
The results of measurements made with the laser disdrometer OPTIOS for May 26, 2020 are presented. The results include the characteristics of atmospheric precipitation (rain and hail) accompanied by a strong gusty wind and intense thunderstorm activity. Comparative analysis of the obtained integral and microstructural characteristics of precipitations has been carried out. The conclusion is made about the high reliability of the used device and the possibility of its application for measurements in storm conditions.
Keywords: laser disdrometer, structural and integral characteristics of rain and hail

Исследование влияния атмосферных осадков, выпадающих в разных видах и с разной интенсивностью, на процессы жизнедеятельности человека требует наличия приборов, способных измерять не только интегральные характеристики осадков, но и получать данные об их микроструктурных параметрах. Однако, необходимо учитывать, что жидкие осадки высокой интенсивности часто сопровождаются такими неблагоприятными метеорологическими явлениями как сильный порывистый ветер, грозы и т.п.

Разработанный в ИМКЭС СО РАН лазерный дисдрометр (ЛД) ОПТИОС [1] с мая по ноябрь 2020 года проходил натурные испытания на метеоплощадке Геофизической обсерватории (ГО) ИМКЭС СО РАН. В течение суток 26 мая в Томске наблюдались осадки в виде сильных ливней с интенсивностью до 100 мм/ч, дождя и града, сопровождаемые интенсивной грозовой деятельностью и сильным ветром с порывами до 25 м/с, что превышает критерии опасных метеорологических явлений [2]. Общее количество выпавших осадков составило 24,5 мм, что согласуется с количеством 25,5 мм, полученным с помощью осадкомера О-1, также расположенного на метеоплощадке ГО.

В ходе измерений наблюдался «эффект опережения», который проявлялся увеличением среднего размера капель в начальный период выпадения. Распределение частиц осадков по размерам для сильного ливня и слабого дождя, как и ожидалось согласно [3], представляет одновершинную кривую с максимумом в области значений диаметров 0,5–1,5 мм. При этом в случае ливня заметно существенное увеличение доли крупных размеров капель.

Наблюдалась разница размеров градин (20 мм) в центре Томска и районе ГО (сравнимыми с размерами крупных капель дождя). Данное явление объясняются узкой полосой градовой зоны, и размер градин может сильно изменяться по трассе выпадения града [4]. Микроструктурные характеристики капель дождя совместно с градинами такого же размера очень мало отличаются

от характеристик обычного дождя, что усложняет задачу автоматического определения такого вида осадков, однако характеристикой, определяющей момент появления градин среди капель воды, является повышение средней скорости падения града, в сравнении с каплями воды того же размера [3].

Проведенные измерения характеристик осадков высокой интенсивности, сопровождаемых грозами и сильным порывистым ветром, продемонстрировали высокую надежность ЛД ОПТИОС и возможность его применения для исследований любого уровня в критических метеоусловиях.

1 Кальчихин В.В., Кобзев А.А. Корольков В.А., Тихомиров А.А. Определение вида атмосферных осадков по результатам оптических измерений их микроструктурных характеристик. // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 8. С. 654-657.
2 РД 52.27.724–2019. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. М.: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019. 72 с.
3 Литвинов И.В. Структура атмосферных осадков. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 154 с.
4 Женев Р. Град. Л.: Гидрометеоиздат. 1966. 106 с.

Лидарная система дифференциального ослабления и рассеяния для исследования аэрозольных потоков в видимой и ближней ИК области

[1]Е.И. Веденин, [1]С.В. Половченко, [1]И.А. Сарычев, [1]П.И. Сарычев,

[1]П.В. Чартий, [2]Ю.В. Чербачи

([1]Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, [2]Филиал Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова в г.Новороссийске, E-mail: *pvc-60@yandex.ru*)

В работе предложена автоматизированная многоволновая лидарная система для исследования зависимости лидарных сигналов от концентрации частиц и их распределения по размерам для зондируемого аэрозоля в видимой и ближней ИК области. Выполнены экспериментальные исследования зависимости лидарных сигналов от параметров функции распределения аэрозольных частиц по размерам и получены их корреляционные зависимости.

Ключевые слова: лидарная система, дифференциальное ослабление и рассеяние, аэрозольные частицы, концентрация, распределение частиц по размерам

This paper proposes the controlled multi-wave lidar system for the lidar signals dependence on the aerosol particles concentration and their size distribution studying in the visible and near infrared region. Experimental studies of the lidar signal dependence on the aerosol particle size distribution function parameters have been carried out and their correlation relationships were obtained.

Keywords: lidar system, differential extinction and scattering, aerosol particles, concentration, particle size distribution

Для измерения параметров аэрозольных потоков была разработана лидарная система на основе метода дифференциального ослабления на трех длинах волн. Этот метод дифференциального ослабления основан на решении обратной задачи [1]. Физическая модель метода основана на взаимодействии монохроматического излучения с полидисперсной средой по теории Ми [2] и сохранения инвариантности усредненного фактора эффективности ослабления относительно вида функции распределения частиц по размерам [1, 3].

Средний объемно-поверхностный диаметр аэрозольных частиц d_{32} определяется путем измерения оптической плотности исследуемого аэрозоля на нескольких длинах волн и вычисления усредненных факторов эффективности ослабления для этих длин волн. Отношение измеренных оптических плотностей на двух длинах волн равно отношению рассчитанных усредненных факторов эффективности ослабления и выражает функцию среднего размера частиц [1]:

$$\frac{\tau_{\lambda_i}}{\tau_{\lambda_j}} = \frac{\overline{Q}(x, \lambda_i, m)}{\overline{Q}\left(x, \lambda_j, m\right)} = F_{ij}(d_{32}) \qquad (6)$$

Диапазон измерений средних размеров частиц определяется длинами волн зондирующего излучения.

Для решения задачи восстановления функции распределения аэрозольных частиц по размерам и измерения их концентрации разработана экспериментальная лазерная система на основе моностатического лидара дифференциального ослабления и рассеяния Ми. Через поток аэрозоля, сформированный при импульсной инжекции на выходе газохода и проходящий перпендикулярно лазерному лучу, пропускались три луча лазеров с длинами волн 405, 650 и 1064 нм, которые в схеме дифференциального ослабления направлялись на один фотоприемник ослабления со своей схемой обработки сигнала. Измеренные сигналы ослабления позволяют рассчитать средний объемно-поверхностный диаметр аэрозольных частиц цемента. Сигналы с

выхода фотоприемника регистрировались системой сбора данных, работающей на линии с ПК. Система сбора данных включает в себя блок формирования, регистрации и обработки сигналов, состоящий из измерительных и опорных синхронных детекторов, усилителя мощности и генератора импульсов [3, 4], работающих на частотах 5 -· 10^3 Гц. Часть прошедшего через светоделители лазерного излучения поступает на опорные фотоприемники, а основная часть излучения проходит сквозь аэрозольный поток, при этом ослабляется и поступает на фотоприёмник ослабления. Экспериментально измеренным этой лидарной системой отношениям $\frac{\tau_{\lambda i}}{\tau_{\lambda j}}$. сопоставлено рассчитанные отношения $\frac{\overline{Q}(\lambda_i)}{\overline{Q}(\lambda j)}$ На рис.1 в качестве примера приведены это графики для длин волн лазерного излучения 405 и 650 нм.

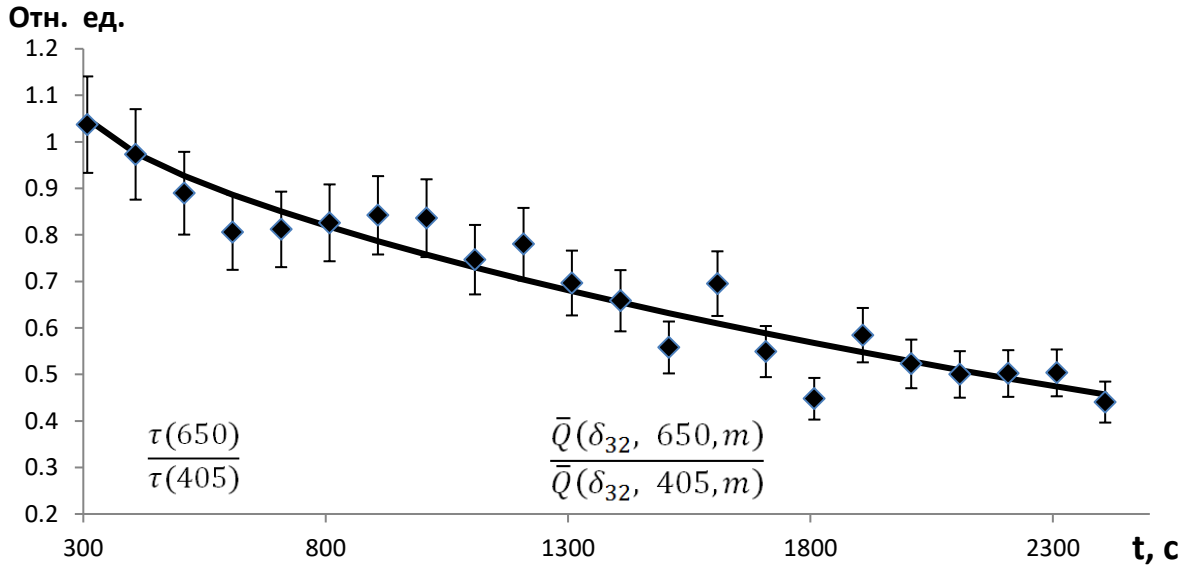

Рис.1. Графики зависимости отношения $\frac{\bar{Q}(\delta_{32},650,m)}{\bar{Q}(\delta_{32},405,m)}$ и $\frac{\tau_{650}}{\tau_{405}}$ от времени после импульсной инжекции

По этому графику на рис. 1 видно, что расчетное отношение $\overline{Q}_{\lambda i}/\overline{Q}_{\lambda j}$ и экспериментальное отношение $\tau_{\lambda i}/\tau_{\lambda j}$ совпадают в пределах экспериментальной погрешности. По измеренному отношению оптических плотностей $\tau_{\lambda i}/\tau_{\lambda j}$

находим отношение усредненных факторов эффективности ослабления $\overline{Q}_{\lambda i}/\overline{Q}_{\lambda j}$ и определяем величину d_{32}.

Таким образом, разработанная экспериментальная лидарная система позволяет измерять в реальном времени сигналы ослабления лазерного излучения и рассчитывать по измеренным сигналам ослабления достоверные значения массовой концентрации и среднего объемно-поверхностного диаметра частиц с достаточной точностью. По измеренному среднему объемно-поверхностному диаметру возможно восстанавливать функцию распределения частиц по размерам для аэрозоля [3, 4], аппроксимируя полученные функции распределения частиц логарифмически-нормальным законом с максимумом распределения и его полушириной, которые линейно зависят от d_{32}.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ, проект 19-42-230004 и проект 19-45-230009

1. Архипов В.А., Ахмадеев И.Р., Бондарчук С.С. и др. Модифицированный метод спектральной прозрачности измерения дисперсности аэрозолей. //Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 1. С. 48-52.
2. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М.: Мир, 1986. 660 с.
3. Половченко С.В., Привалов В.Е., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Восстановление функции распределения частиц по размерам на основе данных многоволнового лазерного зондирования. // Оптический журнал. 2016. Т.83. №5. С. 43-49.
4. Чартий П.В., Шеманин В.Г., Веденин Е.И., Половченко С.В. Функции распределения частиц по размерам при различных режимах работы пылеулавливающего оборудования. //Безопасность в техносфере. 2016. Т.5. № 1(58). С.41-47.

Лидарное зондирование молекул предельных углеводородов в атмосфере по спектрам комбинационного рассеяния света

[1]Э.К. Аблязов, [2]А.О. Васильев, [2]Э.И.Воронина, [2,3]В.Г. Шеманин

([1]Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353918, Новороссийск, [2]Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, 353900, Новороссийск, [3]Филиал Белгородского государственного технологического

университета имени В.Г. Шухова в Новороссийске, 353919, Новороссийск, Россия, e-mail: vshemanin@mail.ru)

Выполнена оценка возможности измерения концентрации молекул алканов – метана, этана, пропана, бутана, пентана и гексана - на уровне ПДК и выше (в диапазоне от 4 10^{14} до 10^{17} $см^{-3}$) лидаром комбинационного рассеяния света в атмосфере на высотах до 1500 м в режиме синхронного счета фотонов для выбора оптимальных параметров лидара комбинационного рассеяния света. Показано, что всех исследованных молекул в атмосфере с использованием лазерного излучения на длине волны 532 нм можно зарегистрировать концентрацию на уровне ПДК для метана во всем рассмотренном диапазоне расстояний до 1500 м, а для гексана - до 185 м за время измерения 10 с.

Ключевые слова: лидар комбинационного рассеяния света, молекула, концентрация, расстояние зондирования, длина волны лазерного излучения

The possibility estimation of the concentration measurement of the alkanes molecules - methane, ethane, propane, butane, pentane and hexane - at the LPL level and higher (in the concentration range from 4 10^{14} to 10^{17} cm^{-3}) by the Raman lidar in the atmosphere at the heights up to 1500 m in the synchronous photon counting mode for the selection of the Raman lidar optimal parameters. It has been shown that for all of the studied molecules in the atmosphere using the 532 nm wavelength laser radiation and it is possible to detect the concentration at the LPL level for methane over the whole ranging distances up to 1500 m and for hexane - up to 185 m for the 10 s measurement time.

Key words: Raman lidar, molecule, concentration, ranging distance, laser radiation wavelength

Загрязнение атмосферного пограничного слоя молекулами предельных углеводородов или алканов представляет большую проблему в связи с их широким распространением, особенно над предприятиями нефтегазовой отрасли [1]. Разработка новых дистанционных методов измерения концентрации молекул алканов с уровнем концентраций порядка предельно-допустимой (ПДК) [1, 2] и выше в атмосфере на базе лидара комбинационного рассеяния света требует выбора оптимальных параметров и оптической схемы такого лидара. По результатам теоретического анализа методов лазерного зондирования молекул углеводородов в атмосфере в [1, 3, 4] было получено, что лидар комбинационного рассеяния света может использоваться для дистанционного измерения концентрации молекул на уровне десятков и сотен ПДК. Поэтому представляет интерес теоретическая оценка возможности измерений таким лидаром комбинационного рассеяния света концентрации молекул алканов – метана, этана, пропана, бутана, пентана и гексана - на уровне ПДК и выше в атмосферном пограничном слое на высотах до 1500 м в режиме синхронного счета фотонов и выбор оптимальных и параметров лидара

комбинационного рассеяния света

Оптическая схема такого варианта лидара комбинационного рассеяния света построена по биаксиальной схеме как и в [1, 3, 4]. Числа фотонов *n(v,z)* излучения комбинационного рассеяния света исследуемыми молекулами алканов с концентрацией *N(z)* на фотоприемнике лидара можно получить из лидарного уравнения в направлении назад в режиме счета фотонов в виде [5-7]. Значения дифференциальных сечений комбинационного рассеяния света для всех молекул ($d\sigma/d\Omega$) и для выбранных длин волн лазерного излучения 405, 532, 650 и 785 нм были определены по результатам [4 - 6] для молекулы бутана и длины волны 532 нм лазерного излучения. Было выполнено компьютерное моделирование лидарного уравнения для времени измерения t_d=10 с в нашей экспериментальной ситуации. Получено, что на расстояниях зондирования до 1500 м метан можно зондировать во всем диапазоне расстояний, то гексан только до 185 м за время измерении 10 с. Чтобы зондировать гексан с концентрацией на уровне ПДК время измерения надо увеличить до 660 с или 11 мин, что не всегда возможно в конкретных экспериментальных условиях, как это отмечалось ранее в [1, 4].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ, проекты № 19-42-230004 и №19-45-230009

1 Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. С-Пб.: Изд. Лань, 2013. 288 с.
2 Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.3492-17 (с изменениями на 31 мая 2018 года). Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений.
3 Ablyazov E. K., Privalov V. E., Shemanin V. G. The hydrocarbon molecules remote sensing by the lidar with diode lasers. //Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2010. V.19. No.2. P. 201-205
4 Привалов В. Е., Шеманин В.Г. Измерение концентрации молекул углеводородов методом комбинационного рассеяния света. //Измерительная техника. 2016. № 9. С.22 – 25
5 Привалов В. Е., Шеманин В.Г. Дистанционное лазерное зондирование углеводородов в атмосфере. //Письма в ЖТФ. 2001. Т.27. №21. С.71-75
6 Привалов В. Е., Шеманин В.Г. Лидарное уравнение с учетом конечной

ширины линии генерации лазера. // Известия РАН. Серия физическая. 2015, Т.79. Вып, 2, С. 170-180
7 Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987. 550 с.

Лидарные и спутниковые измерения вертикального распределения озона над Томском: пространственное разрешение и погрешность восстановления

А.А. Невзоров, С.И. Долгий, А.В. Невзоров, Ю.В. Гриднев,

С.Н. Кравцова, Я.Р. Романовский, О.А. Романовский

(Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева, Томск, naa@iao.ru)

На Сибирской лидарной станции продолжаются долговременные измерения вертикального распределения озона на парах длин волн зондирования 299 и 341 нм, 308 и 353 нм в верхней тропосфере – стратосфере. В докладе представлена сформированная за последние годы квазитрехлетняя сезонная модель вертикальных профилей озона, полученная с помощью лидарного комплекса дифференциального поглощения Сибирской лидарной станции и спутников Aura, MetOp, Suomi. Проведен анализ и оценка влияния разного пространственного разрешения (от 10 м до 100 м) на погрешность восстановленных профилей озона по лидарным и спутниковым измерениям 2021 г.

Ключевые слова: озон, лазерное зондирование, лидар, MetOp, Aura

At the Siberian lidar station, long-term measurements of the vertical ozone distribution are continued at sounding wavelength pairs of 299 and 341 nm, 308 and 353 nm in the upper troposphere - stratosphere. The report presents a quasi-three-year seasonal model of vertical ozone profiles formed in recent years, obtained using the differential absorption lidar complex of the Siberian lidar station and the Aura, MetOp satellites. An analysis and estimation of how different spatial resolutions (from 10 m to 100 m) influence the error of retrieving ozone profile from lidar and satellite measurements in 2021 was conducted.

Keywords: ozone, laser sensing, lidar, MetOp, Aura

В рамках долговременного мониторинга (2017–2021 гг.) на Сибирской лидарной станции проведено более 350 измерений вертикального распределения озона (ВРО) стратосферы и верхней тропосферы – стратосферы. На основе отобранных многолетних спутниковых (Aura, MetOp, Suomi) и лидарных измерений вертикального распределения озона и температуры сформирована квазитрехлетняя модель ВРО, которая показывает характерную для Западной Сибири сезонную вариативность, разделенную на два периода: «лето-осень» (май-октябрь), зима-весна (ноябрь-апрель).

Для проверки полученных профилей озона и для сопоставления спутниковых и лидарных данных друг с другом важно учитывать вертикальное

распределение погрешности.

Погрешность восстановления ВРО из лидарных измерений рассчитывается по следующей формуле [1]:

$$E_{sum}^2 = e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + e_4^2$$

где e_1 – погрешность сечения поглощения, e_2 – среднеквадратическая погрешность лидарного измерения в режиме счета фотонов, e_3 – погрешность восстановления отношения рассеяния, e_4 – погрешность профиля температуры. Реальные вариации температуры в атмосфере могут вызвать существенные изменения в априорном расчете коэффициента поглощения озона, что приводит к систематическим погрешностям восстановления ВРО. Поэтому в восстановлении ВРО целесообразно проводить коррекцию на температурную зависимость с применением спутниковых метеоданных Aura и MetOp, Suomi. Погрешности сечения поглощения получена из работы [2] и соответствует ~3 %. Погрешность профиля температуры взята из метеоданных спутниковых (Aura и MetOp, Suomi) измерений, которая находится, как правило, в пределах ~2 %.

С повышением пространственного разрешения лидарных измерений замечен рост стандартной погрешности, в особенности для примера 17.03.2021 с пространственным разрешением 40 м погрешность достигает величины ~30 % в верхней тропосфере - нижней стратосфере, в отличие от 12.02.2021 с 80 м, где погрешность восстановления не превышала 14 %. В стратосферных измерениях с увеличением пространственного разрешения имеется небольшой рост в 0.5–1 %.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (МК-2040.2021.1.5).

1. Dolgii S.I., Nevzorov A.A., Nevzorov A.V., Romanovskii O.A., Kharchenko O.V. Comparison of ozone vertical profiles in the upper troposphere–stratosphere measured over Tomsk, Russia (56.5° N, 85.0° E) with DIAL, MLS, and IASI // International Journal of Remote Sensing. 2020. V. 41. № 22. P. 8590–8609.
2. Serdyuchenko A., Gorshelev V., Weber M., Chehade W., and Burrows J. P.High spectral resolution ozone absorption cross-sections – Part 2: Temperature

dependence // Atmos. Meas. Tech. 2014. V. 7. issue. 2. P. 625–636.

Сравнение интерферометров разных типов при построении разнесенной системы регистрации глобальных геофизических явлений

Д.В Александров[1], М.Н. Дубров[1], И.А. Ларионов[2]

([1]Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, e-mail: dmitry@aleksandrow.ru, [2]Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН)

Приводятся результаты уникальных экспериментов по синхронной регистрации сейсмо-деформационных колебаний земной поверхности лазерными интерферометрами-деформографами, разнесенными на расстояние 6740 км. Использованная методика и полученные результаты являются оригинальными и впервые получены согласно современным публикациям. Стабилизированные по частоте и терморегулируемые лазеры, используемые в схемах деформографов в качестве источников излучения, а также системы регистрации типов компенсации и модуляции, применяемые для измерения сдвигов интерферограмм, обеспечивают абсолютное инструментальное разрешение 0.1-0.01 нм на базе интерферометров 18-100 м.

Ключевые слова: интерферометр-деформограф, лазер, землетрясения

The results of unique experiments on synchronous recording of seismic-deformation vibrations of the earth's surface by laser interferometers-strainmeters spaced at a distance of 6740 km are presented. The technique used and the results obtained are original and were first obtained according to modern publications. Frequency-stabilized and temperature-controlled lasers used in strainmeter circuits as radiation sources, as well as systems for recording the types of compensation and modulation used to measure interferogram shifts, provide an absolute instrumental resolution of 0.1-0.01 nm. based on interferometers 18-100 m.

Keywords: interferometer-strainmeter, laser, earthquakes

В работе приводятся результаты уникальных экспериментов по синхронной регистрации сейсмо-деформационных колебаний земной поверхности лазерными интерферометрами-деформографами, разнесенными на расстояние 6740 км. Два лазерных деформографа во Фрязино [1] построены по схеме интерферометров Майкельсона: 1) равноплечий интерферометр, длина каждого измерительного плеча около 100 м и 2) неравноплечий (несимметричный) интерферометр - длина измерительного плеча 100 м, опорного - около 10 см. Расстояние между интерферометрами-деформографами 400 м. Лазерный деформограф в пункте наблюдения Карымшина на Камчатке - модифицированный неравноплечий интерферометр Майкельсона с длиной

измерительного плеча 18 м [2]. В качестве источников излучения в деформографах используются частотно-стабилизированные и термоуправляемые лазеры с длиной волны 633 нм. Для измерения сдвигов интерферограммы применяются системы регистрации компенсационного и модуляционного типов, обеспечивающие абсолютное инструментальное разрешение 0,1-0,01 нм. Приводятся результаты спектрального и корреляционного анализа данных, полученных в 2016-2020 гг. во время сеансов синхронной работы всех трех инструментов. Выполнено сопоставление полученных результатов с региональной и глобальной сейсмической, вулканической активностью, циклонами и ионосферными возмущениями. Показано, на примерах регистрации дистанционных сигналов землетрясений с магнитудой 7.7-8.2, что разрабатываемая методика может быть эффективной для обнаружения и идентификации предвестников крупных сейсмических событий и других опасных природных явлений.

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования в рамках государственного задания по теме 0030-2019-0014.

1. M. N. Dubrov and R. F. Matveev.// J. Commun. Technol. Electron. 1998. V.43. No.9. P.1068-1073
2. I. A. Larionov, Y. V. Marapulets and B. M. Shevtsov, Solid Earth. 2014. 5., P.1293–1300

Исследование прозрачности атмосферы в видимой области спектра

Ю.В.Чербачи, В. Г. Шеманин

(Филиал Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова в Новороссийске, Новороссийск, Россия, ycherbachi@bk.ru)

Учет зависимости прозрачности атмосферы на выбранных длинах волн и погрешности измерения коэффициента ослабления на этих длинах волн приводит к относительной погрешности измерения лидарного сигнала в 25% при зондировании на длине волны лазерного излучения 532 нм на расстояния до 1000 м, на длине волны 355 нм - 750 м и на длине волны 1064 нм - 1200 м.
Ключевые слова: аэрозольный лидар, лидарное уравнение, рассеяние Ми, прозрачности атмосферы, погрешность.

Taking into account the dependence of the atmospheric transmission at the selected wavelengths and the measurement error of the attenuation coefficient at these wavelengths leads to a relative measurement error of the lidar signal of 25% when probing at a laser radiation wavelength of 532 nm at distances up to 1000 m, at a wavelength of 355 nm - 750 m and at a wavelength of 1064 nm - 1200 m.
Keywords: aerosol lidar, lidar equation, Mie backscattering, atmospheric transmission, error

Земная атмосфера прозрачна почти полностью для падающего извне излучения лишь в двух сравнительно узких окнах: оптическом - в диапазоне длин волн λ от 0.3 мкм до 1.5-2 мкм (область до 8 мкм состоит из ряда узких полос пропускания) и в радиодиапазоне - для волн длиной от 1 мм до 15-30 м. Непрозрачность атмосферы для всех других длин волн определяется поглощением и рассеянием излучения на молекулах и атомах, а также отражением радиоволн от электронов ионосферы.

Для измерения параметров атмосферного аэрозоля широко используются различные лазерные системы [1, 2] как аэрозольного рассеяния, так и дифференциального ослабления в слое атмосферы, позволяющие исследовать зависимости микрофизических параметров аэрозоля от сигналов рассеяния и ослабления лазерного излучения на различных длинах волн. В предыдущих работах [3, 4] было рассмотрено лидарное уравнение для рассеяния Ми аэрозольными частицами в направлении назад, полагая, что влияние пропускания атмосферы на погрешность результатов зондирования незначительно. Тем не менее, оказалось, что использование широкополосных лазерных источников в лидарах дифференциального поглощения и рассеяния в [5, 6] требует учета такого влияния на результаты зондирования.

Для этого было выполнено численное моделирование спектральной зависимости пропускания атмосферы и зависимости мощности рассеяния Ми аэрозолем назад для оценки погрешности лидарных измерений. Относительная погрешность измерения мощности рассеянного назад излучения Ми будет главным образом определяться погрешностями измерения пропускания атмосферы и коэффициента обратного рассеяния, как и в [6]. Получено, что для случая однократного рассеяния и однородной атмосферы значение этой

мощности будет максимальным и будет определяться только спектральной зависимостью пропускания слоя атмосферы до области зондирования для одинаковой пиковой мощности лазера.

Работа была частично поддержана грантами РФФИ, проект No. 19-42-230004 и проект No. 19-45-230009.

1. LIDAR: range-resolved optical remote sensing of the atmosphere / Ed. Weitkamp C. NewYork: Springer Science+Business Media, Inc. 2005.
2. Лазеры. Применения и приложения. /Под ред. А.С. Борейшо. СПб.: Лань, 2016.
3. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Параметры лидаров для дистанционного зондирования газовых молекул и аэрозоля в атмосфере. С.- Пб. Балтийский ГТУ «ВОЕНМЕХ». 2001.
4. Privalov V.E., Shemanin V.G. Measurement of the Power of Elastic Scattering of Atmospheric Aerosol by a Physical Lidar. // Measurement Techniques. 2014. V. 57. No.4. P. 396–400. https://doi.org/10.1007/s11018-014-0467-3
5. Долгих Г.И., Привалов В.Е. Лазеры. Лазерные системы. Владивосток: Изд. Дальнаука. 2009.
6. Маричев В.Н., Бочковский Д.А. Исследование возможностей лидарных измерений температуры атмосферы Земли из космоса. //Оптика атмосферы и океана. 2014. Т.27. №5. С. 399-406.

Проблема выбора источника данных о вертикальных профилях метеорологических величин для интерпретации данных лидарных исследований облаков верхнего яруса

И.Д. Брюханов[1,2], К.Н. Пустовалов[1,3], Е.В. Ни[1], О.Ю. Локтюшин,[1]*

И.В. Животенюк[1], А.А. Дорошкевич[1], И.В. Самохвалов[1],

О.И. Кучинская[1], Ю.С. Бордулев[1], М.С. Пензин[1]

([1]Национальный исследовательский Томский государственный университет; [2]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН; [3]Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск; [*]plyton@mail.tsu.ru)

Для интерпретации данных лидарных исследований облаков верхнего яруса необходима информация о вертикальных профилях метеорологических величин с достаточным пространственно-временным разрешением. В докладе рассмотрен реанализ ERA5: он сопоставлен с аэрологическими данными и сделаны оценки возможности его использования качестве альтернативного источника метеоданных.

Ключевые слова: облака верхнего яруса, поляризационный лидар, матрица обратного

рассеяния света, радиозонд, реанализ
Interpretation of the data of lidar studies of high-level clouds requires the information on the vertical profiles of meteorological quantities with a sufficient spatial and temporal resolution. The present report considers the reanalysis of ERA5: it is compared with aerological data and the possibility of its use as an alternative source of meteorological data is estimated.
Keywords: high-level clouds, polarization lidar, backscattering matrix, radiosonde, reanalysis

Достоверность краткосрочных прогнозов погоды важна при решении задач сельского хозяйства, энергетики, строительства и ряда других сфер деятельности человека. Несовершенство современных моделей, используемых при составлении таких прогнозов, вызвано, прежде всего, малой или неудовлетворительной изученностью ряда атмосферных процессов и явлений, что приводит к их грубому учёту при расчётах или вовсе к его отсутствию.

Влияние облаков верхнего яруса (ОВЯ) на потоки лучистой энергии в атмосфере – один из климатообразующих факторов – общепризнано [1–3]. Тем не менее, их микроструктура (форма, размеры и ориентация ледяных частиц в них) отражается в моделях атмосферы упрощённо. Как правило, используется понятие «эффективного радиуса» частиц, основанное на равенстве одного из их свойств с таковым у некоторой модельной сферы [3]. Это упрощение позволяет использовать теорию Ми при расчёте характеристик ОВЯ, но, вероятно, весьма грубо и влечёт ошибки синоптических и климатических прогнозов.

Сложившаяся ситуация вызвана дороговизной и сложностью экспериментальных и теоретических исследований таких облаков. Вместе с тем, не существует сертифицированных инструментов для определения пространственной ориентации таких частиц. Однако, её оценка, как и других параметров микроструктуры ОВЯ, возможна при использовании поляризационного лидара, обеспечивающего экспериментальное определение матрицы обратного рассеяния света (МОРС) облака. Высотный поляризационный лидар Томского госуниверситета [4] – единственный, реализующий все измерения, необходимые для получения полной МОРС.

Для интерпретации результатов лазерного поляризационного зондирования ОВЯ необходима информация о вертикальных профилях

метеорологических величин над точкой стояния лидара. Наиболее надежным их источником являются аэрологические измерения. Ближайшая к Томску такая станция находится в 200–300 км от него. Радиозонды запускаются несколько раз в сутки, что недостаточно для исследований облаков. В поисках альтернативного источника метеоданных в докладе реанализ ERA5 сопоставлен с аэрологическими данными. Оценены точность и высоты надёжного восстановления температуры и относительной влажности воздуха, а также направления и скорости ветра над заданной точкой земной поверхности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, Грант № 21-72-10089.

1. Liou K.N. // J. Geophys. Res. 1986. V. 103. P. 1799–1805.
2. Wylie D.P., Menzel W.P., Woolf H.M., et al. // J. Clim. 1994. V. 7. P. 1972–1986.
3. Дмитриева-Арраго Л.Р., Трубина М.А., Толстых М.А. // Труды Гидрометцентра России. 2017. № 363. С. 19–34.
4. Самохвалов И.В., Кауль Б.В., Насонов С.В. и др. // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 5. С. 403–411.

Механизм прогнозирования оптических и геометрических характеристик облаков верхнего яруса на основе лидарных и метеорологических данных

Е.В. Ни[1], О.И. Кучинская[1**], М.С. Пензин[1], Ю.С. Бордулев[1],*

И.Д. Брюханов[1,2], А.А. Дорошкевич[1], И.В. Самохвалов[1],

([1]Национальный исследовательский Томский государственный университет;
[2]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск;
*wolf.ni@yandex.ru, **okuchin@cern.ch)

Облака верхнего яруса являются важным фактором, влияющим на формирование климата. Обсуждается возможность прогнозирования их оптических и геометрических характеристик в зависимости от метеорологических условий. Предложена обработка многолетнего (более 10 лет) массива экспериментальных данных по поляризационному лазерному зондированию с использованием методов машинного обучения.
Ключевые слова: лазерное зондирование, поляризационный лидар, облака верхнего яруса, метеорологические величины, машинное обучение, нейронные сети
High-level clouds are an important factor affecting the climate formation climate. The possibility of predicting their optical and geometric characteristics depending on the meteorological conditions is discussed. Processing of the long-term (more than 10 years) array of experimental data on polarization laser sensing using machine learning methods is proposed.

Keywords: laser sensing, polarization lidar, high-level clouds, meteorological quantities, machine learning, neural networks

В современных условиях требования к достоверности прогнозов погоды и климата растут. Её повышение требует расширения и углубления понимания процессов и явлений атмосферы, её состава и свойств. Облака верхнего яруса (ОВЯ) состоят, в основном, из частиц льда, чьи характеристики определяют влияние таких облаков на распространение оптического излучения. ОВЯ покрывают до 50% [1] земной поверхности. Тем не менее, их микрофизические свойства отражаются в моделях атмосферы весьма грубо [2]. Причин тому несколько. Так, экспериментальные исследования ОВЯ трудоёмки и дорогостоящи. Средств контактного определения пространственной ориентации частиц в облаках нет, поскольку она нарушается при заборе проб. Теоретическое описание взаимодействия оптического излучения с несферическими ледяными частицами – сложная, многокомпонентная задача.

Современные приборы и методы обработки экспериментальных данных приближают создание инструментов, позволяющих адекватно связать характеристики ОВЯ с метеорологическими условиями и прогнозировать микроструктуру формирующихся облаков. Устранить пробел в невозможности контактного определения ориентации частиц в них позволяет поляризационный лидар Томского госуниверситета [3], обеспечивающий её оценку наряду с другими параметрами (форма и размеры ледяных частиц) микроструктуры. В докладе обсуждается возможность применения методов машинного обучения (МО) для обработки лидарных и метеорологических данных и установления взаимосвязей метеорологических величин с характеристиками ОВЯ. Нейронные сети обладают способностью в ряду квазициклических данных учитывать скрытые периодичности и строить алгоритмы обработки информации (обучаться на примерах и «узнавать» в потоке «зашумленной» и противоречивой информации характер ранее встреченных образов и ситуаций), что исключительно важно при прогнозировании количественных и качественных характеристик атмосферы, обусловленных региональными,

природными, антропогенными и климатическими особенностями территории.

Важным компонентом применимости инструментов МО, в особенности нейронных сетей, в задачах зондирования атмосферы является наличие значительного массива промаркированных данных (структурированные данные формата, приемлемого для обучения алгоритма). Создание маркированной базы лидарных и метеорологических данных позволит учесть микрофизические свойства ОВЯ в радиационных моделях атмосферы и повысить точность прогнозов погоды и климата.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 21-72-10089.

1. Heymsfield A.J., Kramer M., Luebke A., et al. // Meteor. Monogr., 2017. V. 58; doi: 10.1175/amsmonographs-d-16-0010.1.
2. Дмитриева-Арраго Л.Р., Трубина М.А., Толстых М.А. // Труды Гидрометцентра России. 2017. № 363. С. 19–34.
3. Самохвалов И.В., Кауль Б.В., Насонов С.В. и др. // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 5. С. 403–411.

Измерение среднего объемно-поверхностного диаметра частиц при осуществлении автоматизированного непрерывного контроля аэрозольных выбросов цементного производства

Е.И. Веденин, В.В.Дьяченко, Е.Ю. Закалова, П.В. Чартий

(Новороссийский политехнический институт КубГТУ, Новороссийск, svetokdojdei@mail.ru)

В соответствие с действующим природоохранным законодательством предприятия по производству цемента обязаны осуществлять непрерывный автоматический контроль выбросов загрязняющих веществ, в перечень которых входят взвешенные частицы. Осуществлять контроль взвешенных частиц возможно лазерными системами на основе метода дифференциального ослабления, которые имеют ряд преимуществ в сравнении с системами на основе других существующих методов. Такой метод позволяет определять сверхнормативные аэрозольные выбросы в результате отказов пылегазоочистного оборудования на ранних этапах их формирования, более точно рассчитывать рассеивание взвешенных частиц в атмосфере, что приводит к сокращению загрязнения окружающей среды и уменьшению экономических потерь в сравнении с другими известными системами.

Ключевые слова: лазерная система, взвешенные частицы, автоматические измерительные системы, средний объемно-поверхностный диаметр, массовая концентрация

According to current environmental legislation cement plants must to perform pollutants emissions continuous automatic control, among which there are suspended particles. There is possible to perform suspended particles control by laser systems based on differential attenuation method, that has many advantages comparing with systems based on other existing methods. This method allow to determine the excessive particulate emissions as a result of the powder-gas cleaning equipment failure at their forming early stages, more accurately count

dispersion of suspended particles in the atmosphere, that leads to reduction environmental pollution and decrease economical losses comparing with other known systems.
Key words: laser system, suspended particles, automatic measuring systems, middle volume to surface diameter, mass concentration

Согласно существующему природоохранному законодательству юридические лица, которые осуществляют деятельность на объектах I категории негативного воздействия на окружающую среду (далее НВОС), обязаны оснастить стационарные источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух средствами автоматического контроля. К объектам первой категории относятся предприятия по производству цементного клинкера во вращающихся печах или в других печах (с проектной мощностью 500 тонн в сутки и более).

Одним из наиболее предпочтительных вариантов средств автоматического контроля стационарных источников выбросов являются лазерные системы на основе дифференциального ослабления, которые имеют преимущества перед системами контроля взвешенных частиц других типов и позволяют контролировать аэрозольные потоки на выходе систем пылегазоочистки [1, 2].

Лазерные системы на основе метода дифференциального ослабления на трех длинах волн позволяют контролировать массовую концентрацию и средний объемно-поверхностный диаметр взвешенных частиц [1-3].

Измерение среднего объемно-поверхностного диаметра взвешенных частиц позволяет определять сверхнормативные аэрозольные выбросы в результате отказов пылегазоочистного оборудования (далее ПГО) на ранних этапах их формирования. Предотвращение потерь взвешенных частиц на ранних этапах возникновения отказов ПГО позволяет сокращать потери мелкодисперсных частиц, которые в значительной степени влияют на качество цемента. Контроль дисперсного состава взвешенных частиц дает возможность обнаружить отказавшую ступень ПГО. Измерение среднего объемно-поверхностного диаметра позволяет более точно рассчитывать рассеивание взвешенных частиц в атмосфере. Также информация о дисперсном составе взвешенных частиц влияет на плату за негативное воздействие на окружающую

среду.

Таким образом, измерение среднего объемно-поверхностного диаметра позволяет обнаруживать сверхнормативные аэрозольные выбросы аэрозольных частиц на ранних этапах их формирования, что позволяет уменьшать негативное воздействие на окружающую среду и сокращать издержки производства.

1 Веденин Е.И., Шеманин В.Г., Чартий П.В. Устройство контроля параметров аэрозольных потоков // Патент на полезную модель RU 159104 U1, 27.01.2016. Заявка № 2015119092/28 от 20.05.2015.
2 Веденин Е.И., Половченко С.В., Роговский В.В., Чартий П.В. Исследование времени стабилизации модельных аэродисперсных потоков после импульсной инжекции аэрозоля // В сборнике: Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы. Сборник докладов XIX Международного симпозиума. 2013. С. 82-85.
3 Чартий П.В., Шеманин В.Г., Веденин Е.И., Половченко С.В. Функции распределения частиц по размерам при различных режимах работы пылеулавливающего оборудования. //Безопасность в техносфере. 2016. Т.5. № 1(58). С.41-47.

Система лазерного зондирования для контроля тонкости помола цемента при замкнутом цикле

Е.О. Будюк, Е.И. Веденин, И.А. Сарычев, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин

(Новороссийский политехнический институт КубГТУ, Новороссийск, pvc-60@yandex.ru)

Один из важнейших параметров качества цемента – тонкость помола. Максимальная информативность о нём содержится в функции распределения частиц по размерам (ФРЧ). Поэтому контроль в реальном времени этого параметра – актуальная задача. Она решается наиболее эффективно с применением лазерных методов зондирования. Одним из таких современных решений является поточный контроль лазерными методами предварительно диспергированного цемента и восстановленнии на основе этого ФРЧ. Такой подход приводит к сокращению запаздывания контроля от производства до 0.5 часа. Предлагается сократить эту продолжительность в пять раз путём лазерного зондирования аэрозольных потоков в нескольких точках технологического процесса. Представлено решение этой задачи путём выбора нескольких контрольных точек и подбора соответсвующих длин волн лазерного излучения.

Ключевые слова: тонкость помола, цемент, лазерное зондирование, аэрозольный поток, функция распределения частиц, длина волны

One of the most important parameters of cement quality is the fineness of grinding. The maximum information content about it is contained in the particle size distribution function (PSDF). Therefore, real-time monitoring of this parameter is an urgent task. It is solved most effectively by the use of laser sensing methods. One of the modern such solutions is the in-line control by laser methods of pre-dispersed cement and restored on the basis of this PSDF. This approach leads to a reduction in the delay of control from production to 0.5 hours. It is proposed to reduce this duration by five times by laser sensing of aerosol flows at several points of the technological process. The solution of this problem is presented by selecting several control points and selecting the appropriate laser radiation wavelengths.
Keywords: fineness of grinding, cement, laser sensing, aerosol flow, particle distribution function, wavelength

Одним из важнейших параметров качества цемента, является тонкость его помола. При этом пылевидная фракция влияет на твердость бетона на ранних стадиях. Слишком мелкие частицы (размером менее 1-2 мкм) в первую очередь подвергается гидратации, что требует сокращения сроков хранения цемента перед его использованием. Фракции от 3 до 30 мкм наиболее ответственны за твердость железобетонных конструкций. Частицы размером более 60 мкм ведут себя, практически, как инертный наполнитель. Чем выше стабильность тонкости помола цемента, тем удобней он в работе, и тем ценнее он становится для потребителя.

Действующие в настоящее время стандартные методики предусматривают контроль тонкости помола цемента по остатку на сите с контрольной сеткой размером ячейки 90 мкм (допускается 80 мкм). Более информативное представление о тонкости помола цемента получается при измерении удельной поверхности цемента методом воздухопроницаемости [1]. Максимальная информация содержится в ФРЧ цемента. Поэтому наиболее оснащённые заводские лаборатории имеют возможность определять ФРЧ цемента с помощью лазерного гранулометра. В последние годы всё больше находит своё применение лазерная поточная гранулометрия цемента при его помоле. При этом автоматически отделяется проба готового цемента, осуществляется его диспергирование и измерение на основе дифракции распределения частиц по размерам [2].

Цель настоящей работы - управление тонкостью помола цемента регулированием режимов работы технологического оборудования с

максимально возможной оперативностью за счет контроля продуктов помола в реальном времени.

Поставленная цель достигается применением методов лазерного зондирования аэрозольных потоков на нескольких длинах волн [3-6]. При этом выбор контрольных точек должен обеспечивать контроль тонкости помола цемента ещё до его готовности, что обеспечит минимизацию выхода некачественного продукта.

В замкнутом цикле помола цемента измельчённый в мельнице материал поступает в сепаратор, в котором происходит отделение крупной фракции (крупки), непригодной для товарного использования. Крупка направляется снова в мельницу на допомол, а товарная часть направляется в аэродинамические классификаторы, в которых происходит их отделение и улавливание. Уловленный материал, являющийся готовым цементом, направляется на склад [2].

Выбираются несколько (в нашем случае пять) контрольных точек в технологической цепочке процесса помола, в которых возможно лазерное зондирование аэрозольного потока. Также выбираются соотвествующие длины волн лазеров [3].

Материальный баланс позволяет связать функций распределения цементных аэрозолей в воздушных потоках процесса помола цемента по замкнутому циклу и прогнозировать ФРЧ готового цемента фактически ещё до его производства [4]. Последняя контрольная точка выбирается непосредственно на выбросе в атмосферу, что позволяет не только решить задачу более корректного оценивания ФРЧ цемента, но и осуществлять автоматический мониторинг источника выброса в рамках производственного экологического контроля [5].

В результате работы была получена оценка эффективности предлагаемого подхода. Так при организации контроля тонкости помола цемента с двухчасовой периодичностью отбора проб максимальная продолжительность

работы мельницы в неоптимальном режиме может превысить 2.5 часа. Применение поточного лазерного контроля с диспергированием пробы готового цемента сокращает это время до 0.5 часа. Продолжительность неэффективной работы мельницы при лазерном зондировании в нескольких точках сокращается до 0.1 часа.

Таким образом, лазерное зондирование технологических аэрозольных потоков при помоле цемента по замкнутому циклу позволяет в 25 раз уменьшить выпуск некачественного цемента по сравнению с контролем в лаборатории отобранных проб и 5 раз по сравнению с контролем тонкости помола лазерным поточным гранулометром.

1 ГОСТ 30744-2001 Межгосударственный стандарт. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка.
2 Федоров А.С., Гелло Е.Б., Саночкин О. Опыт внедрения поточного гранулометрического анализа цемента для автоматизированного управления работой сепаратора системы помола в замкнутом цикле. // Цемент и его применение. 2020. №3. С. 62-64.
3 Привалов В.Е., Половченко С.В., Чартий П.В. Экспериментальное зондирование промышленных аэродисперсных потоков. //Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. 2014. № 4 (206). С. 64-73.
4 Чартий П.В., Половченко С.В. Восстановление функции распределения частиц по размерам с использованием методов лазерного зондирования. // Безопасность в техносфере. 2014. Т. 3. № 6. С. 37-42.
5 Дьяченко В.В., Половченко С.В., Роговский В.В., Чартий П.В. Экологический мониторинг аэрозолей с цементной дисперсной фазой. //Научный диалог. 2012. № 7. С. 6-18.
6 Чартий П.В., Шеманин В.Г., Веденин Е.И., Половченко С.В. Функции распределения частиц по размерам при различных режимах работы пылеулавливающего оборудования. //Безопасность в техносфере. 2016. Т.5. № 1(58). С.41-47.

Оценка перспектив использования лидара комбинационного рассеяния света для определения молекул карбонового цикла в атмосфере

В.В. Дьяченко, В.Г. Шеманин

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, Россия
E-mail: v-v-d@mail.ru

С целью измерения концентрации молекул карбонового цикла в диапазоне от 2,6 10^{18} до 1,1 10^{22} $м^{-3}$ лидаром комбинационного рассеяния света в атмосфере на расстояниях зондирования до 100 м в режиме синхронного счета фотонов выполнено компьютерное моделирование лидарного уравнения для выбора оптимальных параметров такого лидара. Показано, что при зондировании лидаром комбинационного рассеяния света всех исследованных молекул в атмосфере с использованием лазерного излучения на длине волны 405 нм можно зарегистрировать концентрацию всех исследованных молекул в газовой смеси с учетом доли в атмосфере в диапазоне времени измерения от 2.6 мкс до 125.6 с.

Ключевые слова: карбоновый цикл, климатически активные газы, лидар комбинационного рассеяния света, молекула, концентрация, расстояние зондирования, лазерное излучение

In order to measure the concentration of carbon cycle molecules in the range from 2.6 10^{18} to 1.1 10^{22} m^{-3} by the Raman lidar remote sensing in the atmosphere at the ranging distances up to 100 m in the mode of synchronous photon counting, a computer simulation of this lidar equation has been fulfilled to select the optimal parameters of such a lidar. It is shown that the Raman lidar sensing of all studied molecules in the atmosphere at 405 nm laser radiation wavelength can it possible to detect the concentration of all the studied molecules in the gas mixture according to its ratio in the atmosphere in the measurement time range from 2.6 μs up to 125.6 s.

Keywords: carbon cycle, climate-active gases, Raman lidar, molecule, concentration, ranging distance, laser radiation

Изменение климата на нашей планете связывают с усилением парникового эффекта, вследствие повышения в атмосфере концентраций молекул, так называемого «карбонового цикла» [1]. Контроль их эмиссии – чрезвычайно важная задача. Средне взвешенная оценка роли основных климатически активных газов (КАГ) без паров воды, базирующаяся на их концентрациях в атмосфере и на их относительном теплозадерживающем потенциале [2], дает следующую картину: углекислый газ – 50 %, хлорфтороуглероды – 20 %, метан– 16 %, тропосферный озон – 8 %, окись азота–6 %. Многие из этих молекул активно выделяются в атмосферу в энергетике, при использовании различных современных технологий и даже в животноводстве [1], в коммунальном

хозяйстве, а природное выделение в атмосферу многих газов усиливается техногенезом. Поэтому в мире ставится вопрос об уменьшении доли в природопользовании технологий с «карбоновым следом» для снижения их выбросов и достижения карбоновой нейтральности (равенство между выброшенным и поглощенным углеродом), а еще лучше развитии методов с активным поглощением (секвестрацией) углерода.

Одним из методов мониторинга климатически активных газов контроля техногенных и природных циклов парниковых газов могут стать новые лазерные системы измерения содержания молекул карбонового цикла в атмосфере. Оценим оптимальные параметры лидара комбинационного рассеяния света (КРС) который сможет измерить концентрации исследуемых молекул на уровне предельно-допустимых концентраций (ПДК) и выше в атмосфере на расстояниях зондирования до 100 м в режиме синхронного счета фотонов.

Рассмотрим газы в атмосфере, дающие основной вклад в карбоновый циклс учетом их доли в атмосфере [2]. Молекула азота используется как репер, относительно интенсивности КРС которой и производится нормирование всех измерений. По данным [1] их доли в среднем составляют: метан (CH_4) – 16 %, озон (O_3) – 8 %, оксидов азота (NO и NO_2) - 6 %, водяной пар (H_2O) – 62 %, угарный (CO) и углекислый (CO_2) газы и хлорфторуглероды (фреоны или хладоны) – 20 %. Для определения реальности зондирования рассмотрен самый сложный вариант - в атмосфере присутствуют сразу все 10 исследуемых молекул, а молекула азота используется в качестве репера, как и в [3]. В качестве зондирующего излучения использовалосья излучение третьей и второй гармоники YAG-Nd-лазера с длинами волн 355 и 532 нм и полупроводникового лазера с длиной волны 405 нм с длительностью импульсов 10 нс и энергиями до 10 мкДж при частоте следования лазерных импульсов *f* до 100 кГц [3,4].

Выполнено компьютерное моделирование спектра колебательного комбинационного рассеяния света. Различие интенсивностей полос учтено

значениями дифференциальных сечений КРС исследуемых молекул, а их полуширины определены как и в [5] для нормальных условий в атмосфере.

Рассмотрим однократное КРС и однородную атмосферу [3, 4, 6]. ПДК, значения максимумов полос валентных NO, OH, NN, и CO колебаний молекул КАГ взяты из [3, 4,7-9] и для этих полос валентных колебаний всех молекул значения дифференциального сечения колебательного КРС на длине волны лазерного излучения 337.1 нм взяты из [4, 8] и рассчитаны с учетом зависимости $1/\lambda^4$ для интересующих нас длин волн [7]. Значения коэффициентов ослабления для этих частот $\alpha(\nu_0,z)$ и $\alpha(\nu,z)$ из [10]. Поперечное сечение зеркала приемного телескопа лидара было 0.12 м^2. а шаг по расстоянию –7,5 м для времени одного измерения 50 нс, за которое может быть зарегистрировано 200 фотонов [11].

Результаты компьютерного моделирования лидарного уравнения для КРС, экспериментальных исследований и анализ литературы позволяют сделать выводы о возможности выбора оптимальных параметров лазера и лидара КРС для одновременного зондирования в атмосфере всех молекул карбонового цикла и создать компактную многофункциональную лазерную систему, с низким потреблением электроэнергии и долговременным автономным существованием или даже разместить ее облеченный вариант на мобильных средствах, например квадрокоптере. Все необходимые КАГ можно уверенно определять на расстоянии до 40 м. При увеличении расстояния зондирования до 100 м, диапазон времени измерений становится очень широким - 272 мкс – 126 с, что усложняет регистрацию всех молекул одновременно. Подбирая время измерения, можно увеличить и расстояние зондирования минимально возможной концентрации исследуемых молекул для того же варианта лидара комбинационного рассеяния света [3, 11]..

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ, проекты № 19-42-230004 и №19-45-230009

1. Воробьев А.Е., Дьяченко В.В., Вильчинская О.В., Корчагина А.В.Основы природопользования: экологические, экономические и правовые аспекты / Под ред. Дьяченко В.В. Уч. пособие (гриф УМО). – Изд. Феникс, Ростов-на-Дону, 2007. 542 с.
2. Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Девисилов В.А. Науки о земле: Уч. / Под ред. Девисилова В.А. - М.:НИЦ ИНФРА-М, 2019. 345 с.
3. Привалов В.Е., Фотиади А.Э., Шеманин В.Г. // Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. СПб.: Лань, 2013. 288 с.
4. Межерис Р. // Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987 - 550 с.
5. Зуев В.Е., Макушкин Ю.С., Пономарев Ю.Н. // Спектроскопия атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1987 – 247 с.
6. Донченко В.А., Кабанов М.В., Кауль Б.В., Самохвалов И.В. // Атмосферная электрооптика. Томск: Изд. НТЛ, 2010– 220с.
7. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. //Параметры лидаров для дистанционного зондирования газовых молекул и аэрозоля в атмосфере. С-Пб.: Балт. ГТУ. 2001. - 56 с.
8. Лазерный контроль атмосферы. / Под. ред.Э.Д.Хинкли**.** М.:Мир, 1979 - 416 с.
9. Свердлов Л. М., Ковнер М.А., Крайнов Е.П. // Колебательные спектры многоатомных молекул. М.: Наука, 1970 - 560 с.
10. Справочник по лазерам. / Под ред.А.М.Прохорова Т. I. М.: Советское Радио, 1978 - 591 с.
11. Privalov V. E., Shemanin V.G. // Accuracy of lidar measurements of the concentration of hydrofluoride molecules in the atmospheric boundary layer. // Measurement Techniques. 2020. V. 63. No. 7. P. 543-548. DOI 10.1007/s11018-020-01821-0

Экспериментальное лазерное зондирование зерновой пыли одновременно на нескольких длинах волн

[1]Е.И. Веденин,[1,2] И.А. Сарычев, [3]А.Н. Солдатов, [1]П.В. Чартий, [1]В.Г. Шеманин, [3]А.С. Шумейко[3]

([1]Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, pvc-60@eandex.ru, [2]Государственный морской университет имени Адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, [3]Научно Исследовательский Томский государственный университет, Томск)

Показано, что для предотвращения экологически опасных и взрывоопасных ситуаций, связанных с перегрузкой зерна целесообразно вести контроль на основе дистанционного лазерного зондирования на нескольких длинах волн. Для решения этой задачи взят опыт исследований промышленных аэрозольных потоков методами лазерного зондирования. Обоснован выбор в качестве излучателя лазера на парах

стронция и на базе прямоточного пылевого стенда.
***Ключевые слова*:** Зерновая пыль, лазерное зондирование, аэрозоль, поток, рассеяние Ми, лазерное зондирование, размер частиц.
It is shown that in order to prevent environmentally hazardous and explosive situations associated with grain overload, it is advisable to conduct control based on remote laser sensing at several wavelengths. To solve this problem, the experience of studying industrial aerosol flows by laser sensing methods is taken. The choice of a strontium vapor laser and a direct-flow dust stand as an emitter is justified.
***Keywords**:* Grain dust, laser sensing, aerosol, flow, Mie scattering, laser sensing, particle size.

Россия по объективным внешним причинам в последнее десятилетие осуществляет радикальную перестройку своей экономики в направлении уменьшения зависимости от внешних условий. Одним из таких направлений является переход от импорта зерновых к устойчивому экспорту этой продукции. Это привело к появлению мощных портовых терминалов по перевалке зерна с наземного (железнодорожного и автомобильного транспорта) в водный транспорт. Перегрузочные работы с зерном сопровождаются выделением зерновой пыли, которая с одной стороны загрязняет атмосферу, а с другой, являясь органической, представляет собой взрывоопасность. Поэтому при перегрузке и транспортировке зерна принимаются меры по снижению пылеобразования [1]. Однако любые технические мероприятия по подавлению пыли, могут по разным причинам нарушаться, что может приводить к экологически опасной и взрывоопасной ситуации. Для исключения таких нарушений предлагается дистанционное лазерное зондирование наиболее опасных технологических участков, где могут возникать такие ситуации [2,3].

Ранее были проведены экспериментальные исследования по лазерному зондированию промышленных аэродисперсных потоков [4,5]. В основе исследований лежат методы интегрального ослабления и рассеяния Ми. Зависимость рассеяния и ослабления лазерного излучения от микрофизических параметров аэрозольных частиц при одновременном зондировании на нескольких специальным образом выбранных длин волн позволяет оценивать параметры функции распределения частиц по размерам ФРЧ [6,7]. Основные исследования были проведены на специальном пылевом стенде, построенном в виде замкнутого контура [8]. После импульсной инжекции исследуемого

аэрозольного материала в воздушный поток замкнутого контура происходило релаксационное равномерное распределение аэрозольных частиц по всему объёму контура [9].

В рамках этих исследований было получено, что метод спектральной прозрачности с длинами волн лазерного излучения от 405 нм до 4,5 мкм позволяет оценивать функцию распределения частиц по размерам во всём диапазоне размеров частиц, начиная от их производства до выброса в атмосферу. Плотность цементной пыли лежит в области от 2700 до 3000 кг/м^3 Размеры частиц, которые попадают в пылевую фракцию, способную находится во взвешенном состоянии в воздухе в течении сравнительно продолжительного времени зависит от плотности материала частиц и от их формы. Скорость витания частиц с плотностью намного больше плотности воздуха имеет квадратичную зависимость от плотности материала частицы. Считая в первом приближении форму частиц сферической, нетрудно получить, что верхний предел размера частиц зерновой пыли в пылевой фракции превышает соответствующий размер цементной пыли примерно в пределах 1.3-1.4 получаем, что ведёт к увеличению максимальной длины волны лазерного излучения, которая должна быть не менее 6.3 мкм. Таким условиям соответствует лазер на парах стронция, в котором возможна одновременная устойчивая генерация излучения на длинах волн от 1.03 мкм до 6.45 мкм.

Для реализации поставленной задачи построена экспериментальная установка на базе пылевого прямоточного стенда [8]. Обработка измерительной информации аналогична обработке результатов исследований и на замкнутом пылевом стенде.

Одним из факторов, влияющих на погрешность измерения ФРЧ интегральными методами рассеяния и ослабления, является спектральная зависимость поглощения лазерного излучения молекулами воды в воздухе и в самой зерновой пыли. Спектральная неравномерность поглощения излучения молекулами воды и наличие близких друг к другу длин волн в лазере на парах

стронция позволяет значительно снизить влияние этого поглощения на измерение параметров ФРЧ. Для этого использована регистрация ослабленного лазерного излучения и обработка соответствующей измерительной информации аналогично представленной в [10], где на основе спектрального ослабления излучения парами нефти в ближней ИК-области измерялась концентрация углеводородов нефти в воздухе. Для этого на экспериментальной установке регистрация излучения, поступающего из измерительного объёма воздушного потока с частицами зернового аэрозоля на фотоприёмники осуществляется со спектральным разрешением, позволяющим раздельную регистрацию сигналов на близких длинах волн лазерного излучения.

1 Туриф Я. Снижение органической пыли аппликацией минеральным маслом.// Хлебопродукты. 2006. № 2. С. 64-65.
2 Дьяченко В.В., Половченко С.В., Роговский В.В., Чартий П.В. Экологический мониторинг аэрозолей с цементной дисперсной фазой.// Научный диалог. 2012. № 7. С. 6-18.
3 Веденин Е.И., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Лазерная система предупреждения аварийных выбросов индустриальных аэрозолей в атмосферу.// Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. Т. 56. № 8-3. С. 278-280.
4 Привалов В.Е., Половченко С.В., Чартий П.В. Экспериментальное зондирование промышленных аэродисперсных потоков. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. 2014. № 4 (206). С. 64-73.
5 Chartiy P.V., Privalov V.E., Shemanin V.G. Nano- and micropowder laser multy wavelengths sensing and aerodynamic classification.// Key Engineering Materials. 2010. Т. 437. С. 571-574
6 Чартий П.В., Половченко С.В. Восстановление функции распределения частиц по размерам с использованием методов лазерного зондирования.// Безопасность в техносфере. 2014. Т. 3. № 6. С. 37-42.
7 Веденин Е.И., Дьяченко В.В., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Лазерный контроль среднего объемно-поверхностного диаметра частиц для оценки параметров аэрозольного загрязнения атмосферы.// Безопасность в техносфере. 2017. Т. 6. № 6. С. 3-11.
8 Чукардин В.Е., Чартий П.В. Стенд для моделирования промышленного пылегазового потока.// Безопасность жизнедеятельности. 2003. № 9. С. 50.
9 Половченко С.В., Роговский В.В., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Лазерная диагностика релаксационных потоков.// Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 41-43.

10 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.

Лазеры как основа автоматических средств измерения и передачи информации о выбросах загрязняющих веществ в Госреестр

В. В. Дьяченко, В. Г. Шеманин

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Россия,
*e-mail:*v-v-d@mail.ru

В работе рассмотрены методы реализации Федерального закона «Об охране атмосферного воздуха» и Постановления Правительства РФ от 13.03.2019 (№ 262 и № 263) об оснащении стационарных источников автоматическими средствами измерения и передачи информации о выбросах загрязняющих веществ в Госреестр. Наиболее перспективным методом решения поставленных задач является использование лазерных технологий и созданных на основе их использования приборов – лидаров.
Ключевые слова: Лазерные методы, аэрозольное загрязнение атмосферы, дисперсный состав, средний объемно-поверхностный диаметр частиц
The methods for implementing the Federal Law "On the Protection of Atmospheric Air" and the Decree of the Government of the Russian Federation of 13.03.2019 (No. 262 and No. 263) on equipping stationary sources with automatic means for measuring and transmitting information on pollutant emissions to the State Register have neen considered in this paper. The most promising method of solving the tasks is the laser technologies and devices based on their use - lidars using.
Key words: Laser methods, aerosol pollution of the atmosphere, dispersion composition, particles average volume-surface diameter, modified spectral transparency method

Наиболее актуальное направление развития лазерных технологий – реализация задач, сформулированных в Постановлениях Правительства РФ от 13.03.2019 (№ 262 и № 263). Дело в том, что время, отведенное предприятиям на его выполнение заканчивается через пару лет, а реальных надежных технологий, с хорошим метрологическим обеспечением, невысокой стоимостью и низкими эксплуатационными затратами, во многих отраслях практически нет. Вторая проблема – необходимость внешнего контроля выбросов предприятий и деятельности оборудования производящего их учет, на основе которого определяется плата за негативное воздействие на окружающую среду.

Выбросы предприятий в атмосферу чаще включают несколько химических

соединений, да и Постановления Правительства РФ направлены на контроль не одного агента загрязнения. Это взвешенные вещества, серы диоксид, оксиды азота (сумма азота оксида и азота диоксида), углерода оксид, фтористый водород, хлористый водород, сероводород, аммиак. Для создания традиционных приборов, способных контролировать одновременно несколько веществ нужны несколько разных газоанализаторов, зачастую основанных на различных физические принципах и имеющих свои особенности размещения, эксплуатации, обслуживания. А использование лазерных технологий лишено этих недостатков. В зависимости от набора контролируемых веществ нужно просто смонтировать в одной установке несколько лазеров с различной длиной волны излучения [1-3].

Результаты расчетов лидарного уравнения для КРС для дистанционного измерения концентрации молекул ЗВ показывают, что для концентрации молекул SO_2 порядка ПДК время измерения t на длине волны 532 нм на расстоянии 100 м составит 15 мс, для 500 м – 0.42 с, для 1 км – почти 2 с и для 2 км – 10.7 с, при частоте следования лазерных импульсов 1 кГц и времени одного измерения 50 нс, что соответствует шагу по расстоянию ΔH= 7.5 м. Очевидно, что уменьшение времени измерения возможно за счет увеличения частоты следования лазерных импульсов или увеличения их энергии в лазерном импульсе. Для всех молекул оксидов оптимальными длинами волн для зондирования во всем диапазоне расстояний являются 355, 532, 510 и 578 нм. Немного хуже результат получается для длины волны 289 нм, что связано с большим ослаблением такого лазерного излучения в атмосфере и низкой спектральной чувствительностью фотоприемника на этой длине волны. На срезе источников выбросов (труб, например) концентрации загрязняющих веществ превышают ПДК в более 100 раз, что позволяет уменьшить время и увеличить расстояние зондирования.

Таким образом, можно создать цельный комплекс для оперативного мониторинга газопылевых выбросов предприятий, необходимый для

реализации известных Постановлений Правительства. В данный момент таких комплексов немного, имеющиеся очень дороги или включают несколько приборов (для разных веществ), основанных на разных физических принципах и требующих различных условий размещения и регламентов обслуживания. Предлагаемые технологии позволят существенно уменьшить негативное воздействие техногенеза на состояние окружающей среды и здоровье населения [4-7].

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ - №19-42-230004 и №19-45-230009.

1. Дьяченко В.В., Половченко С.В., Роговский В.В., Чартий П.В. Экологический мониторинг аэрозолей с цементной дисперсной фазой. //Научный диалог. Естествознание и экология. 2012. № 7. С. 6-17.
2. 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/EEx Polytech.2019.8906882.
3. 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, Vol. 127, No. 6, pp. 1177–1181. DOI: 10.1134 /S0030400X19120191.
4. 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), pp. 28 – 34 DOI: 10.13189/ujg.2014.020104
5. Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Малыхин Ю.А. Проблемы загрязнения ландшафтов Краснодарского края и здоровье населения. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. №07(101). IDA [article ID]: 1011407080.
6. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Ландшафтно-геохимическая дифференциация юга России. // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана). Доклады Всероссийской научной конференции. Москва, 18-20 октября 2016 г., М.: Географический факультет МГУ, 2016. – 32 Mb.
7. Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Малыхин Ю.А. и др. Результаты деятельности комиссии по геохимии ландшафта и техносферной безопасности КРОРГО // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. ИП Платонов Игорь. Краснодар. 2017. С. 214-225.

Компьютерное моделирование лидарного уравнения для комбинационного рассеяния света молекулами оксидов в атмосфере

[1]Ю.В. Чербачи, [1]В.Г. Шеманин,[2]В.Е. Привалов

([2]Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова, Новороссийск, Россия,
e-mail: cherbachi-y-v@nb-bstu.ru, [2]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail:vaevpriv@yandex.ru)

В работе выполнено компьютерное моделирование лидарного уравнения для комбинационного рассеяния света молекулами оксидов в диапазоне от 4.7 10^{18} до 1,1 10^{20} $м^{-3}$ в атмосфере на расстояниях зондирования до 500 м в режиме синхронного счета фотонов для выбора оптимальных параметров лидара. Получено, что при использовании лазерного излучения на длине волны 532 нм можно зарегистрировать минимальную концентрацию для диоксида серы за время измерения 616 с, для диоксида и оксида углерода 21 и 25 с на расстоянии зондирования до 500 м.
Ключевые слова: компьютерное моделирование, лидарное уравнение, комбинационное рассеяние света, молекулы оксидов
The Raman lidar equation computer simulation by oxide molecules in the range from 4.7 10^{18} to 1.1 10^{20} m^{-3} in the atmosphere at ranging distances up to 500 m in the synchronous photon counting mode for selecting the optimal lidar parameters has been fulfilled in this paper. It was found that it is possible to register the minimum concentration for sulfur dioxide during the measurement time of 616 s, for carbon dioxide and carbon monoxide 21 and 25 s at the 532 nm laser radiation wavelength and ranging distance of 500 m.
Keywords: computer simulation, Raman lidar equation, oxide molecules

На сегодняшний день большую проблему представляет собой загрязнение атмосферы молекулами оксидов серы и углерода, образующуюся в связи с их широким распространением в большом числе технологий современных производств [1]. Разработка новых лазерных методов дистанционного измерения концентрации молекул оксидов с уровнем концентраций порядка предельно-допустимой (ПДК) [1, 2] и выше в атмосфере на базе лидара комбинационного рассеяния света требует выбора оптической схемы и оптимальных параметров такого лидара [3-5]. Ранее, в работах [6, 7] было предложено лидарное уравнение для комбинационного рассеяния света газовыми молекулами в атмосфере с учетом конечной ширины линии генерации.

Целью настоящей работы является моделирование лидарного урвынеия для комбинационного рассеяния света молекулами оксидов на уровне ПДК и

выше в атмосфере на расстояниях зондирования до 500 м в режиме синхронного счета фотонов для выбора оптимальных параметров такого лидара.

В ходе работы было выполнено компьютерное моделирование лидарного уравнения для измерения концентрации молекул оксидов серы и углерода в атмосфере на уровне ПДК и выше (в диапазоне от 4.7 10^{18} до 1.1 10^{20} $м^{-3}$) таким лидаром на расстояниях зондирования до 500 м. Показано, что при зондировании лидаром комбинационного рассеяния света всех исследованных молекул в атмосфере с использованием лазерного излучения на длине волны 532 нм можно зарегистрировать концентрацию на уровне ПДК для диоксида серы за время измерения 616 с на расстоянии зондирования до 500 м, для диоксида и оксида углерода 21 и 25 с соответственно на том же расстоянии.

1. Привалов, В.Е., Фотиади А.Э., Шеманин В.Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. СПб.: Лань, 2013 - 288 с.
2. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.3492-17 (с изменениями на 31 мая 2018 года). Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. 51с.
3. Privalov V.E., Shemanin V.G. Hydrogen Sulfide Molecules Lidar Sensing in the Atmosphere. // Optical Memory and Neural Networks, 2018. V. 27. No.2. P.120-131 DOI: 10.3103/S1060992X18020091
4. Меркурьев С.В., Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Лидар комбинационного рассеяния для зондирования молекул серосодержащих углеводородов в атмосфере. //Письма в ЖТФ. 2000. Т.26. №1. С.45-49
5. Privalov V.E., Shemanin V.G. Accuracy of lidar measurements of the concentration of hydrofluoride molecules in the atmospheric boundary layer. // Measurement Techniques. 2020. V. 63. No. 7. P. 543-548. DOI 10.1007/s11018-020-01821-0
6. 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
7. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Учет ширины линии лазерного излучения в лидарном уравнении для комбинационного рассеяния света. //Оптический журнал. 2015.Т.82.№9 С.11-15

СЕКЦИЯ Д-5 – ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Техносферная безопасность: перспективы

М.Н. Чура, Н.Н. Чура

(Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, nnchura@rambler.ru)

Развитие общества требует внедрения инноваций, объем которых стал угрозой безопасности. Для решения задач обеспечения безопасности создано направление подготовки высшего и среднего профессионального образования «Техносферная безопасность». Вместе с тем, в законодательных и подзаконных актах вне образовательной деятельности этот термин практически не встречается. Сделан вывод о необходимости, на взгляд авторов, развития законодательства в области техносферной (комплексной) безопасности, как минимум – законодательного закрепления формулировки термина «Техносферная безопасность».

Ключевые слова: техносферная безопасность, образовательный стандарт, законодательство

The development of society requires the introduction of innovations, the volume of which has become a security threat. To solve the problems of ensuring safety, the direction of training of higher and secondary vocational education «Technosphere Safety» was created. At the same time, this term is practically not found in legislative and subordinate acts outside of educational activities. The conclusion is made that, in the opinion of the authors, it is necessary to develop legislation in the field of technosphere (complex) safety, at least – legislative consolidation of the wording of the term «Technosphere Safety».

Keywords: technosphere safety, educational standard, legislation

Техносфера – в отличие от предшествующей биосферы, – не является саморегулируемой системой, в основе своей искусственна (создана человеком в своих интересах), что сделало её зависящей от создателя. Поэтому, чтобы техносфера выполняла свои функции устойчиво и, по меньшей мере, не принося вреда, требуется участие человека и организация мероприятий по обеспечению её безопасности.

Развитие общества потребовало и требует внедрения инноваций, объем которых стал угрозой безопасности. Обострение дилеммы «безопасность – развитие» как ситуации, при которой выбор одного из двух, по своей сути, противоположных решений одинаково затруднителен, пока не принесло ощутимых ограничений в развитии и потреблении общества. В то же время вал техногенных аварий и катастроф остается высоким. Согласно статистике МЧС

России, четыре из пяти чрезвычайных ситуаций, происходящих в последние годы, составляют техногенные, т.е. порожденные техникой.

Результат ускоренных темпов развития техноприродных комплексов и созданных на их базе высоких технологий, с учетом его оборотной (отрицательной) стороны, показал существенное отставание в развитии социальной сферы. Социосфера представляется как согласованное поведение людей, их социальная организация, которая реализуется через нормы поведения (правила, законы, традиции), приобретенные и умноженные знания (образование, науку), практику поведения. Социосферный фактор, тем не менее, не вносит существенных корректив в обусловленный деятельностью самого же человека техногенез. Вместе с тем, кроме своей организации, человек ничего или почти ничего не может противопоставить катастрофам и бедствиям.

Логично утверждать, что указанные выше обстоятельства привели к появлению новой задачи – обеспечения техносферной безопасности и возникновению необходимости в профильных специалистах. Для решения этой задачи создано направление подготовки высшего и среднего профессионального образования «Техносферная безопасность» [1]. Вместе с тем, в настоящее время в реальных производственных условиях такая специальность отсутствует, нет её и среди профессиональных стандартов, хотя имеются и востребованы специалисты по экологической и промышленной безопасности, охране труда и т.д. Таким образом, на производственном уровне существует непонимание и недоумение по поводу названия специальности «Техносферная безопасность», отраженной в дипломах наших выпускников.

В качестве основного вывода по работе отметим необходимость, на наш взгляд, развития законодательства в области техносферной (комплексной) безопасности, как минимум – законодательного закрепления формулировки термина «Техносферная безопасность», что имеет теоретическую и прикладную значимость.

1 Чура М.Н., Чура Н.Н. Техносферная безопасность: пути оценки. //Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте (7 – 12 сентября 2020 г.) Пенза: Изд-во ПГУ. 2020. С. 253–255.

Оценка техногенного риска при эксплуатации энергетических объектов водного транспорта

Д.А. Давыдов, В.А. Туркин, А.А. Стяжкин, Е.Е. Сеничкина

(Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, e-mail turvla@mail.ru)

Представлены основные понятия и определения теории анализа риска. Под риском понимается мера возможных опасностей, одновременно учитывающая частоту возникновения (вероятность) нежелательного события и его последствия. Рассмотрено влияние человеческого фактора на безопасность эксплуатации судового котла. Ввиду редкости событий-аварий исследование безопасности котла проведено методом имитационного моделирования. Используя теорию планирования эксперимента, получена математическая модель, позволяющая производить количественную оценку вероятности возникновения происшествия и оптимизацию мер безопасности при эксплуатации судового энергетического оборудования.

Ключевые слова: водный транспорт, оценка риска, частота, человеческий фактор, судовой котел, математическая модель

The basic concepts and definitions of the theory of risk analysis are presented. Risk is understood as a measure of possible hazards, which simultaneously takes into account the frequency of occurrence (probability) of an undesirable event and its consequences. The influence of the human factor on the safety of operation of a ship's boiler is considered. Due to the rarity of accident events, the safety study of the boiler was carried out by the method of simulation. Using the theory of experiment planning, a mathematical model has been obtained that allows for a quantitative assessment of the likelihood of an incident and optimization of safety measures during the operation of ship power equipment.

Keywords: water transport, risk assessment, frequency, human factor, ship's boiler, mathematical model

Оценка риска при эксплуатации энергетических объектов водного транспорта включает анализ причин возникновения аварийных ситуаций и условий развития аварий, определение степени нанесения вреда окружающей природной среде, персоналу, экипажам судов, а также материального ущерба эксплуатирующей компании-оператора [1]. При эксплуатации энергетических объектов водного транспорта возникает неопределенность, связанная с возможностью возникновения в ходе их эксплуатации неблагоприятных ситуаций и последствий, вызванная неполнотой информации об условиях

эксплуатации оборудования и связанных с ним затратами.

В настоящее время инструментом по управлению рисками при эксплуатации судовых энергетических установок и их элементов является методология формализованной оценки безопасности (ФОБ) [2], использующая принцип ALARP (as low as reasonably applicable/practicable), заключающийся в обеспечении уровня воздействия факторов опасности на персонал (экипаж) и окружающую среду «настолько низкого, насколько это разумно достижимо». При этом максимально возможное снижение риска достигается за счет реально существующих материально-технических и финансовых ресурсов.

ФОБ может использоваться как инструмент, помогающий в оценке новых правил безопасности на море и защите морской среды или в сравнении существующих и, возможно, улучшенных правил, с целью достижения баланса между различными техническими положениями и вопросами эксплуатации, включая человеческий фактор, а также между безопасностью на море или защитой морской среды и затратами. ФОБ должна включать следующие этапы: 1) определение опасностей; 2) анализ риска; 3) варианты управления рисками; 4) оценка затрат и выгод; 5) рекомендации для принятия решений.

В качестве критерия оценки уровня и обеспечения безопасности представлен техногенный риск, под которым понимается мера возможных опасностей, одновременно учитывающая частоту возникновения (вероятность) нежелательного события и его последствия. Рассмотрено влияние человеческого фактора на безопасность эксплуатации судового оборудования. Ввиду редкости событий-аварий и невозможности проведения экспериментов по экономическим и гуманистическим соображениям, основным методом исследования безопасности котла принят метод моделирования возникновения и развития аварийных процессов. Используя теорию планирования эксперимента, получена математическая модель, позволяющая производить количественную оценку вероятности возникновения происшествия и выполнять оптимизацию мер безопасности при эксплуатации оборудования.

1 Вальдман Н.А. Оценка риска морских операций / Н.А. Вальдман, Н.В. Жарких, В.А. Карев // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2017. – №48/49. – С. 17-31.
2 MSC-MEPC.2/Circ.l2/ Rev.l 18 June 2015 Revised guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process.

Технологии снижения выбросов углеводородов на нефтяных терминалах и танкерах

Е.Ф. Загурский, В.А. Туркин

(Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, e-mail turvla@mail.ru)

Рассмотрена эффективность методов снижения эмиссии углеводородов с судов и нефтяных терминалов при выполнении технологических операций. Показано, что в процессе перевалки и транспортировки нефти через нефтяные терминалы и нефтеналивные танкера происходит эмиссия углеводородов легких фракций (таких как метан, этан, пропан или бутан), называемые летучие органические соединения (ЛОС), которые испаряются при нормальных атмосферных условиях. Установлена эффективность следующих технологий, применяемых для регулирования эмиссии летучих органических соединений: метод последовательного переноса атмосферы резервуара, контроль парциального давления в грузовом трубопроводе, метод абсорбции, метод конденсации, метод адсорбции, система термического окисления (термического сгорания).
Ключевые слова: нефтяные танкера и терминалы, углеводороды, технологии снижения эмиссии
The efficiency of methods for reducing emissions of hydrocarbons from ships and oil terminals during technological operations is considered. It has been shown that in the process of transshipment and transportation of oil through oil terminals and oil tankers, the emission of light fractions hydrocarbons (such as methane, ethane, propane or butane), called volatile organic compounds (VOCs), occurs, which evaporate under normal atmospheric conditions. The effectiveness of the following technologies used to control the emission of volatile organic compounds has been established: the method of sequential transfer of the tank atmosphere, the control of the partial pressure in the cargo pipeline, the absorption method, the condensation method, the adsorption method, the thermal oxidation (thermal combustion) system.
Keywords: oil tankers and terminals, hydrocarbons, emission reduction technologies

В процессе перевалки и транспортировки нефти через нефтяные терминалы и нефтеналивные танкера, происходит эмиссия углеводородов легких фракций (таких как метан, этан, пропан или бутан), называемые летучие органические соединения (ЛОС), которые испаряются при нормальных атмосферных условиях [1, 2]. ЛОС образуются как при перемещении нефти в

системе трубопроводов, так и от испарения с поверхности груза внутри грузовых танков во время погрузки, во время мойки танков сырой нефтью, а также транспортировки до порта выгрузки. Атмосфера грузового танка изначально содержит SO_2, CO_2, NO_x и небольшой процент других газов от предыдущего груза. Выделение этих соединений, в сочетании с повышением уровня груза в процессе погрузки, приводят к увеличению давления внутри грузового танка, вследствие чего необходимо выбрасывать образовавшийся газ в атмосферу в объемах равных объему груза в процессе погрузки. Объемы этих углеводородов значительные – от 0.80 до 1.94 кг/м^3. То есть если взять усредненное значение в 1.4 кг/м^3, то для одного нефтяного танкера грузовместимостью 80 тысяч регистровых тонн, объем эмиссии углеводородов в атмосферу за одну погрузку составит 112 000 кг. Содержание различных компонентов газа варьируется значительно между разными сортами нефти, но состав примерно одинаковый: метан 5-25 %; этан 10-25 %; пропан 25-40 %; бутан 15-30 %; пентаны 5-10 %; гексан и более тяжелые газы 1-10 %.

Эффективность технологий, применяемых для регулирования эмиссии летучих органических соединений, следующая: метод последовательного переноса атмосферы резервуара – 30 %; контроль парциального давления в грузовом трубопроводе – 60 %; метод абсорбции – 80 %; метод конденсации – до 99 %; метод адсорбции – 90 %; система термического окисления (термического сгорания) – до 99 %.

Технология контроля парциального давления в грузовом трубопроводе предназначена для предотвращения изменения свойств за счет балансировки давления при перекачке сырой нефти и предотвращения образования ЛОС. Одной из таких систем, является система KVOC. Модификация судна заключается в установке колонны сбрасывающего трубопровода, большего диаметра, чем обычно, и содержащей спиралевидный канал для движения груза. Колонна проектируется для каждого судна с учетом планируемой скорости погрузки. Увеличенный диаметр позволяет снизить скорость

поступления груза и тем самым уравновесить давление на всем участке сбрасывающего трубопровода.

1 OCIMF Volatile Organic Compound emissions from cargo systems on oil tankers. 2019.
2 IMO MEPC.1/Circ.680 Technical information on systems and operation to assist development of VOC Management plans. 2009.

Судовая система локального лазерного контроля выбросов вредных веществ с отработавшими газами двигателей

В.А. Туркин, Г.В. Игнатенко, Ю.В. Письменская,

Д.Р. Джиоев, В.В. Александрова

(Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, e-mail turvla@mail.ru)

Получение информации о текущих значениях концентрации оксидов 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. Преимуществами лазерного метода над химическими методами являются меньшая трудоемкость и оперативность получения информации о концентрациях загрязняющих веществ. Приведены результаты экспериментально-расчетного определения постоянных молекул оксидов азота и серы, а также оптимальные режимы и параметры работы лазерных систем локального замера концентраций указанных загрязняющих веществ в выбросах судовых дизелей. Установлено, что оптимальный режим работы системы на комбинационном рассеянии света обеспечивается Cu- или YAG: Nd лазерами. Предложена схема судовой лазерной системы мониторинга, позволяющая осуществлять непрерывный контроль концентрации вредных веществ, решать задачи контроля и снижения токсичности отработавших газов.

Ключевые слова: судовые двигатели, вредные выбросы, лазерный мониторинг, система контроля выбросов

It is proposed to obtain information on the current values of the concentration of oxides by the method of laser probing of the gas flow. Laser radiation is directed through the gaseous medium to the target, and the radiation scattered by the target is collected by a telescope with a photodetector and a spectrum analyzer. The advantages of the laser method over chemical methods are less laboriousness and efficiency in obtaining information on the concentrations of pollutants. The results of the experimental-computational determination of permanent molecules of nitrogen and sulfur oxides, as well as the optimal modes and operating parameters of laser systems for local measurement of the concentrations of these pollutants in the emissions of marine diesel engines are presented. It has been established that the optimal operating mode of the system based on Raman light scattering is provided by Cu- or YAG: Nd lasers. A scheme of the ship's laser monitoring system has been proposed, which allows continuous monitoring of the concentration of harmful substances, solving problems of monitoring and reducing the toxicity of exhaust gases.

Keywords: marine engines, harmful emissions, laser monitoring, emission control system

Актуальность исследования обусловлена ужесточением требований к выбросам вредных веществ, содержащихся в продуктах сгорания судового топлива. Выбросы вредных веществ от судовых дизелей регламентируются Приложением VI «Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов» Международной конвенции МАРПОЛ 73/78. С целью контроля за выбросами учеными кафедры «Техносферная безопасность на транспорте» Государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова (г. Новороссийск) предложен метод очистки отработавших газов от кислотных оксидов и твердых частиц с использованием механизма их адсорбции твердым веществом [1]. Для реализации данного метода предлагается использовать судовую систему очистки отработавших газов. Для контроля эффективности очистки отработавших газов предложенной системой возникает потребность в наличии информации о текущих значениях концентрации вредных веществ. содержащихся в потоке продуктов сгорания судового топлива – кислотных оксидов углерода, азота и серы. Получить подобного рода информацию можно методом лазерного зондирования газового потока.

Реализация метода достигается системой лазерного зондирования (лидар). В лидаре лазерное излучение направляется через газовую среду на мишень, а рассеянное мишенью излучение собирается телескопом со спектроанализатором и фотоприемником [2]. 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 автоматики и контроля технического состояния судовой энергетической установки.

1 Способ и устройство для комплексной очистки выхлопных газов судового двигателя: пат. № 2644601 Рос. Федерация: МПК F01N 3/08 / Туркин А.В., Туркин В.А., Ежов В.С.; заявл. 31.05.2016; опубл. 05.12.2017, Бюл. № 34. – 2 с.
2 Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. – СПб.: Лань, 2013. – 288 с.

Ландшафтно-геохимические принципы организации мониторинга климатически активных газов

В.В. Дьяченко

(Новороссийский политехнический институт (филиал) КубГТУ,

Новороссийск, v-v-d@mail.ru)

Доклад посвящен методологическим аспектам выбора площадок и биогеоценозов для карбоновых полигонов. С этой целью обосновывается использование карт геохимических ландшафтов. Ландшафтно-геохимическое картографирование является методической основой эколого-экономического планирования и сбалансированного природопользования поскольку ландафтообразующие факторы во многом определяют баланс климатически активных газов

***Ключевые слова*:** эмиссия, карбоновые полигоны, ландшафты, карты

The report is devoted to the methodological aspects of the sites and biogeocenoses selection for carbon polygons. For this purpose, the use of geochemical landscapes maps is justified. Landscape-geochemical mapping is a methodological basis for ecological and economic planning and balanced nature management, since the landscape-forming factors greatly determine the balance of climatically active gases.

Keywords: emission, carbon polygons, landscapes, maps

Вопросы охраны окружающей среды, изменения климата все больше переходят в экономическую плоскость. Через год Европа введет налог на неэкологичную продукцию. Тогда наши компании-экспортеры вынуждены будут платить 8–30 млрд долл. карбонового налога ежегодно. В связи с этим необходимо иметь свою систему измерений, чтобы кто-то не посчитал наши выбросы по-своему в условиях жесткой конкуренции. Для этого необходимы

системы контроля эмиссии парниковых газов и организация полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса различных биогеоценозов. Эти системы, с одной стороны, будут служить для определения баланса климатически активных газов (КАГ) и мониторинга климата, а с другой – исполнения Парижского соглашения Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК). Необходимо разработать систему мониторинга на специальных площадках - "карбоновых полигонах", где изучать конкретные экосистемы, набирать аргументы и цифры, которые можно предъявить ЕС.

Карбоновые полигоны – территории, на которых проводятся комплексные исследования по мониторингу уровня содержания парниковых газов в атмосфере, исследования по углеродному обмену (атмосфера / почва / вода) параллельно с измерением параметров окружающей среды (температура, влажность, освещенность, скорость и направление ветра и другие).

Сеть полигонов должна охватить все представительные биогеоценозы России, а объективность полученной информации зависит от правильности выбора мест их размещения. Считаем, что для этого целесообразно использовать карты геохимических ландшафтов. Ландшафтно-геохимическое картографирование является методической основой эколого-экономического планирования и сбалансированного природопользования [1]. Территории с одинаковыми ландшафтообразующими факторами (ландшафты) имеют сходную геохимическую структуру и ландшафты, отличающиеся хотя бы одним - закономерно отличаются условиями миграции, концентрациями и соотношениями химических элементов в почвах и растениях, а также ассимиляционным потенциалом и реакцией на внешнее воздействие [2].

Эти факторы [3] во многом и определяют эмиссию и секвестрацию КАГ. На основе ландшафтно-геохимических карт могут проводиться как качественные, так и количественные оценки геосистем, что позволяет решить важнейшие геоэкологические проблемы, нормирование загрязнения, его влияние на здоровье населения [4-7]. Поэтому, использование карт создаст

методическую и структурную основу для выбора мест полигонов, обобщения, сравнения и интерпретации фактического материала.

Наиболее сложно дифференцированным является юг России, что отражается на контрастности ландшафтно-геохимических условий и большом количестве ландшафтов – 232 [1, 8, 9]. Обоснованность этого подтверждается тем, что А.И. Перельманом здесь выделено более 25 природных ландшафтов из 110 встречающихся на территории СССР [10], хотя доля региона была менее 3 % площади. На ограниченной территории можно разместить полигоны в различных ландшафтах или проложить профиля пресекающие границы нескольких ландшафтов для сравнительных геохимических исследований непосредственно или дистанционно (например, с квадрокоптеров).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ: № 19-45-230009.

1. 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.
2. Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Девисилов В.А. Науки о Земле: Уч. / Под ред. Девисилова В.А. - М.:НИЦ ИНФРА-М, 2019. 345 с.
3. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрея-2000, 1999. – 768 с.
4. Дьяченко В.В. Основные закономерности формирования геохимического спектра почв Северного Кавказа // Изв. вузов. Сев. - Кавк. регион. Естеств. науки. 2001. № 3. С. 86-88.
5. Дьяченко В.В. Разработка региональных и локальных показателей состояния почв для экологического нормирования на ландшафтно-геохимической основе // Экологические системы и приборы. 2001. № 8. С 3-6.
6. Дьяченко В.В. Определение региональных нормирующих содержаний химических элементов в почвах на ландшафтно-геохимической основе // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2001. № 4. С 109-112.
7. Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Малыхин Ю.А. Проблемы загрязнения ландшафтов Краснодарского края и здоровье населения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 07(101). – IDA [article ID]: 1011407080.
8. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Ландшафтно-геохимическая дифференциация юга России // Геохимия ландшафтов: Докл. Всерос. науч. конф. – М.: Изд-во ин-та геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, 2016. – С. 355–358.

9. Дьяченко В.В. Геохимия и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа // Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук / Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону, 2004. 326 с.
10. Физико-географический атлас мира / Гл. ред. Ю.В. Филиппов. – М.: Изд-во АН СССР, ГУГК СССР, 1964. – 298 с.
11. Санникова А.Б. Особенности регионального управления развитием сельского хозяйства в Краснодарском крае/ // Фундаментальные исследования. 2020. № 5. С. 155-159.DOI10.17513/fr.427631.

Реагентная обработка судовых нефтесодержащих вод

Е.И. Шацкова, И.Г. Берёза

(Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, kulekina.jennie@gmail.com)

Приведены результаты экспериментальных исследований по применению высокомолекулярных флокулянтов для предварительной реагентной обработки льяльных вод, направляемых на судовую флотационную установку
Ключевые слова: судовые льяльные воды, флотация, реагентная обработка.
The results of experimental studies on the use of high-molecular flocculants for preliminary reagent treatment of bilge water sent to a ship's flotation unit are presented.
Key words: ship bilge water, flotation, reagent treatment.

В судовых флотационных сепараторах для интенсификации процесса очистки льяльных вод применяют метод реагентной обработки с последовательным использованием растворов минеральных коагулянтов и органических флокулянтов. Неорганические коагулянты (в основном соли алюминия и железа) используются для нейтрализации зарядов мелкодисперсных частиц загрязнений, а полимерные флокулянты коалесцируют нейтрализованные нефтяные частицы.

Однако, данный метод приводит к следующим негативным последствиям: повышается коррозионная активность воды, образуется большое количество осадка, происходит вторичное загрязнение воды продуктами гидролиза минеральных солей. Вышеперечисленных недостатков лишен метод предварительной обработки нефтесодержащих вод катионными и анионными органических флокулянтами, который давно и успешно используется в практике очистки нефтесодержащего стока на береговых сооружениях.

Применение ионогенных флокулянтов позволяет снизить коррозионную активность воды, сократить количество образующего осадка, уменьшить расход реагента, а также повысить эффективность очистки.

В настоящее время на береговых сооружениях для очистки нефтесодержащих вод применяются следующие высокомолекулярные флокулянты: Praestol 852, Praestol 853, Praestol 2540. Порошковые гранулированные флокулянты Praestol производятся в России ООО «Соленис» (г.Пермь).

Как известно из практики и теории флотации, выбор оптимального флокулянта для предварительной реагентной обработки зависит от многих факторов, в том числе: физико-химических свойств раствора нефтесодержащих вод, дисперсности нефтяных частиц, а также характеристик самого флокулянта – молекулярной массы, кинематической вязкости раствора и др.

Многообразие вышеперечисленных факторов, влияющих на процесс флотации, предопределяет необходимость экспериментальных исследований конкретной системы, состоящей из дисперсионной среды, дисперсной фазы и пузырьков воздуха.

Исследования по подбору флокулянта для реагентной обработки льяльных вод, поступающих в судовую флотационную установку, а также определение оптимального режима очистки проводились на специально разработанной и изготовленной опытной флотационной установке. В качестве объекта исследования использовались реальные льяльные воды, доставленные с судов-сборщиков (г. Новороссийск).

В результате экспериментальных исследований установлено, что наибольшую эффективность флотационной очистки льяльных вод от нефтепродуктов обеспечивает высокомолекулярный катионный флокулянт Praestol 853. Так, при дозе флокулянта 3 мг/л степень извлечения загрязнений составляла 92 %.

В процессе экспериментальных исследований был также определен

фракционный состав частиц нефтепродуктов в исходной и очищенной льяльной воде. Полученные результаты представлены в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 1 – Фракционный состав нефтепродуктов в льяльных водах

Концентрация нефтепродуктов, PPM	Размер частиц нефтепродуктов	
	мкм	%
420 - 570	< 0,1	19.6
	0.1 – 10	28.6
	10 – 40	24
	40 –100	13.4
	> 100	14.4

Таблица 2 – Фракционный состав нефтепродуктов в очищенной льяльной воде

Концентрация нефтепродуктов, PPM	Размер частиц нефтепродуктов (усредненные данные)	
	мкм	%
30 – 35	< 0.1	59.4
	0.1 – 10	40.6
	10 – 40	–
	40 –100	–
	> 100	–

Как следует из полученных результатов, в процессе флотационной очистки с предварительной реагентной обработкой флокулянтом Praestol 853 из льяльных вод полностью извлекаются грубодисперсные (> 100 мкм) и среднедисперсные (10 - 100 мкм) частицы нефтепродуктов. Согласно теории и практики очистки нефтесодержащих вод, извлечение оставшихся тонкодисперсных частиц нефтяных загрязнений (< 10 мкм) может обеспечить только оборудование глубокой очистки – адсорбционные фильтры.

1. Mihrin L M 2005 Prevention of marine pollution from ships and offshore structures (Spb IPK Biont)
2. Gandurina L V 2007 Wastewater treatment with synthetic flocculants (Moscow DAR/VODGEO)
3. Weitzer Y I 2010 High-molecular flocculants in water treatment processes (Moscow ASV)
4. Tikhomirov G I 2015 Analysis of methods and technical means of bilge water treatment Transportation in Russia. № 6. P. 288–292

Особенности распределения Ni в почвах геохимических ландшафтов Черноморского побережья России

И.Ю. Матасова

(Новороссийский учебный и научно-исследовательский морской биологический центр (филиал) ФГБОУ ВО Кубанский государственный университет, Новороссийск, semigorie@mail.ru)

Рассмотрены результаты изучения особенностей распределения Ni в почвах ландшафтов Черноморского побережья России (в гумусовом горизонте и по почвенному профилю). Проведено сравнение содержания элементов в исследуемых почвах с региональным фоном для почв Северного Кавказа.
Ключевые слова: геохимический ландшафты, почвы, кобальт, ванадий, хром, региональный фон
The results of studying the distribution of Ni in the soils of the landscapes of the Black Sea coast of Russia (in the humus horizon and in the soil profile) are considered. The content of elements in the studied soils is compared with the regional average concentration for the soils of the North Caucasus.
Keywords: geochemical landscapes, soils, cobalt, vanadium, chromium, regional average concentration

Детальное изучение особенностей распространения Ni ландшафтов Черноморского побережья России проводилось в рамках комплексного изучения юга России [1-3]. Для выявления региональных особенностей распределения элементов использовались значения фоновых концентраций для почв Северо-Западного Кавказа [4].

В гумусовом горизонте почв ландшафтов Черноморского побережья России средние (фоновые) концентрации Ni колеблются в пределах от 4.0 до $8.2 \cdot 10^{-3}$ %.

На изучаемой территории России среди исследованных биогенных ландшафтов преобладают ландшафты с концентрацией элемента ниже

регионального кларка – 78.6 %, среди техногенных – с концентрацией элемента на уровне регионального кларка (70 %). На исследуемой территории выявлено постепенное и неравномерное увеличение средней концентрации металла в почвах ландшафтов с юго-востока (здесь расположены биогенные ландшафты) к северо-западу (здесь территория занята преимущественно техногенными полеводческими ландшафтами). Такое распределение элемента может свидетельствовать об обогащении металлом верхнего гумусового горизонта почв вследствие развития различных техногенных процессов. В целом это согласуется выявленным в почвах крупных региональных ландшафтов юга РФ увеличением за 15-25 лет концентрации Ni в 1.5–2.5 раза [5].

В биогенных ландшафтах наименее обогащенными Ni является горизонт А (4.0-6.2·10^{-3} %). Концентрация металла неравномерно уменьшается с глубиной, достигая максимума в горизонте С (4.8-6.3·10^{-3} %) В пределах техногенных ландшафтов наибольшая концентрация металла, напротив, наблюдается в верхнем гумусовом горизонте (4-7·10^{-3} %), с глубиной концентрация металла в почвенных горизонтах неравномерно уменьшается (до 1.5-4.5·10^{-3} % в горизонте С).

На территории Черноморского побережья России выделен всего один участок с аномально высокой концентрацией Ni (в 1.5-3 раза выше фона), который расположен у северо-восточной окраины г. Большой Сочи.

1 Дьяченко, В. В. Картографирование геохимических ландшафтов Юга России (аспекты практического использования) / В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова, Л. Г. Дьяченко // География и природные ресурсы. – 2019. – № 3. – С. 16-25. – DOI 10.21782/GIPR0206-1619-2019-3(16-25).

2 Дьяченко, В. В. Ландшафтно-геохимическая дифференциация юга России / В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана): Доклады Всероссийской научной конференции, Москва, 18–20 октября 2016 года. Москва: Географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 2016. – С. 355-358.

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 науч.-практ. конф. Новороссийск,

2018. С. 31-39
4 Дьяченко, В. В. Фоновое содержание химических элементов в почвах физико-географических областей Юга России / В. В. Дьяченко, И. Ю. Матасова // Проблемы региональной экологии. 2012. № 4. С. 148-153.
5 Дьяченко, В. В. Проблемы загрязнения ландшафтов Краснодарского края и здоровье населения / В. В. Дьяченко, Л. Г. Дьяченко, Ю. А. Малыхин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 101. С. 1217-1228.

Гидрохимический мониторинг морской воды курортных территорий (на примере пляжной зоны Большого Сочи)

И.Ю. Матасова

(Новороссийский учебный и научно-исследовательский морской биологический центр (филиал) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Новороссийск, semigorie@mail.ru)

Рассмотрены результаты гидрохимических исследований морской воды в пределах пляжной зоны Большого Сочи. 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: Черное море, морская вода, гидрохимические показатели, нефтепродукты, тяжелые металлы, пестициды
The results of hydrochemical studies of seawater within the beach area of Greater Sochi 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 obtained data can be used for monitoring studies of the state of sea water under conditions of chronic anthropogenic, in particular recreational, load.
Keywords: Black Sea, sea water, hydrochemical indicators, petroleum products, heavy metals, pesticides

Большой Сочи – крупнейший город-курорт на территории Краснодарского края. В связи с пандемией и ограничением в настоящее время транспортного сообщения между Российской Федерацией и другими странами большое внимание уделяется развитию национального курортного и туристского бизнеса, поэтому отслеживание качества морской воды в пределах курортных территорий, особенно Большого Сочи, пляжная зона которого составляет 118 км (более 25 % Черноморского побережья России), актуально.

Отбор проб морской воды проводили стандартными методами на глубинах

от уреза воды до 15 м в марте 2020 г. (12 станций) и мае 2021 г. (8 станций).

В пробах морской воды стандартными методами определяли: температуру, окраску, прозрачность, водородный показатель, соленость, растворенный кислород, $БПК_5$, взвешенные вещества, биогенный состав (азот нитритов, азот нитратов, азот аммонийный, фосфаты), кремний, анионные поверхностно-активные вещества, металлы (железо общее, медь, свинец, кадмий, цинк, никель), нефтепродукты (суммарно), фенолы, хлорорганические пестициды.

Концентрация подавляющего большинства определяемых веществ в морской воде в период наблюдений не превышала установленных предельно-допустимых концентраций.

Превышение предельно-допустимых концентраций в марте 2020 г. зафиксировано по $БПК_5$ (до 1.7 раз) и хлорорганическим пестицидам (до 9 раз), в мае 2021 г. – только меди (до 1.2 раз), что, вероятно, связано с загрязнением морской среды в результате поверхностного смыва с берега и речным стоком.

Формирование значительных объемов поверхностного стока на данном участке побережья приходится на селитебные территории и сельскохозяйственные угодья [1]. В почвах и горных породах высокогорных участков, сопряженных с Большим Сочи, выявлены участки с аномальными концентраций меди, связанные с полиметаллическими рудопроявлениями, что также может оказывать определенное влияние на формирование геохимического спектра как поверхностного стока, так и прибрежных морских вод [2].

Полученные данные могут быть использованы при мониторинговых исследованиях состояния морской воды в условиях хронической антропогенной, в частности рекреационной, нагрузки.

1 Дьяченко В. В. Матасова И. Ю. Ландшафтно-геохимическая дифференциация юга России. // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана): Доклады Всероссийской научной конференции, Москва, 18–20 октября 2016 года. – Москва: Географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 2016. – С. 355-358.

2 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 / Ответственные редакторы: Н. А. Овчаренко, Т. В. Лохова. – Новороссийск: Пензенский государственный университет, 2018. – С. 31-39.

Применение карт геохимических ландшафтов как основы комплексной экологической оценки территории

А.Б. Санникова

(Новороссийский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Новороссийск, anna.san@bk.ru)

Карты геохимических ландшафтов являются незаменимой основой для оценки экологического состояния и экологического мониторинга регионов. Изучение природных факторов миграции в пределах отдельных геохимических ландшафтов дает возможность прогнозировать изменения, которые будут происходить в этих ландшафтах в условиях приложения определенного вида техногенной нагрузки, оценивать степень природного риска того или иного вида техногенной деятельности в различных условиях. Многоуровневая система классификации и оценки природных и техногенных факторов миграции химических элементов, заложенная в основу построения карт геохимических ландшафтов, создает предпосылки для их применения в выборе направлений хозяйственной деятельности и использования природных ресурсов в целях устойчивого развития территории.

***Ключевые слова*:** карты, геохимические ландшафты, качественная экологическая оценка, количественная экологическая оценка, техногенные преобразования.

Maps of geochemical landscapes are an irreplaceable basis for assessing the ecological state and for ecological monitoring of regions. The study of natural factors of migration within individual geochemical landscapes makes it possible to predict changes under conditions of a certain technogenic load, to assess the degree of risk of technogenic activity. Maps with a multilevel system of classification and assessment of natural and man-made factors of migration of chemical elements creates the prerequisites for their use in the choice of economic activity and the use of natural resources for the sustainable development of the territory.

***Keywords*:** maps, geochemical landscapes, qualitative environmental assessment, quantitative environmental assessment, technogenic transformations.

Карты геохимических ландшафтов, как показывает опыт многолетних эколого-геохимических исследований, проводимых по методике академика В.А. Алексеенко, являются незаменимой основой для оценки экологического состояния и экологического мониторинга регионов.

При ландшафтно-геохимических исследованиях особое внимание

уделяется техногенной миграции и классификации техногенных ландшафтов с точки зрения этого вида миграции [1, 2, 3]. Анализ карт геохимических ландшафтов позволяет сделать вывод о масштабах техногенной нагрузки на качественном, а на последующих стадиях экологических исследований и на количественном уровне с использованием конкретных показателей. Для каждого ландшафта рассчитываются фоновые и аномальные концентрации, показатели абсолютного и относительного накопления химических элементов и другие величины [4]. Корректна оценка экологических изменений, произошедших под влиянием одного внешнего фактора миграции в аналогичных ландшафтно-геохимических условиях. Особо актуально использование карт геохимических ландшафтов при оценке влияния техногенной трансформации территории [5, 6].

Изучение природных факторов миграции в пределах отдельных геохимических ландшафтов дает возможность прогнозировать те изменения, которые будут происходить в этих ландшафтах в условиях приложения определенного вида техногенной нагрузки, оценивать степень природного риска того или иного вида техногенной деятельности в различных ландшафтно-геохимических условиях. Так, например, в условиях с интенсивным расчленением рельефа (а, следовательно, большей интенсивностью механической миграции и водообмена) сведение растительного покрова нанесет значительно больший урон почвам этой территории вследствие увеличения механической денудации. А строительные сооружения в пределах мерзлотных ландшафтов в большей степени подвержены риску, чем в ландшафтах, где многолетнемерзлые грунты отсутствуют.

Специальные аналитические исследования геохимических особенностей отдельных природных или техногенных факторов или их групп (определение изменений фоновых содержаний, выявление аномалий и т.д.) позволяют выявить приоритетные факторы, определяющие геохимическое своеобразие ландшафтов [1, 2, 3]. Полученные результаты могут также служить основанием

для оценки таксономического значения приоритетных факторов и соответствующих перестановок в классификационной схеме.

Таким образом, многоуровневая система классификации и оценки природных и техногенных факторов миграции химических элементов, заложенная в основу построения карт геохимических ландшафтов, создает предпосылки для их применения в выборе направлений хозяйственной деятельности и использования природных ресурсов в целях устойчивого развития территории.

1 Алексеенко В.А., Матасова И.Ю., Аникеенко Р.В., Бофанова А.Б., Головинский П.Л. Карта геохимических ландшафтов Краснодарского края и Республики Адыгея. М. 1:500000. Пятигорск: Северо-Кавказское аэрогеодезическое предприятие, 2000.
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. // Развитие социально-культурной сферы Кубани. Анапа, 1998. С. 35-37.
3 Алексеенко В.А., Бофанова А.Б., Головинский П.Л., Мирошников А.Е., Томилко В.А. Использование региональных карт геохимических ландшафтов в качестве основы комплексной оценки состояния регионов. // В сб. Университеты России – фундаментальные исследования: География. Материалы всероссийской научной конференции. Москва-Новороссийск, 2000. С. 46-47.
4 Санникова А.Б. Экология: количественная оценка геохимических систем биосферы. Практикум: уч. пособие (гриф УМО). Краснодар: КубГТУ, 2011. 125 с.
5 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.
6 Алексеенко В.А., Бофанова А.Б., Матасова И.Ю. Количественная оценка накопления тяжелых металлов в почвах техногенных ландшафтов. // Геохимия биосферы. Новороссийск, 1999. С. 197-203.

Разработка муниципальной программы для повышения экологической безопасности населения

А.Б. Санникова

(Новороссийский политехнический институт (филиал)ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Новороссийск,

anna.san@bk.ru)

Экологическая обстановка в МО г. Новороссийск характеризуется как «напряженная». При этом отсутствует муниципальная программа по обеспечению экологической безопасности населения и охране окружающей среды МО г. Новороссийск. Предлагается к реализации разработанный автором проект муниципальной программы «Экологическая безопасность и охрана окружающей среды жизнедеятельности населения МО г. Новороссийск». Выполнение запланированных в программе мероприятий позволит с научным подходом за счет совершенствования организационно-финансовых и иных механизмов улучшить состояние объектов окружающей среды и повысить качество жизни населения на территории муниципального образования.
***Ключевые слова*:** муниципальная программа, охрана окружающей среды, качество жизни населения.
The ecological situation in Novorossiysk is characterized as “tense”. Municipal programs to ensure the environmental safety of the population and environmental protection of Novorossiysk have not been developed and not being implemented. The author proposes a draft municipal program "Environmental safety and environmental protection of the life of the population of Novorossiysk". The implementation of the measures planned in the program will improve the state of environmental objects and improve the quality of life of the population on the territory of the municipality.
***Keywords*:** municipal program, environmental protection, quality of life of the population.

В «Стратегии социально-экономического развития МО г. Новороссийск до 2030 г.» подчеркивается, что человек есть «высшая ценность», а создание «благоприятных условий для развития человеческого капитала на общее благо является ключевым приоритетом». Анализ результатов реализации муниципальных программ и оценка качества жизни населения показали, что проблемы охраны окружающей среды остаются нерешенными и вызывают недовольство населения [1, 2] .

Уровень загрязнения объектов окружающей среды в МО г. Новороссийск один из самых высоких в регионе после МО г. Краснодар [3, 4, 5]. Специфичность экологической ситуации Новороссийска определяет его статус крупнейшего по грузообороту порта России и крупного промышленного центра на Азово-Черноморском побережье. Высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха обусловлен значительной техногенной нагрузкой, связанной с выбросами автотранспорта, предприятий строительной, топливной, пищевой отраслей, перегрузочными комплексами нефтепродуктов и сыпучих грузов, со сложными геоморфологическими условиями и низкой рассеивающей способностью приземного слоя атмосферы [6, 7]. В 2020 г., по данным Министерства природных ресурсов Краснодарского края, качество воздуха в Новороссийске оценивалось как

неблагоприятное для здоровья населения при I степени загрязнения. По данным Росприроднадзора и санитарно-эпидемиологических служб города, экологическая обстановка Новороссийска характеризуется как «напряженная». При этом среди всех муниципальных программ проблеме охраны окружающей среды посвящена только одна из 8 подпрограмм в программе «Комплексное развитие городского хозяйства на территории МО г. Новороссийск». Целью данной подпрограммы является «Обеспечение сохранности зеленых насаждений» с объемом финансирования на 5 лет в 4.246 млн. руб. Мероприятия включают только борьбу с карантинными вредителями. А среди запланированных 12 муниципальных флагманских проектов близок к целям экологической безопасности только МФП «Новороссийск – город здоровья». Конечно же, для создания экологически безопасной, комфортной среды с целью повышения качества жизни населения этого недостаточно.

В условиях нарастания экологических проблем для устойчивого развития МО г. Новороссийск, роста его привлекательности и комфортности проживания населения автором был подготовлен проект муниципальной программы «Экологическая безопасность и охрана окружающей среды жизнедеятельности населения МО г. Новороссийск». Цель разработанной программы: улучшение экологической обстановки на территории МО г. Новороссийск путём сохранения и восстановления природной среды, повышения экологической безопасности хозяйственной деятельности и развития экологической культуры населения. Муниципальная программа может быть сопряжена с реализацией нацпроекта «Экология».

В предложенной муниципальной программе для снижения загрязнения взвешенными веществами приземного слоя тропосферы рекомендуется использовать биогеохимические барьеры, созданные вдоль автодорог из специально подобранных видов древесной растительности. В программе также запланированы мероприятии по организации современного уровня очистки ливневых и канализационных стоков, сбрасываемых в Новороссийскую бухту и реновации городской системы водоочистки. Очень важно для получения безопасной для здоровья населения

сельскохозяйственной продукции, в том числе и с личных огородов и садов, оптимальное содержание, не достигающее аномально-высоких концентраций, микроэлементов, к которым относятся тяжелые металлы [8]. Для этого рекомендуется проводить ежегодно экологический мониторинг состояния почв и растительности по методике профессора В.А. Алексеенко. Необходимо предотвращать загрязнение техногенным мусором и образование стихийных свалок в рекреационных зонах, на особо охраняемых природных территориях. Для этого в программе запланированы не только мероприятия по очистке зон загрязнений и ликвидации стихийных свалок, но и развитие экологической культуры населения, особенно молодого поколения. Общий объем финансирования на 5 лет составит 134 млн. руб за счет средств местного бюджета.

Ожидаемый эффект от реализации программы: повышение экологической безопасности территории и качества жизни населения, снижение заболеваемости и смертности жителей, повышение естественного прироста, как следствие рост численности трудоспособного населения. По данным ВОЗ, здоровье населения на 20–25% зависит от состояния окружающей среды, на 12% от состояния системы здравоохранения.

Таким образом, реализация разработанной программы «Экологическая безопасность и охрана окружающей среды жизнедеятельности населения МО г. Новороссийск» позволит улучшить состояния объектов окружающей среды и повысить качество жизни населения.

1 Санникова А.Б. Эффективность управления реализацией государственной демографической политики на территории Краснодарского края. //Фундаментальные исследования. 2019. № 4. С. 103–107. DOI 10.17513/fr.42446

2 Санникова А.Б. Особенности региональной политики в сфере здравоохранения на примере Краснодарского края. // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте: труды XXVI Международной конференции. Новороссийск, 2018. С. 150–151.

3 Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Малыхин Ю.А. Проблемы загрязнения ландшафтов Краснодарского края и здоровье населения. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного

университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 07(101).
4 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.
5 Алексеенко В.А., Бофанова А.Б., Матасова И.Ю. Количественная оценка накопления тяжелых металлов в почвах техногенных ландшафтов. // Геохимия биосферы. 1999. С. 197-203.
6 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. // Развитие социально-культурной сферы Кубани. – Анапа, 1998. С. 35-37.
7 Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Ландшафтно-геохимическая дифференциация юга России. // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана). Доклады Всероссийской научной конференции. Москва, 18-20 октября 2016 г. - М.: Географический факультет МГУ, 2016.
8 Санникова А.Б. Влияние экологических факторов юга Краснодарского края на устойчивое развитие живых организмов. // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. Краснодарское региональное отделение. Краснодар, 2017. С. 264-270.

Техногенная трансформация пойменных экосистем Западного Кавказа

А.Б. Санникова

(Новороссийский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Новороссийск, anna.san@bk.ru)

Различие климатических факторов, сложный рельеф, особенности почвообразующих и почвоподстилающих горных пород, почв, растительного покрова обусловили многообразие пойменных ландшафтов Западного Кавказа. Большую площадь пойм рек на территории Западного Кавказа занимают биогенные ландшафты. Хозяйственная деятельность человека в процессе освоения пойменных территорий преобразила исходные природные ландшафты. Некоторые были изменены частично. Например, вырубка леса привела к смене его видового состава. Другие природные пойменные ландшафты исчезли совсем, и на их месте появились техногенные ландшафты (преимущественно сельскохозяйственные и селитебные). Комплексные детальные исследования пойменных ландшафтов Западного Кавказа позволили оценить эколого-геохимическое состояние лесных экосистем и динамику их изменений при техногенной трансформации.

Ключевые слова: ландшафты, пойма реки, тяжелые металлы, техногенез, количественная эколого-геохимическая оценка.

Different climatic factors, complicated relief, peculiarities of under-soil rocks, soils, vegetation cover caused the variety of flood geochemical landscapes in the Western Caucasus. A considerable part of flood lands on the territory of the Western Caucasus is

occupied by biogenic landscapes. Man's activities have considerably transformed initial natural flood landscapes. Some of them were changed partially. For example, deforestation resulted in changing of proportion of species. Some natural flood landscapes have vanished entirely and were substituted by new technogenic ones (for the most part by agricultural and residential landscapes). Composite detailed investigations of the Western Caucasus flood landscapes made it possible to assess the ecological-geochemical status of forest ecosystems and its alteration under technogenic transformation.
***Keywords*:** landscapes, floodplains of rivers, heavy metals, technogenesis, quantitative ecological and geochemical assessment.

Еще 80 лет назад поймы рек южных склонов Западного Кавказа были представлены, в основном, лиственными лесами на терригенных аллювиальных отложениях четвертичного возраста и на карбонатно-терригенных отложениях палеогена-мела. В настоящее время всё большие площади в поймах рек занимают техногенные ландшафты. Среди них преобладают населенные пункты сельского типа и полеводческие ландшафты с многолетними культурами (сады).

В результате техногенного воздействия изменяются направление и интенсивность природной миграции химических элементов, в том числе тяжелых металлов. Исследования региональных особенностей динамики тяжелых металлов невозможны без изучения ландшафтно-геохимических условий и оценки влияния внешних факторов миграции [1, 2, 3].

Проведенные комплексные эколого-геохимические исследования позволяют заключить следующее:

1) Коренные изменения природных пойменных ландшафтов и образование на их месте новых техногенных сопровождается как концентрацией в почвах ряда металлов, так и их выносом [4, 5].

2) Состав концентрирующихся и выносимых элементов определяется как природными особенностями ландшафтов, так и видом техногенных преобразований.

3) Среди пойменных ландшафтов Западного Кавказа более распространены лиственные леса на терригенных аллювиальных отложениях четвертичного возраста с гидрокарбонатно-кальциевым классом водной

миграции в почвах, по геоморфологическим особенностям относящиеся к транссупераквальным ландшафтам среднегорья.

4) В почвах преобладающего пойменного ландшафта лесов фоновая концентрация Sr в 1,7 раз превышает региональную фоновую концентрацию, рассчитанную для территории Западного Кавказа. Фоновые содержания Cu, Zn, Pb, Mn, Ba, Cr, Ni практически не превышают (отличие в 1.2 раза) региональные фоны.

5) При сравнении фоновых концентраций большинства изучаемых металлов в почвах преобладающего пойменного ландшафта с кларками для почв по А.П. Виноградову заметны большие отличия. Фоновые концентрации Pb, Cu, Zn в почве пойменного лиственного леса в 4.3; 3.0; 2.6 раз, соответственно, выше кларка для почв. Фоновые концентрации Ba, Mo, Mn, Ni в лесной почве в 1.6–1.3 раза выше кларка, а фоновая концентрация Cr в 1,6 раз ниже. Фоновые концентрации Ti и Sr практически не отличаются от кларка.

6) Фоновые концентрации в листьях бука, граба и ольхи, произрастающих в почвах преобладающего пойменного ландшафта, Sr, Ba, Ti, Pb в 31.1-1.5 раза выше среднего содержания в растениях биосферы (по Д.П. Малюге, А.И. Перельману и др.), а Cr, Zn, Mo, Cu в 27.8-2.2 раза ниже.

7) Бук отличается от граба и ольхи, произрастающих в том же пойменном лесу, более высокими концентрациями в листьях Mn, Ba, Zn. Ольха отличается повышенными концентрациями в листьях Cr, Sr, Cu.

8) Все большие территории пойменных лесов переходят в техногенные ландшафты населенных пунктов и садов [6]. В верхнем 10-сантиметровом слое почв населенных пунктов накапливаются, согласно рассчитанным показателям абсолютного накопления (по В.А. Алексеенко), до 4 т/км^2 Sr, а выносится до 35 т/км^2 Pb, Ti, Cu, Ba, Cr, Ni, Zn, Mn. В яблоневых садах происходит накопление Ni, Zn, Cr, Sr, Mn, Cu (до 200 т/км^2) и вынос Mo, Pb, Ba, Ti (до 48 т/км^2).

Результаты количественной эколого-геохимической оценки накопления (выноса) химических элементов в почвах техногенных ландшафтов должны

быть использованы при выборе их оптимального размещения, выращиваемых сельскохозяйственных культур, вида и количества вносимых химических удобрений.

1 Алексеенко В.А., Матасова И.Ю., Аникеенко Р.В., Бофанова А.Б., Головинский П.Л. Карта геохимических ландшафтов Краснодарского края и Республики Адыгея. М. 1:500000. Пятигорск: Северо-Кавказское аэрогеодезическое предприятие, 2000.
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. // Развитие социально-культурной сферы Кубани. – Анапа, 1998. С. 35-37.
3 Алексеенко В.А., Бофанова А.Б., Головинский П.Л., Мирошников А.Е., Томилко В.А. Использование региональных карт геохимических ландшафтов в качестве основы комплексной оценки состояния регионов. // В сб. Университеты России – фундаментальные исследования: География. Материалы всероссийской научной конференции. Москва-Новороссийск, 2000. С. 46-47.
4 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.
5 Алексеенко В.А., Бофанова А.Б., Матасова И.Ю. Количественная оценка накопления тяжелых металлов в почвах техногенных ландшафтов. // Геохимия биосферы. Новороссийск, 1999. С. 197-203.
6 Санникова А.Б. Особенности регионального управления развитием сельского хозяйства в Краснодарском крае. // Фундаментальные исследования. 2020. № 5. С. 155–159. DOI 10.17513/fr.42763

Анализ изменений фитоценотической структуры макрофитобентоса в районе ПНБ «Шесхарис» в последние 40 лет (1977-2017 гг.)

Н.С. Березенко

(Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, e-mail: n-berezenko6753@rambler.ru)

Приводятся данные об изменениях структуры сообществ макрофитов под влиянием различного уровня нефтяного загрязнения в районе глубоководного выпуска сточных вод ПНБ «Шесхарис» в последние 40 лет (1977-2017 гг.). Таксономическая и видовая структура фитоценозов в различные периоды исследований имеет выраженные качественные различия. Продолжается деградация фитоценозов вблизи глубоководного выпуска нефтесодержащих сточных вод.

Ключевые слова: макрофитобентос, цистозира, фитоценоз, нефтяное загрязнение.
Information is given on changes in the structure of macrophyte communities under the influence of different levels of oil pollution in the area of deep-water discharge of waste waters of the PNB «Sheskharis» in the last 40 years (1977-2017). The taxonomic and species structure of phytocenoses in different periods of research has pronounced qualitative differences. The degradation of phytocenoses continues near the deep-water discharge of oily wastewater.
Keywords: macrophytobenthos, Cystoseira, phytocenosis, oil pollution.

Техногенное воздействие на морские экосистемы характеризуемого района началось с ввода в эксплуатацию в 1963 г. нефтебазы «Шесхарис». Период исследований макрофитобентоса в районе глубоководного выпуска сточных вод ПНБ «Шесхарис» можно условно разделить на три временных промежутка, каждый из которых характеризуется различным уровнем нефтяного загрязнения морской среды.

Первый (1963-1977 гг.) характеризуется наиболее высокими концентрациями нефтепродуктов в море, превышающими ПДК (0,05 мг/л) в 200 раз [1]. Второй (1978-2001 гг.) – до 1996 г. концентрация нефтепродуктов в море снижается более чем в 100 раз (до 0,09 мг/л). В 1997 г. в результате аварии в акваторию района попало около 700 т нефти, что заметно повлияло на уровень её нефтяного загрязнения [2]. Третий (2001-2017 гг.) – содержание нефтепродуктов в море варьирует в пределах ПДК (от 0,03 до 0,05 мг/л).

Анализ и обобщение результатов исследований показал, что в течение последних сорока лет (1977-2017 гг.) общее видовое разнообразие фитоценозов и биомасса водорослей претерпевали многолетние вариации разной степени и направленности. Макрофитобентос характеризуемого района относится к классу формаций сообщества морских водорослей твердых грунтов – *Thalassophycion sclerochthonophytia*, включает группы формаций *Chlorophyta*, *Phaeophyta* и *Rhodophyta*. Большинство семейств (57,1%) и родов (69,7 %) относятся к монотипическим. Основу составляют сообщества бурых водорослей рода *Cystoseira* [3].

Таксономическая и видовая структура фитоценозов в каждый из выделенных периодов исследований имеет выраженные качественные

различия. В ряду уменьшения нефтяного загрязнения по периодам прослеживается увеличение видового разнообразия (максимум в 1996 г. – 94 вида) и резкий его спад при остром токсическом воздействии (авария 1997 г. – 39 видов). Совпадение видовых таксонов по периодам увеличивается в ряду *Phaeophyta → Chlorophyta → Rhodophyta*.

Во все периоды исследований прослеживаются четкие тенденции изменения зависимости соотношений экологических групп водорослей от удалённости места произрастания относительно оголовка выпуска сточных вод. Таксономическая структура макрофитобентоса вблизи глубоководного выпуска нефтесодержащих сточных вод упрощенная. При различном удалении от места выпуска сточных вод наиболее напряженная ситуация прослеживается по направлению переноса сточных вод течением – к нефтяному причалу ПНБ «Шесхрис» [3]. Динамика биомасс макрофитобентоса в зависимости от удаления места выпуска нефтесодержащих сточных вод подтверждает выделенные тенденции изменчивости.

1. Березенко Н.С., Болгова Л.В., Халилова М.Р. Развитие морских экосистем в условиях эвтрофирования и нефтяного загрязнения. // III Всесоюзн. конф., по мор. биол., Севастополь: Тез. докл. Ч. 1. Киев, 1988. С. 96-97.
2. Березенко Н.С. Изменение донной растительности Новороссийской бухты (1997–2001 гг.). // Геоэкологические исследования и охрана недр. М.: Геоинформцентр, 2002. Вып. 2. С. 67–77.
3. Березенко Н.С., Литвинская С.А. Анализ изменений фитоценотической структуры макрофитобентоса в районе выпуска нефтесодержащих сточных вод. //Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. Вып.4. С.45.

Современная концепция развития Smart City

А.Е. Воробьев

(РУДН, Москва)

Представлена современная концепция Smart City. Показано развитие этой концепции во времени. Раскрыты основные закономерности развития мегаполисов.

Ключевые слова: умный город, концепция, развитие.

The modern concept of a Smart city is presented. The development of this concept over time

is shown. The main patterns of the development of megacities are revealed.
Keywords: smart city, concept, development.

Современные мегаполисы, со временем накопившие значительное количество организационных, экономических, социальных, техногенных и экологических проблем, в настоящее время становятся экспериментальными площадками предстоящей цифровой эпохи [1]. Имеющееся в них сочетание новейших IT-технологий с городской инфраструктурой и сферой услуг способно не только существенно упорядочить и улучшить жизнь горожан, но и сэкономить значительные финансы. Так, объем мирового рынка «Smart city» в 2020 г. составит 124 млрд. $. Тем не менее, единого пути к преобразованию имеющихся мегаполисов в «Умный город» в настоящее времяне существует.

Непосредственно термин «Smart City» стал использоваться в социуме в конце 1960 годов и причиной тому послужило весьма бурное развитие довольно мощных вычислительных машин и технологий. Однако, необходимо отметить, что в этот период большинство моделей «Умных городов» разрабатывались проектировщиками и архитекторами по заказу местных властей, крупных компаний и инвесторов, и поэтому лишь только отчасти учитывали пожелания самих горожан.

При этом развитие городов подчиняется определенным, четко выраженным закономерностям, во многом определяемым численностью горожан, развитием транспортной сети (позволившей городам расти в ширь), лифтам (обусловившим возникновение небоскребов). Следующее изменение городской среды стало обязанным появлению такой системообразующей функции, как «Умный город».

Экономический кризис 2008 г. (как фактор появления новых возможностей) привел к переосмыслению имеющихся городских задач [3]: концепция «Умного города» стала включать в себя необходимость эффективного планирования всех аспектов муниципальной жизни (экономики, транспортной сети, коммунальных услуг, здравоохранения, образования, техногенной, экологической и общественной безопасности), через

цифровизацию большинства городских процессов.

«Умный город» – это и умные районы, умные улицы, умные кварталы, умные дома и умные квартиры [2]. Так, умные приборы отслеживают потребление электроэнергии и расход воды, а кроме того - фиксируют качество воздуха в режиме онлайн, что значительно помогает государству оптимизировать имеющиеся расходы на них, рационально их использовать, принимать адекватные меры в необходимых случаях, а также совершенствовать обеспечение требуемыми ресурсами.

1. Воробьев А.Е., Дьяченко В.В., Воробьев К.А., Вишневецкая В.В. Геоинжиниринг: области распространения, аспекты безопасности в техносфере и особенности управления. // Безопасность в техносфере. 2020. №1 (январь–февраль). С. 3-12.
2. Макаревич И.В. Концепция «умный город» на примере города Сингапур. //Устойчивое развитие науки и образования. 2019. № 3. С. 29-31.
3. Умный город: технологии и перспективы развития. //https://future2day.ru/umnyj-gorod-texnologii-i-perspektivy-razvitiya.

Информационно-методологические аспекты проведения строительно-технических экспертиз объектов нефтегазовой отрасли

А.Е. Воробьев

(РУДН, Москва)

Представлена методология проведения строительно-технических экспертиз объектов нефтегазовой отрасли. Показано, какие материалы эксперт должен получить для производства судебной строительно-технической экспертизы. Дано, какие исследованиядолжна включать осуществляемая судебная строительно-техническая экспертиза.Представлены методы осуществления судебной строительно-технической экспертизы и показано, что должна содержать основаная часть отчета по экспертизе.

Ключевые слова:строительно-техническая экспертиза, метология, проведение

The methodology of construction and technical expertise of oil and gas industry facilities is presented. It is shown what materials the expert should receive for the production of forensic construction and technical expertise. It is given which studies should include the ongoing forensic construction and technical expertise.The methods of carrying out forensic construction and technical expertise are presented and it is shown that the main part of the examination report should contain.

Keywords: construction and technical expertise, metrology, conducting

1. Для производства судебной строительно-технической экспертизы эксперт должен получить на рассмотрение следующие материалы дела:

•определение Арбитражного суда о назначении судебной строительно-технической экспертизы;

• договор генерального подряда на строительство или реконструкцию;

•исполнительную документацию.

На этапе анализа документов, эксперту необходимо установить – достаточно ли имеющихся документов для производства судебной строительно-технической экспертизы, а их качество - соответствует тому, чтобы объективно проводить требуемые исследования.

Осуществляемая судебная строительно-техническая экспертиза включает в себя исследования:

- объекта строительства и эксплуатации (участок гидравлических испытаний шлейфов правого берега и отстойник - амбар);

- участков местности, функционально связанных со строительными объектами и объектами эксплуатации;

- проектно-сметной и исполнительной документации, а также документов, в которых содержатся сведения о событии, произошедшем в сфере строительного производства или эксплуатации строительных объектов и ставшем предметом судебного разбирательства.

Результатом строительно- экспертизы являются факты, устанавливаемые на основе специальных строительно-технических знаний и на их основе анализа имеющейся ситуации [1].

2. После чего эксперт должен указать используемые методы осуществления судебной строительно-технической экспертизы:

•информационный и ситуационный анализ, а также технико-правовое исследование имеющихся у эксперта документов, служащих для экспертизы;

•натурный осмотр объекта;

•исследования отобранных проб в лабораторных условиях.

•аналитический метод исследований, заключающийся в сопоставлении полученных на осмотре объектов результатов с имеющющейся строительной документацией, а также существующими нормативными актами, соответствующими исследуемой ситуации.

3. В основной части эксперт должен расписать содержание и результаты исследований, и сформулировать выводов по поставленным арбитражным судом вопросам [2].

1.Сухоносова К.Т., Фёдорова М.Ю., Абанкин А.Д., Карпик И.С. Судебная строительно-техническая экспертиза, как род судебных инженерно-технических экспертиз. // Сб. статей IX Международной научно-практической конференции «Инновационные научные исследования: теория, методология, практика». Пенза. 2017. С. 116-118.

2.Воробьев А.Е., Дьяченко В.В., Вильчинская О.В., Корчагина А.В. Основы природопользования: экологические, экономические и правовые аспекты. / Под ред. Дьяченко В.В. Уч. пособие (гриф УМО). – Изд. Феникс, Ростов-на-Дону, 2007. 542 с.

Процессы управления очисткой пылегазового потока электрофильтрами

Н.К. Веремьев, К.Н. Веремьев, С.Е. Баранов, В.И. Сикорский

(ООО «НПФ «АВТЭК», Новороссийск, Россия, e-mail: vnk@avtec.ru)

Для оптимизации работы электрофильтра авторами предлагается способ комплексного управления электрофильтром, который заключается в следующем – на последующем поле электрофильтра ограничивают напряжение до величины, при которой не происходят пробои межэлектродного пространства. Далее на предыдущем поле изменяют параметры длительности гашения после пробоя, величину глубины отработки после пробоя и величину скорости нарастания напряжения после пробоя. При этом измеряют величину среднего тока и напряжения на последующем поле, определяя минимальное значение среднего напряжения и максимального значения среднего тока на этом поле. Это показывает, что количество пыли в потоке становиться минимальным и предыдущее поля работает в оптимальном режиме. Используя описанные режимы работу достигается максимальная эффективность очистки отходящих газов различных промышленных объектов.

Ключевые слова: электрофильтр, оптимизации работы, способ комплексного управления напряжение, пробой, эффективность

To optimize the operation of the electrofilter, the authors propose a method for complex control of the electrofilter, which consists in the following - on the subsequent field of the electrofilter, voltage is limited to a value at which interelectrode space does not break. Then, parameters of duration of blanking after breakdown, value of depth of blanking after breakdown and value of rate of voltage rise after breakdown are changed on the previous field. At the same time value of average current and voltage on the following field is

measured, determining minimum value of average voltage and maximum value of average current on this field. This shows that the amount of dust in the stream becomes minimal and the previous field operates in optimal mode. Using the described operating modes, maximum efficiency of cleaning off-gases of various industrial facilities is achieved.
Keywords: electrofilter, optimization of operation, method of complex control of voltage, breakdown, efficiency

Основная задача в процессе электрической очисткой отходящих технологических пылегазовых потоков, от пылисостоит в том, чтобы максимально очистить отходящий газ и уменьшить загрязнение окружающей среды. По мере движения пылегазового потока в электрофильтре, его характеристики меняются. Во-первых, количество пыли на единицу объема уменьшается по причине осаждения на осадительные электроды, и изменяется дисперсный состав, так ка более крупная пыль оседает раньше. Поэтому электрофильтр разделен на поля, и каждое поле питается своим агрегатом питания, таким образов в каждом поле можно поддерживать электрические параметры на оптимальном уровне.

Известно, что коэффициент полезного действия поля электрофильтра, прямо пропорционален квадрату среднего напряжения на электродах фильтра. Поэтому для эффективной очистки газов, необходимо поддерживать максимально возможное напряжение на электродах фильтра. Вследствие стохастических процессов, проистекающих в межэлектродном пространстве, максимально возможное напряжение постоянно изменяется. Поэтому критерием достижения максимально возможного напряжения является искровой пробой в камере фильтра. При искровом пробое происходит потеря вольт-секундной площади, а значит снижение величины среднего напряжения. Поэтому мы должны относительно быстро поднимать напряжение, и оптимально обрабатывать процесс восстановления после искрового пробоя. Этот процесс состоит в том, чтобы измеряя параметры напряжения на электродах фильтра в до искровой период времени, формировать форсировочный угол управления, который позволяет восстановить напряжение на электродах фильтра за один полупериод питающей сети [1,2].

На эффективность работы электрофильтра влияет процесс осаждения пыли на электроды. По мере осаждения пыли на электродах скапливается слой пыли, на котором возникает электрический заряд, который не успел стечь на осадительный электрод. Этот заряд препятствует осаждению вновь прибывающей пыли. Поэтому электроды необходимо регенерировать. Очистка электродов должна происходит в нужный момент времени. Если слой пыли не достаточный, то при регенерации возникнет взмучивание и вторичный пылеунос. Если пыли станет много, то ухудшиться степень осаждения. Поэтому при чистых электродах измеряют величину среднего значения тока и напряжения фильтра, эти данные фиксируются.

Рассчитываем $U_{ср1}/I_{ср1}=K_1$. Затем постоянно производят измерения этих параметров $U_{срт}/I_{срт}=K_2$. Когда соотношение K_2/K_1 - превышает 1.2 включается регенерация [3].

Для оптимизации работы электрофильтра используем способ комплексного управления электрофильтром. Данный способ заключается в следующем – на последующем поле электрофильтра ограничивают напряжение до величины, при которой не происходят пробои межэлектродного пространства. Далее на предыдущем поле изменяют параметры длительности гашения после пробоя, величину глубины отработки после пробоя и величину скорости нарастания напряжения после пробоя. При этом измеряют величину среднего тока и напряжения на последующем поле, определяя минимальное значение среднего напряжения и максимального значения среднего тока на этом поле. Это показывает, что количество пыли в потоке становиться минимальным и предыдущее поля работает в оптимальном режиме. Данные параметры фиксируются и процесс переходит на следующую пару полей [4]

Используя описанные режимы работы достигается максимальная эффективность очистки отходящих газов различных промышленных объектов.

1. Веремьев Н.К. и др. Патент RU 2 660 157 C1. Способ автоматического форсированного восстановления напряжения после различного характера пробоев в электрофильтре. 2017г.
2. Веремьев Н.К. и др. Патент RU 2 736 431C1. Способ автоматического восстановления напряжения после искровых пробоев в электрофильтре, при снижении коэффициента пульсаций на электродах фильтра до критической величины. 2020 г.
3. Веремьев Н.К. и др. Патент RU 2 738 632C1. Способ регенерации коронирующих и осадительных электродов электрофильтра. 2020 г.
4. Веремьев Н.К. и др. Патент RU 2 739 155C1. Способ комплексного управления электрофильтром при очистке от пыли и туманов.2020 г.

ПРЕДСТАВЛЯЕМ ЖУРНАЛ

Журнал «Фотоника»

Научно-технический журнал о новых оптических и фотонных технологиях и их использовании в научных исследованиях, индустрии (металлообработка и стеклопродукция), медицине и биологии; рассматривает широкий круг вопросов оптического материаловеденья, оптических систем и элементов (лазерных, светотехнических, электрооптических, оптоволоконных, фотовольтаических), систем машинного зрения и навигации, контрольно-измерительной аппаратуры.

Издательство журнала «Фотоника»РИЦ «Техносфера»

г. Москва, ул. Краснопролетарская, 16, под.5

Для писем**:** 125319, г. Москва, а/я 91

Тел.:+7(495)234-01-10

Факс: +7(495) 956-33-46

E-mail: rec-knigi@electronics.ru

URL: http://www.technosphera.ru

Журнал «Фотоника» посвящен оптическим системам любого типа (электрооптическим, оптоволоконным, лазерным, полностью оптическим), их элементам и технологиям. Журнал включен в список ВАК и WebofScience.

Издатель – ЗАО «РИЦ Техносфера».

Цель издания – глубокое и подробное освещение вопросов, связанных с оптическими системами передачи, оптическими технологиями, оптическими материалами и элементами, оборудованием и станками, используемыми в оптических системах.

Журнал рассматривает следующие темы:

- фотовольтаика, фотоэлектронные преобразователи;
- лазеры и лазерные системы;
- оптические системы и элементы;
- электрооптические системы;
- ВОЛС и оптические системы связи;
- оптические волокна и кабели;
- технологическое оптическое оборудование;
- контроль и измерение;
- новые оптические технологии.

Журнал адресован тем, кто принимает решение – руководителям предприятий и ведомств, менеджерам разных уровней; тем, кто отвечает за технический уровень производства – инженерам, технологам и специалистам различного профиля; тем, кто хочет повысить свой технический и образовательный уровень – аспирантам и студентам старших курсов профильных вузов.

Правила оформления статей на сайте - http://www.technosphera.ru

ISSN 1998-071X

Научно-издательский центр “ИНФРА-М”

БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

Всероссийский научно-методический и информационный журнал

Издается с июля 2006 года

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 обеспечение безопасности в техносфере , в частности промышленной и экологической безопасности, защите в чрезвычайных ситуациях, безопасности труда, методам и средствам обеспечения безопасности, образованию по безопасности

Издается при организационной поддержке:

- МГТУ им. Н.Э. Баумана;
- научно- методического совета по безопасности жизнедеятельности Минобрнауки России;
- учебно-методического объединения вузов по университетскому политехническому образованию.

Предназначен для:

- научных работников;
- практиков;
- преподавателей;
- аспирантов;
- студентов;
- риск-менеджеров;
- конструкторов и проектантов систем безопасности

Подписной индекс Агентства “Роспечать” - 18316

Подписаться можно также в альтернативных агентствах и в Научно-издательском центре “ИНФРА-М”

Координаты Издательства и редакции журнала можно узнать на сайте журнала www.magbvt.ru;
e-mail: bvt@magbvt.ru, magbvt@list.ru

Адрес: 127282, Москва, ул. Полярная 31В, стр. 1
тел: (495)380-05- 41, (495)363 - 42 -70 (доб.390)
факс: (495) 363 - 92 -12; www.infra-m.ru
подписка: тел: (495) 380-05 -40 (доб.249),
e-mail: poster1@infra-m.ru

Научное издание

ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – 2021

Труды XXIX Международной Конференции
г. Новороссийск, 13–18 сентября 2021 г.

Научный редактор ` В.Е. Привалов

Подписано в печать 24.08.2021	Формат 60x84/16
Бумага офсетная	Печать офсетная
Печ. л. 11,25	Тираж 100 экз.
Усл. печ. л. 10,46	Заказ № 338
Уч.-изд. л. 8,0	

НФ ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова»
353919, г. Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, 75
Типография