

**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
Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова
Кубанский государственный технологический университет
Новороссийский политехнический институт
Научно-исследовательский центр «Репер»
Фонд содействия развитию малых форм предприятий
в научно-технической сфере**

**ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ,
БИОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И ТРАНСПОРТЕ- 2017**

Труды XXV Международной Конференции
г. Новороссийск, Краснодарский край
4 - 9 сентября 2017 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
2017

УДК 62+66
ББК 30

**ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ,
БИОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И ТРАНСПОРТЕ- 2017** –Новороссийск:
Изд-во ГМУ, 2017.- 278 с.

В сборник включены тезисы докладов, представленные на XXV Международной Конференции «ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ, БИОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И ТРАНСПОРТЕ- 2017». Сборник рассчитан на научных сотрудников, инженеров, аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

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
Туркин В.А. – д-р техн. наук, проф.
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.

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

Информационная поддержка журналов -
«Безопасность в Техносфере» и «Фотоника»

ISBN

© Государственный Морской университет
имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2017

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ КОНФЕРЕНЦИИ

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

ОРГКОМИТЕТ

Э.И. Акопов, ФИАН, Москва
В.М. Арпишкин, ООР, С.-Петербург
А.В. Бабкин, СПбПУ Петра Великого, С.-Петербург
В.И. Балобан, БалтГТУ, С.-Петербург
Г.А. Баранов, ВНИИЭФА, С.-Петербург
А.С. Борейшо, БалтГТУ, С.-Петербург
А.Н. Власов, РРТА, Рязань
А.Е. Воробьев, РУДН, Москва
Г.И. Долгих, ТОИ ДВО РАН, Владивосток
В.В. Дьяченко, НПИ КубГТУ, Новороссийск
В.С. Иванов, СПбГУ, С.-Петербург
И.Г. Иванов, ЮФУ, Ростов-на-Дону
В.Н. Курятов, НИИ "Полюс", Москва
Е.Л. Латуш, ЮФУ, Ростов-на-Дону
В.А. Лопота, СПбПУ Петра Великого, С.-Петербург
В.П. Минаев, ЛА, Москва
В.Я. Панченко, ИПЛИТ РАН, Шатура Московской обл.
В.Е. Привалов (Председатель), СПбПУ Петра Великого, 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, (зам. Председателя), ГМУ, Новороссийск
В.В. Тучин, СаратовГУ, Саратов
А.В. Файвисович, ГМУ, Новороссийск
А.Б. Федорцов, СЗПИ, С.-Петербург
А.Э. Фотиади, СПбПУ Петра Великого, С.-Петербург
Е.В. Хекерт, ГМУ, Новороссийск
Ю.В. Чугуй, КТИ СО РАН, Новосибирск
В.Г. Шеманин, НПИ КубГТУ, Новороссийск
А.Ю. Задорожня (Ученый секретарь), ГМУ, Новороссийск
И.А. Щербаков, ИОФ РАН, Москва

От редактора

С 1992 года мы регулярно проводили в Санкт-Петербурге Школу-семинар-выставку "Лазеры для медицины и биологии". С 1994 года 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 года 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 года тематика конференции ещё расширена, высокие технологии не ограничены лазерами, отражены вопросы техносферной безопасности и нанотехнологий. С 2007 года Международная конференция "Высокие технологии в медицине, биологии и геоэкологии -2007" проводится в Новороссийске. В 2008 году название конференции было конкретизировано. С 2014 года конференция проводится в Государственном Морском университете им. адмирала Ф.Ф.Ушакова.

На конференции 2017 года представлены 132 доклада по указанной тематике. Авторы докладов работают в различных научных учреждениях и университетах Санкт-Петербурга, Москвы, Московской области (Троицк, Фрязино, Шатура), Рязани, Ижевска, Самары, Волгограда, Екатеринбурга, Томска, Новосибирска, Владивостока, Уфы, Курска, Ростова-на-Дону, Туапсе, Краснодар, Новороссийска, Минска (Беларусь), Бишкека (Кыргызстан), Софии (Болгария).

По материалам наших конференций, прошедших в 2007-2008 годах, изданы Вестники СПбО Академии инженерных наук им. А.М.Прохорова (№3, 4

и 5). Материалы прежних конференций опубликованы в 8 томах Proceedings of SPIE. В 2009-2014 г.г. 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 (список ВАК и SCOPUS). Статьи прошлого года размещены в выпусках 4 - 9 Оптического журнала за 2017 г. В этом году заметно меньше докладов по ЛПМ. В прошлом году была отдельная секция. Они будут у нас, по-видимому, по чётным годам.

Перед оглавлением дана информация о журналах, осуществляющих информационную поддержку нашей конференции.

С предложениями и за справками обращаться к профессору В.Е.Привалову в Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, (195251, Санкт-Петербург, СПбПУ, ИФНиТ), электронная почта: vaevpriv@yandex.ru и к профессору В.Г.Шеманину в Новороссийский политехнический институт (353900, Новороссийск, ул. К. Маркса, 20), электронная почта: vshemanin@nbkstu.org.ru или vshemanin@mail.ru

СЕКЦИЯ А-1 – ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА

Высокоскоростная мультисенсорная технология измерения, контроля и 3D анализа объектов сложной формы в условиях производства

В.Н. Савин, В.А. Степанов, М.В. Шадрин

(Рязань)

Последние тенденции развития техники требуют новых подходов к проведению точных измерений. Координатные измерения геометрических параметров трехмерных объектов применяются в самых различных областях промышленности. Предъявляются все более высокие требования к точности изготовления и качеству выпускаемой продукции. В связи с этим возникает задача высокоточных оперативных измерений геометрических характеристик изделий в процессе изготовления для своевременного выявления брака, контроля износа после испытаний и исследования объектов сложной формы.

В настоящее время существует много прикладных областей, связанных с такими измерениями, например, оцифровка реального объекта для задач обратного инжиниринга; контроль качества; непрерывный процесс измерения объектов на конвейере, робототехника и т.д. Необходимость решения подобных задач привела к необходимости создания бесконтактных измерительных устройств (3D лазерные сканеры), которые находят все более широкое применение от высокоточных промышленных решений до домашних сканеров с низкой точностью. В данной работе рассматриваются подходы по повышению точности лазерных триангуляционных измерителей [1, 2].

Целью данной работы является исследование алгоритмов калибровки лазерных триангуляционных измерителей, создание и реализация алгоритма калибровки внешних параметров измерительной системы, повышающего точность и устойчивость выполнения измерений и разработка мультисенсорной технологии, контроля и 3D анализа объектов сложной формы в условиях производства.

На базе разработанной нами 5-осевой мультисенсорной лазерной КИМ для

совершенствования» бесконтактного 3D сканирования апробированы алгоритмы калибровки внешних параметров КИМ, позволившие осуществить повышение точности лазерной триангуляции от 10 мкм, увеличение скорости работы в условиях движущихся объектов и чувствительности к отражательной способности и бликам; исключить ошибки при измерении краев, кромок и ребер; реализовать реверсивный инжиниринг и контроль инструмента.

1. Демкин В.Н., Степанов В.А., Шадрин М.В. Системы быстрого прототипирования с лазерным сканированием // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2013. № 3(177). С. 137.
2. Шадрин М.В., Савин В.Н. Погрешности 3D сканирования окрашенных объектов методом лазерной триангуляции // Труды 3 Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в науке, производстве и образовании». Рязань. 2014.

Лазерное устройство для измерения и контроля внутренних отверстий изделия

К.В. Пугин, В.Н. Савин, В.А. Степанов, М.В. Шадрин

(Рязань)

Одной из наиболее частых операций в металлообрабатывающей промышленности является создание круглых отверстий различных диаметров. Во многих отраслях промышленности точностные требования к внутренним диаметрам очень высоки. Для измерений чаще используют такие механические контактные устройства индикаторного типа как нутромеры. Данные устройства успешно решают свою задачу уже ни один десяток лет. Другой более современный способ – это использование высокоточных и дорогостоящих координатно-измерительных машин (КИМ) Однако оба этих способа имеют существенные недостатки.

Нутромер предназначен для измерения очень узкого набора диаметров, не

превышающий нескольких миллиметров. Это приводит к тому, что практически под каждый диаметр нужен свой нутромер. Нутромер необходимо перед измерением калибровать каждый раз, т.е. выставлять его «ноль». Для каждого контролируемого диаметра необходимо иметь свой калибр, поэтому на одном предприятии может находиться до сотни калибров различного диаметра. Что касается КИМ, то это лабораторный и низкопроизводительный вариант, неподходящий для условий производства.

Целью данной работы является создание компактного портативного бесконтактного лазерного устройства для контроля внутренних отверстий с диаметром до 0,5 м с точностью 0,005 мм. При этом точность не зависит от измеряемого диаметра.

Устройство представляет собой лазерный прибор на основе адаптивного контроля фокусного расстояния. Внутренняя стенка трубы сканируется лазерным кольцом в некотором диапазоне. На основе оператора Лапласа находится положение на трубе с наибольшей глубиной резкости на основе вычисления модифицированного лапласиана. Данное расстояние будет соответствовать плоскости идеальной фокусировки объектива с очень малой собственной глубиной резкости. Данное расстояние заранее известно. На основе данного положения лазерного кольца с прецизионной точностью вычисляется внутренний диаметр отверстия.

В основе метода лежит получение последовательности (стека) изображений поверхности неизвестного объекта на разных фокусных расстояниях. Изменение фокусировки производится путем смещения объекта, смещением сканера или изменением фокусного расстояния линзы устройства. Каждое изображение соответствует определенному фокусному расстоянию. Для определения наилучшего фокуса анализируется трехмерная карта глубины. С помощью специального оператора и методов интерполяции находится наилучшее положение относительной степени фокусировки между изображениями. Данная информация однозначно определяет координаты

поверхности объекта с точностью лучше, чем 1 мкм. Влияние шероховатости и оптической неравномерности поверхности минимально влияют на точность метода.

В рамках данной работы реализован надежный алгоритм для адаптивной фокусировки и калибровки лазерного кольца. Проведены эксперименты по определению влияния кривизны радиуса трубы, ее диаметра и чистоты обработки поверхности на точность измерений.

Область применения: машиностроение, оборонная промышленность, станкостроение, авиакосмическая промышленность, автомобилестроение, ЖД, литье и т.д.

Применение акустооптики в системах точного наведения лазерного излучения на цель

*О.Л. Головков, Г.А. Купцова, В.А. Степанов
(Рязань)*

В современной технике часто возникает ситуация, когда необходимо с высокой скоростью и точностью навести лазерное излучение на объект-цель. Обычно лазерная система, подобно артиллерийскому орудью, механически направляется на цель, или лазерное излучение наводится на объект-цель с помощью управляемых зеркал. Оба метода отличаются низкой скоростью и недостаточной точностью наведения. Например, для наведения лазерного излучения на цель размером 1 м на расстоянии 10 000 м необходима точность наведения 20", что невозможно обеспечить механическими методами. Если цель подвижная, то дискретность шага слежения за целью должна быть 20". Высокую скорость и необходимую точность наведения лазерного излучения на цель можно обеспечить акустооптическими методами.

Лазерная система наведения (далее ЛСН) [1] обеспечивает точность наведения на цель 10" благодаря использованию акустооптическимх

дефлекторов (далее АОД) изготовленных из кристалла парателлуриата (TeO_2). В ЛСН линейно поляризованное излучение $\text{Nd}^{+3}:\text{YAG}$ -лазера отклоняется в двух плоскостях парой АОД-ов, проходит через вращатель линейной поляризации и падает на светоделительный призмный блок. Светоделительный призмный блок выполнен таким образом, что, в зависимости от направления линейной поляризации, направляет лазерное излучение или в телескоп дальнего канала управления, или в телескоп ближнего канала управления, при этом 1% лазерного излучения обоих каналов по схеме уголкового отражателя направляет в измерительный канал. Измерительный канал используется для компенсации нестабильности спектра генерации $\text{Nd}^{+3}:\text{YAG}$ -лазера и влияния температуры на скорость звуковой волны в кристалле TeO_2 , и состоит из телескопа, который выполняет функцию длиннофокусной линзы, в фокусе которой располагается позиционно-чувствительный фотоприемник.

ЛСН позволяет управлять лазерным лучом на расстоянии 0,3 – 1,5 км с точностью 1,0' и максимальным углом сканирования 17° в ближнем канале управления; на расстоянии 1,5 – 10 км с точностью 10" и максимальным углом сканирования $2,5^\circ$ в дальнем канале управления. Скорость переключения точек управления 20 мкс. Разрешение АОД-ов при апертуре 10 мм – 1024 точек. Так как максимальный угол отклонения лазерного излучения АОД-ами в дальнем канале управления не превышает $2,5^\circ$, то ЛСН необходимо устанавливать на механическую платформу, имеющую дискретность шага и точность наведения на цель в двух плоскостях $\pm 1^\circ$. Такое построение позволяет многократно увеличить быстродействие и точность наведения лазерного излучения на объект-цель [2].

Подобный принцип управления лазерным излучением с помощью АОД-ов может применяться для увеличения расстояния и точности работы лазерных дальномеров, лидаров, боевых лазеров и т.п.

1 Купцова Г.А. Лазерная система телеориентации объекта.// Заявка на изобретение №2016130858.

2 Головков О.Л. Система управления лазерным излучением.// Заявка на изобретение №2016130811.

Особенности спектра генерации Nd⁺³:YAG лазера

О.Л. Головков, Г.А. Купцова, В.А. Степанов

(Рязань)

При создании лазерной системы наведения, использующей акустооптические дефлекторы, было установлено, что Nd⁺³:YAG-лазер в нормальных условиях может генерировать одновременно две длины волны – 1064 и 1061 нм, что является отказом работы системы. Данный эффект у длинных многочастотных резонаторов был обнаружен впервые. Для анализа спектра излучения Nd⁺³:YAG-лазера была использована система уравнений Танга-Статца-ДеМарса. На конференциях ЛИИ-2014 и 2015 [1] было постулировано, что на долгоживущем мультиплете $^4F_{3/2}$ населенность подуровней мультиплета подчиняется распределению Больцмана и не зависит от скоростей переходов между подуровнями мультиплета. В результате принятия такого условия впервые найдено стационарное решение уравнений Танга-Статца-ДеМарса для трех линий усиления Nd⁺³:YAG-лазера, участвующих в генерации на длинах волн 1064 и 1061 нм, что позволило показать влияние термонаведенного двулучепреломления в кристалле YAG на одновременную генерацию двух длин волн 1064 и 1061 нм лазером с внутррезонаторным окном Брюстера при нормальной температуре.

Согласно классической тепловой модели – при накачке лампами высокого давления термонаведенное двулучепреломление на оптической оси кристалла YAG отсутствует. Для объяснения возникновения значительного термонаведенного двулучепреломления на оптической оси кристалла YAG при аксиальной накачке несколькими лазерными диодами были проведены расчеты температурного поля формируемого лучами накачки, распространяющимися под углом к оптической оси кристалла YAG. В результате было установлено,

что на оптической оси кристалла при аксиальной накачке несколькими лазерными диодами может формироваться значительное термонаведенное двулучепреломление.

Известно, что спектр генерации Nd³⁺:YAG-лазера при нагреве смещается в длинноволновую область на величину $d(\nu)/d(T) = 5 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1} \text{ К}^{-1}$. В результате стационарного решения системы уравнений Танга-Статца-ДеМарса для семи линий усиления Nd³⁺:YAG-лазера и анализа балансных уравнений подуровней мультиплета $^4I_{11/2}$ с учетом: заселения подуровня с энергией – 2110 см⁻¹ генерацией на длине волны 1064,2 нм; теплового заселения подуровней согласно распределения Больцмана; времени жизни подуровней; и фонон-электронным воздействием кристаллической решетки на ионы неодима, было установлено, что смещение спектра излучения Nd³⁺:YAG-лазера в длинноволновую область вызвано следующими факторами:

- линией усиления с длиной волны 1068,2 нм;
- тепловым уширением линий усиления;
- малой населенностью подуровня мультиплета $^4I_{11/2}$ с энергией 2148 см⁻¹ по сравнению с нижележащими подуровнями, связанного с линией усиления на длине волны 1068,2 нм.

Установлено, что малая населенность подуровня мультиплета $^4I_{11/2}$ с энергией 2148 см⁻¹ возможна только в случае, когда скорость фонон-электронной релаксации между подуровнями мультиплета $^4I_{11/2}$ как минимум на порядок больше скорости установления теплового равновесия и скорости перехода на основной уровень $^4I_{9/2}$ [2].

1. Головков О.Л., Купцова Г.А., Степанов В.А. Учет скорости релаксационных переходов между подуровнями мультиплета в спектре генерации YAG: Nd-лазера.// Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2014. №1 (189). С. 55-59.
2. Golovkov O.L., Kuptsova G.A., Stepanov V.A. Non- radiative transitions between the sublevels of the working lower multiplet of the YAG:Nd laser: Effects on the

Применение триангуляционного лазерного датчика для измерения внутриглазного давления

О.Л. Головков, К.В. Иванищев

(Рязань)

Широко известны аппланационные методы измерения внутриглазного давления (далее ВГД), принятые в качестве эталонных, когда на поверхность незащищенной роговицы глаза устанавливаются определенные грузы или плунжеры, что вызывает психологические неудобства пациентов, поскольку глаз необходимо обезболить, обездвижить, заблокировать веки глаза от закрывания.

Методы измерения ВГД за счет деформации глазного яблока через веко имеют проблемы, вызванные влиянием века на результат измерения. Особенно это проявляется при измерении ВГД у лиц монголоидной расы, обладающей толстыми веками.

При использовании бесконтактных пневматических методов необходимо обеспечить полное уплощение роговицы глаза с помощью пневматического импульса, что может вызвать неприятные болевые ощущения у человека и даже травмировать глаз. Также наблюдаются значительные расхождения между результатами измерений высоких значений ВГД стандартным контактным способом и представленными бесконтактными пневматическими способами [1]. Применение мощного пневматического импульса необходимо для учета ригидности поверхности роговицы глаза.

Анализ формулы Фриденвальда [2] показал, что минимальное давление, при котором происходит деформация поверхности роговицы глаза, равно внутриглазному давлению. Подобрать с помощью грузов давление, равное

ВГД, практически невозможно, а определить минимальную величину давления пневматических импульсов на поверхность роговицы глаза, при котором начинается деформация поверхности роговицы глаза, можно. Поэтому вместо одного мощного пневматического (воздушного) удара достаточно формировать воздушный поток на поверхности роговицы глаза в виде множества пневматических импульсов возрастающей силы (от минимального значения). Одновременно высокоточным лазерным триангуляционным способом [3] измеряют деформацию поверхности роговицы, как изменение расстояние от корпуса прибора до поверхности роговицы. Для измерения ВГД с учетом ригидности роговицы глаза определяют величину минимального пневматического импульсного давления, когда поверхность роговицы глаза начнет деформироваться.

Для определения давления пневматических импульсов необходимо точно знать расстояние от выходного воздушного отверстия до поверхности роговицы глаза, для чего достаточно использовать вышеупомянутый триангуляционный датчик.

Для учета движения глаза, при котором может происходить медленное изменение расстояния от поверхности роговицы глаза до выходного отверстия корпуса, целесообразно производить измерение расстояния, как в моменты воздействия пневматических импульсов, так и в интервалы времени между пневматическими импульсами.

На данное техническое решение подана заявка на изобретение.

1. Forbes M., Piko G., Grolman B. A noncontact applanation tonometer. // Arch. Ophthalmol. 1974. Vol. 91, № 2. P. 134 – 140.
2. Нестеров А.П., Бунин А.Я., Кацнельсон Л.А. Внутриглазное давление. Физиология и патология. // М.: Наука. – 1974. С. 32.
3. Венедиктов А.З. Основные принципы построения оптико-электронных систем триангуляционных измерителей. // Вестник РГРТА.2004.Вып.15. С.45-51

Накачка ионных лазеров на парах металлов с РПК разнополяряными импульсами тока

И.Г. Иванов

(Ростов-на-Дону, ЮФУ)

Использование для создания плазмы в лазерах на парах металлов импульсно-периодического разряда, по сравнению со стационарным разрядом, имеет ряд преимуществ: позволяет снизить тепловую нагрузку на активный элемент; при высоких пиковых значениях тока позволяет сообщить активной среде оптимальный уровень накачки для данного квантового перехода; что обеспечивает максимальную пиковую мощность генерации; позволяет избежать неоднородного горения разряда, что наиболее критично для разрядов поперечного типа с полым катодом (РПК). Исследования показывают, что оптимальная длительность импульсов тока накачки для лазеров с РПК при введении паров путем термоиспарения составляет от долей до единиц микросекунд [1], а при использовании катодного распыления—до сотен микросекунд. Традиционно формирование импульсов постоянного тока осуществляется путем полного или частичного разряда накопительного конденсатора (накопительной линии) через высоковольтный коммутатор. В то же время при использовании разрядной трубки с симметричной конструкцией электродного узла её питание целесообразно осуществлять без коммутатора, непосредственно от сети переменного тока. При этом формируются разнополяряные импульсы тока, укорочение которых до долей миллисекунды обеспечивается использованием ёмкостного или ёмкостно-индуктивного реактивного балласта. Балласты такого типа повышают коэффициент мощности лазера по цепи питания и иногда используются в газоразрядных источниках света. Каждые полпериода при перезажигании разряда возникает пик напряжения на лампе, что для РПК способствует повышению энергии первичных электронов в катодной области разряда. Далее эти электроны обеспечивают формирование в плазме вторичных электронов с повышенной

энергией, что в конечном счете обеспечивает и повышение скорости накачки лазерного перехода.

1. Зинченко С.П., Иванов И.Г. Импульсные ионные лазеры с полым катодом: параметры накачки и генерации. // Квантовая электроника. 2012. Т.42. №6. С.518-523.

Ионные лазеры на парах металлов с разрядом поперечного типа и комбинированной активной средой

И.Г. Иванов, А.А. Олейников

(Ростов-на-Дону, ЮФУ)

Одним из привлекательных свойств излучения ионных лазеров на парах металлов и на благородных газах является высокое качество выходного излучения (монохроматичность, когерентность), а также способность работы этих лазеров на нескольких лазерных линиях. Однако число таких линий все-таки является ограниченным, а их распределение по спектру может не отвечать требованиям конкретной задачи. Целью данной работы является получение многоволнового режима излучения одновременно на нескольких квантовых переходах за счёт использования в одном лазере смеси нескольких активных сред, что увеличивает набор лазерных линий и позволяет получить излучение в нужных участках спектра. Общие требования к совмещаемым активным средам сформулированы нами в [1].

Как показывают исследования, развитый спектр лазерного излучения в ионах металлов и благородных газов реализуется при накачке в газоразрядной плазме следующими способами: путём столкновений атомов металла с ионами буферного газа (реакция перезарядки); путём столкновений возбужденных (метастабильных) атомов буферного газа с атомами металла (пеннинговская ионизация) или с ионами тяжёлых инертных газов, таких как Ar, Kr и др. (резонансная передача возбуждения). Перечисленные реакции наиболее

эффективно реализуются в плазме отрицательного свечения газового разряда поперечного типа с полым катодом (РПК).

В докладе, в качестве примера комбинирования сред, сообщается об исследовании ионных лазеров, работающих на смеси паров нескольких металлов, а также на смеси паров металла с тяжелым инертным газом при накачке квантовых переходов в РПК. Экспериментально найдены условия разряда, обеспечивающие различное соотношение мощности излучения на отдельных линиях для лазера непрерывного действия на смеси гелия (буферный газ) с парами двух металлов—кадмия и ртути, и излучающего одновременно на синей ($\lambda 441,6$ нм) (накачка пеннинговской ионизацией), двух зелёных ($\lambda 533,7/537,8$ нм) линиях иона кадмия и на красной ($\lambda 615$ нм) линии иона ртути (накачка перезарядкой). При этом мощность излучения на красной линии ртути была значительно выше, чем на красной линии иона кадмия в лазере на смеси гелия с парами кадмия [2], что приближает соотношение цветов в данном лазере к естественному "белому" свету.

Использование в одном лазере криптона и паров ртути в смеси с гелием (буферный газ) привело к генерации в импульсно-периодическом режиме одновременно на сине-зелёных линиях иона криптона ($\lambda 431,8$ нм и $\lambda 469,4$ нм) (накачка резонансной передачей возбуждения) и на красной ($\lambda 615$ нм) и ИК ($\lambda 794,5$ нм) линиях иона ртути (накачка перезарядкой) также с возможностью управления соотношением мощностей излучения на линиях изменением условий разряда.

Представляется интересным также исследовать импульсный лазер с РПК на смеси неона (буферный газ) с парами таллия и галлия, где эффективная одновременная генерация возможна в видимом диапазоне длин волн на пяти линиях (594,9...719,8 нм) и ряде линий в среднем ИК диапазоне при накачке перезарядкой.

1. Иванов И.Г. В Трудах XXIII международной научной Конференции "Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и

транспорте - 2015". Новороссийск. 2015. С. 58-59.

2. Сэм М.Ф. В Энциклопедии низкотемпературной плазмы. Сер. Б. Том XI-4 "Газовые и плазменные лазеры". М.: Физматлит. 2005. С. 422-439.

Двухпоточная передача данных в ВОЛС с модовым мультиплексированием

Д.В. Свистунов

(Санкт-Петербург)

В последнее время активно проводятся работы по использованию отдельных мод мало- и многомодовых волноводов в качестве независимых информационных каналов волоконных систем. При этом, за счет организации квазиодномодовых каналов внутри трактового многомодового волокна, кратно увеличивается число каналов передачи данных и существенно повышается коэффициент широкополосности каждого канала из-за исключения влияния модовой дисперсии на уширение передаваемых импульсов.

Такое функционирование систем основано на применении метода модового мультиплексирования, в котором производится селективное возбуждение нескольких мод на входе трактового волокна с последующим детектированием их на выходе. Помимо повышения информационной емкости системы, селективное возбуждение мод близких порядков позволяет повысить степень защиты передаваемых данных, затрудняя выделение параллельных потоков данных из общего нелегально считанного сигнала [1]. Кроме того, для повышения степени защиты данных можно применять специальные схемы построения передающего тракта систем. В докладе предложена одна из таких схем, в которой проводится выделение потоков логических 1 и 0 из исходного потока данных, после чего эти потоки одновременно передаются разными модами волокна, принадлежащими к одной группе мод. Показано, что такой метод передачи данных значительно повышает уровень их защиты. Этот подход можно применить как при строительстве новых систем, так и при

реконструкции линий, проложенных в последнее десятилетие с использованием современных оптических волокон, изготавливаемых по усовершенствованной технологии и демонстрирующих низкий уровень межмодовой связи.

1. D.V. Svistunov / В кн.: Network Coding and Data Compression: Theory, Applications and Challenges. // Ed. M. Simmons. NY: Nova Science, 2015, p.151-161

Новый метод управления длительностью импульсов генерации в твердотельных лазерах

В. И. Донин, Д. В. Яковин, А. В. Грибанов, М. Д. Яковин

(Новосибирск)

Мы предлагаем новый метод (СЗАОМ) осуществления работы лазера в режиме модуляции резонатора с синхронизацией мод путем использования сферического зеркала (СЗ) и одного акустооптического модулятора бегущей волны (АОМ), а также с использованием дополнительного сокращения импульса генерации путем образования керровской линзы в удваивающем частоту кристалле или другом нелинейном элементе внутри резонатора [1, 2]. На основе предложенного метода были разработаны твердотельные лазеры (лазер Nd:YAG с диодной накачкой и др.) с высокой пиковой мощностью при высоких частотах повторения импульсов.

В настоящем докладе представлены временные, спектральные и энергетические выходные характеристики таких лазеров. Предлагаемый метод необходим для ряда лазерных приложений: медицина, нелинейная оптика (в том числе получение мощного УФ, видимого и инфракрасного излучения), рамановская спектроскопия, прецизионная обработка материалов, и т.д.

1. Донин В.И., Яковин Д.В., Грибанов А.В. Лазер с модуляцией добротности резонатора и синхронизацией мод. Патент РФ № 2478242. // Бюл. № 9,

27.03.2013.

2. Donin V.I., Yakovin D.V., Griбанov A. V. Diode-pumped green Nd:YAG laser with Q-switch and mode locking. // Opt. Lett. 2012. vol. 37. No. 3, pp. 338-340.

Определение гармонических составляющих шума на фоне других видов шумов лазерного излучения

А.И. Бодров, В.С. Зоркин, В.В. Кюн, А.Я. Паюров,

А.А. Сипайло, Е.Г. Чуляева

(Рязань)

Исследована стабильность характеристик промышленно выпускаемых частотно-стабилизированных He-Ne лазеров и волноводных CO₂-лазеров серии LCD.

За последние несколько лет, исследование нестабильности оптической частоты излучения He-Ne лазеров ЛГН-303 методами корреляционного анализа выявило присутствие гармонических составляющих с различными периодами колебаний во временной области интервала усреднения в несколько секунд. Это соответствует ситуации, когда система автоподстройки частоты уже не отрабатывает такие возмущения. Исследования стабильности мощности показали незначительное наличие гармонических составляющих. Проанализированы результаты данных исследований, выполненных различными методами измерений [1, 2].

CO₂-лазеры отличает широкий спектр режимов генерации, возможность непрерывной и дискретной перестройки по длинам волны и частоте, высокое качество пространственных параметров излучения [3]. Жесткая конкуренция типов колебаний при однородном уширении линии усиления в волноводном CO₂-лазере обеспечивает реализацию одночастотного режима генерации практически без применения дополнительных селективирующих устройств. Это позволяет уже пассивными и полуактивными (термокомпенсации и т.п.)

методами достичь приемлемой стабильности характеристик лазерного излучения.

Наибольшая нестабильность мощности и частоты излучения в одночастотных волноводных CO₂-лазерах наблюдается в первоначальный момент включения и вызвана главным образом тепловыми процессами. Типичное поведение мощности от времени можно представить функцией, содержащей гармонические и аperiodические составляющие

$$U(t) = A \cdot \exp\left(-\frac{\tau_i}{t}\right) \sin[\omega_i \cdot t - \varphi] \quad (1)$$

где A – амплитуда сигнала; τ_i – постоянная тепловых колебаний; ω – круговая частота i -ой гармонической составляющей колебаний мощности излучения; φ – начальная фаза.

Типичное время установления теплового равновесия в волноводных CO₂-лазерах типа LCD составляет 20-30 мин. В последующем в спектре флуктуаций наблюдаются гармонические составляющие незначительной амплитуды – в пределах 0,1%. Кроме того, имеют место длительные интервалы (до 20-30 минут), в течение которых колебания мощности излучения не превышают 1%, т.н. участки "автостабилизации". В первую очередь это связано с высоким к.п.д. волноводных CO₂-лазеров и CO₂-систем вообще. В результате этого изменения мощности излучения вызывают компенсирующие изменения длины резонатора. Для сокращения времени установления теплового режима в конструкции лазера предлагаются методы термокомпенсации, предварительного, ускоренного разогрева и т.п.

1. П. Г. Воробьев, В. С. Гуров, А. А. Кондрахин, Е. Г. Чуляева. Гелий-неоновый частотно-стабилизированный лазер – мера длины в интерферометрах. //Изд. Горячая Линия - Телеком, 2015.
2. Д. У. Аллан. Вариации Аллана: история создания, преимущества и недостатки, основные области применения. //Гироскопия и навигация. 2015. № 4 (91). С. 3-28.

3. Сайт фирмы АО «Плазма». URL: <http://www.plasmalabs.ru/> (дата обращения 30.01.2017).

Исследование эффективности лечения амоксиклавом стафилококковой инфекции в небных миндалинах с помощью оптических методов

Е.В. Тимченко, П.Е.Тимченко, А.А. Асадова, Ю.Д. Итяксов

(Самара)

Наиболее значимым бактериальным возбудителем острого тонзиллита (ангины) является гемолитический стрептококк группы А. Отрицательные последствия при неправильном выборе антибиотиков и сроков лечения проявляются в сохранении возбудителей в очаге воспаления и появлении резистентной флоры с последующей хронизацией острого процесса. Поэтому актуальной задачей является подбор эффективного антибиотика для лечения стрептококковой инфекции.

В работе проведен анализ эффективности лечения стафилококковой инфекции Амоксиклавом в небных миндалинах с помощью методов спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) и конфокальной флуоресцентной микроскопии. Определяли различия спектров КР для образцов слюны и культуры стафилококковой инфекции до и после применения антибиотиков. Проводился микроскопический анализ исследуемых объектов.

В ходе экспериментов было исследовано 8 образцов различных штампов стафилококка ATCC №25923 (группа I) и ATCC №35591 (группа II) находящихся в слюне пациентов и физрастворе. Исследуемые образцы подвергались лечению антибиотиком Амоксиклав дозировкой 500мг/10 мл.

Спектральные характеристики изучались с помощью экспериментального стенда, включающего в себя высокоразрешающий цифровой спектрометр Andor Shamrock sr-303i с встроенной охлаждаемой камерой DV420A-OE, волоконно-оптический зонд для спектроскопии комбинационного рассеяния

RPB785, совмещённый с лазерным модулем LuxxMaster LML-785.0RB-04 (с регулируемой мощностью до 500 мВт, длина волны 785 нм). Выделение КР спектра на фоне автофлуоресценции проводилось методом полиномиальной аппроксимации флуоресцентной составляющей и вычитания её из регистрируемых спектров. Обработку спектров КР проводили в программе Wolfram Mathematica 9.

Установлены спектральные изменения при лечении нёбных миндалин антибиотиком Амоксиклав. С помощью введенных оптических коэффициентов показано, что при дозировке антибиотика 500мг/10 мл исчезают линии на волновых числах 735 см^{-1} и 783 см^{-1} , 986 см^{-1} и 1635 см^{-1} , соответствующие аденину, цитозину, протеинам и амиду I, что говорит об эффективности лечения. Результаты исследований подтверждены микроскопическим анализом.

Спектральный анализ поверхности аортальных клапанов сердца до и в процессе их децеллюляризации

Е.В. Тимченко, П.Е. Тимченко, Л.Т. Волова, Д.А. Долгушкин,

П.Ю.Шалковская, Д. С. Трапезников

(Самара)

В данной работе представлены результаты применения метода спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) для качественного анализа поверхностей клапанов сердца баранов до и в процессе их децеллюляризации. При анализе спектров КР было установлено, что основные различия проявляются на волновых числах 812 см^{-1} , 1062 см^{-1} , 1340 см^{-1} и 1440 см^{-1} , соответствующих фосфодиэфирной связи РНК; OSO^{-3} симметричному растяжению гликозаминогликанов и хондроитин-6-сульфату; моде деформации белков и нуклеиновых кислот (ДНК); протеинам, липидам. Оптический анализ показал, что при выполнении децеллюляризации на поверхности клапанов снижается содержание гликозаминогликанов, белков, липидов; сохраняется

высокое содержание ДНК.

В качестве материала исследования использованы аортальные клапаны половозрелых баранов. Децеллюляризацию клапанов проводили согласно протоколам [1, 2] в модификации на базе Института экспериментальной медицины и биотехнологий СамГМУ. Выделяли этап 1 децеллюляризации до ферментативной обработки и этап 2 после неё.

В результате анализа было установлено, что с помощью введенных оптических коэффициентов можно контролировать эффективность процесса децеллюляризации клапанов сердца.

1. Lichtenberg A., Tudorache I., Cebotari S. et al. A Preclinical testing of tissue-engineered heart valves re-endothelialized under simulated physiological conditions. // Circulation 2006; 114(1 Suppl): I5 59-65.
2. Lichtenberg A. et al. Biological scaffolds for heart valve tissue engineering. //Methods Mol. Med. 2007. vol. 140. no. 2. pp. 309-317.

Анализ изменений состава поверхности суставного гиалинового хряща, происходящих с возрастом, методом спектроскопии комбинационного рассеяния

*П.Е.Тимченко, Е.В. Тимченко, Л.Т. Волова, Д.А. Долгушкин,
А.С. Тюмченкова, М.Д.Маркова, В.А. Лазарев
(Самара)*

Возрастные изменения в соединительной ткани сопровождаются процессами ее дегенерации, которая приводит к болям в суставах и ограничению их подвижности. Среди болезней костно-мышечной системы лидирующее место занимает остеоартроз. Распространенность остеоартроза резко увеличивается и у мужчин, и у женщин в возрасте от 50 до 80 лет, однако причины, по которым возраст является одним из самых значительных факторов риска, не ясны. Тем не менее, повышенный риск развития заболеваний

суставных поверхностей у пожилых людей подтверждается многочисленными исследованиями [1 - 3].

Объектами исследований являлись суставные поверхности межфаланговых суставов пальцев кистей детей в возрасте до 1 года, полученных в ходе хирургического лечения полидактилии, основанном на врождённом дефекте конечностей, и взрослых старше 40 лет, полученных в случае их травматической ампутации. Признаки аномалии определялись общепринятыми методами клинической диагностики. Границы возраста для взрослых людей были определены в связи с началом развития деструктивно-дистрофических процессов в суставном гиалиновом хряще.

Образцы исследовали с помощью стенда, реализующего метод СКР. Стенд включал в себя высокоразрешающий цифровой спектрометр Shamrock sr-303i со спектральным диапазоном 200-1200 нм, со встроенной охлаждаемой камерой DV420A-OE, волоконно-оптический зонд RPB-785 для спектроскопии КР, совмещённый с лазерным модулем LuxxMaster LML-785.0RB-04 с длиной волной лазерного излучения 785 нм и с шириной линии 0,2 нм [4].

Основные спектральные различия хрящевой ткани пальцев младенцев и хрящевой ткани взрослого человека были обнаружены на длинах волн, соответствующих линиям С-С колебаний протеинов (811 см^{-1}), С-С колебаний колец пролина (853 см^{-1}), пролин/гидроксипролин (936 см^{-1}), С-С валентных колебаний фенилаланина (1000 см^{-1}), колебаний сульфатов в гликозаминогликанах (1059 см^{-1}), колец пиранозы (1158 см^{-1}), амида III (1270 см^{-1}), гликозаминогликанов (1376 см^{-1}). Также были введены новые оптические коэффициенты, позволяющие оценивать возрастные изменения хрящевой ткани.

1. Felson D. T. et al. The prevalence of knee osteoarthritis in the elderly. The Framingham Osteoarthritis Study. //Arthritis & Rheumatology. 1987. Т. 30. №. 8. С. 914-918.

2. Miller M. E. et al. Modifiers of change in physical functioning in older adults with knee pain: the Observational Arthritis Study in Seniors (OASIS). //Arthritis Care & Research. 2001. Т. 45. №. 4. С. 331-339.
3. Murphy L. et al. Lifetime risk of symptomatic knee osteoarthritis. //Arthritis Care & Research. 2008. Т. 59. №. 9. С. 1207-1213.
4. E.V. Timchenko, P.E. Timchenko, L.T. Volova, Yu.V. Ponomareva, L.A. Taskina Raman spectroscopy of the organic and mineral structure of bone grafts. //Quantum Electronics. 2014. 44 (7).P. 696 – 699.

Метод спектроскопии комбинационного рассеяния для оценки костной ткани крыс при моделировании снижения минеральной плотности

Е.В. Тимченко, П.Е.Тимченко, Л.Т. Волова, А.А.Асадова, Я.В.Федорова

(Самара)

Одной из проблем современной медицины является предупреждение развития и лечение у человека снижения минеральной плотности костной ткани. Данный процесс характеризуется снижением костной массы в единице объема и нарушением микроархитектоники костной ткани, приводящими к повышенной хрупкости костей и увеличению риска их переломов [1].

Поэтому поиск новых скрининговых способов оценки снижения минеральной плотности костной ткани является актуальной проблемой. Ряд зарубежных авторов использовал для оценки состояния костной ткани, как в клинических, так и в экспериментальных исследованиях метод спектроскопии комбинационного рассеяния [2 - 3].

Экспериментальное исследование по моделированию снижения минеральной плотности костной ткани было выполнено на базе Института экспериментальной медицины и биотехнологий СамГМУ с соблюдением требований биоэтики. Все животные были разделены на 2 группы: первая (I) – контрольная, у них (n=12). Вторая – группа животных (II), у которых

выполняли овариоэктомию (n=12). В качестве материалов исследования были использованы 24 плечевые кости крыс. Кости распиливали продольно и измеряли в сечении. В каждом образце были сняты спектры КР с трёх зон: зоны головки, проксимального отдела и диафиза кости.

Основные спектральные различия в группах ложноорепрированных животных (контрольная группа) и крыс, у которых выполняли овариоэктомию, выявляли в области $950-965\text{ см}^{-1}$ (фосфат-ион $\text{PO}_4^{3-}(\nu_1)$ (P-O симметричное валентное)), 1071 см^{-1} ($\text{CO}_3^{2-}(\nu_1)$ замещение В-типа (C-O плоскостное валентное)), 1246 см^{-1} (Амид III) и 1659 см^{-1} (Амид I). На спектрах КР кости это наблюдали в виде уменьшения соотношения интенсивностей в области $950-965\text{ см}^{-1}$ по отношению к значению интенсивности на волновом числе 1071 см^{-1} у животных, которым выполняли овариоэктомию. Наиболее выражено эти изменения выявляли в диафизах костей.

При выполнении двумерного анализа и введении оптических коэффициентов, наблюдали значительный рост значений коэффициента R, соответствующего соотношению амида I и амида III. Так в области головки кости значения коэффициента R изменяются от 0,64-0,83 до 1,03-1,51; в зоне проксимального отдела кости от 0,45-0,78 до 0,84-1,35; в зоне диафиза кости от 0,52-0,76 до 0,80-1,31. Для коэффициента K отмечали небольшой рост его значений в зонах головки кости и проксимального отдела кости в группе животных, которым выполняли овариоэктомию.

Спектроскопию комбинационного рассеяния можно применять для оценки состояния трубчатых костей при моделировании у крыс снижения минеральной плотности костной ткани в эксперименте.

1. Котельников Г.П. Остеопороз: руководство./ Г.П. Котельников, С.В. Булгакова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. - 512 с.
2. A. Carden, R. M. Rajachar, M. D. Morris, D. H. Kohn. Ultrastructural Changes Accompanying the Mechanical Deformation of Bone Tissue: A Raman Imaging Study. //Calcif Tissue Int.2003. 72:166–175.

3. Morris M.D., Carden A., Rajachar R.M., Kohn D.H. Bone microstructure deformation observed by Raman spectroscopy. //Proc SPIE. 2001. 4254:81–89.

Метод спектроскопии комбинационного рассеяния для оценки костных биоимплантатов, изготовленных по технологии «Лиопласт» из кадаверной и прижизненно резецированной костной ткани

П.Е. Тимченко, Е.В. Тимченко, Л.Т. Волова, Д.А. Долгушкин,

В.В. Болтовская, О.О. Фролов, В.Д. Мещеряков

(Самара)

Аллогенные имплантаты из тканей человека являются оптимальными материалами для реконструкции повреждений опорно-двигательной системы. При их применении, в отличие от ауто- и ксенопластики и использования синтетических препаратов, не нарушается гомеостаз и метаболизм соединительных тканей и функции систем жизнеобеспечения реципиента [1]. Аллогенные материалы после их специальной обработки практически полностью теряют свою антигенность и при помещении в организм не оказывают на него негативного воздействия. Они играют роль матрицы, кондуктора, постепенно полностью рассасываются, а на их месте формируется новая костная ткань [2].

С увеличением числа выполняемых операций эндопротезирования тазобедренных суставов появилась возможность использовать резецируемые интраоперационно головки бедренных костей для производства новых костных губчатых биоимплантов по технологии «Лиопласт».

Материалами исследования являлись образцы биоимплантов губчатой кости в форме куба размерами 5*5*5 мм, изготовленные по технологии «Лиопласт»® (ТУ-9398-001-01963143-2004). Образцы были разделены на четыре группы. Первую группу составили деминерализованные образцы, полученные из кадаверной ткани, вторую группу – минерализованные образцы

из того же источника. Третью группу сформировали деминерализованные образцы, изготовленные из головок бедренных костей, полученных интраоперационно при эндопротезировании тазобедренного сустава, четвертую группу – минерализованные образцы из того же источника.

Для исследований использовалась экспериментальная установка с рамановским пробником RPB785, спектрометром Andor Shamrock sr-303i с встроенной охлаждаемой камерой Andor DV420A-OE и лазерным модулем LuxxMaster LML-785.0RB-04 [3].

Показано, что спектроскопия КР может быть использована для оценки компонентного состава поверхности костных имплантатов в процессе их обработки.

При сравнении разных источников получения губчатой кости до и после деминерализации значимых отличий не выявлено, но имеются различия в соотношении интенсивностей пиков КР на волновых числах 1555 см^{-1} и 1665 см^{-1} , соответствующих амиду II и амиду I, а также в интенсивности пиков КР на волновых числах 429 см^{-1} , 1065 см^{-1} , 850 см^{-1} , 1000 см^{-1} .

Введённые оптические коэффициенты позволили подтвердить, что содержание основных компонентов биоимплантов, необходимых для реализации их остеоиндуктивных и остеокондуктивных свойств оказалось сходным, как в минерализованных и деминерализованных образцах, полученных из головок бедренных костей интраоперационно, так и образцах, изготовленных из кадаверного материала.

1. Аллотрансплантация формализованной костной ткани в травматологии и ортопедии / В.И. Савельев, Н.В. Корнилов, Д.Е. Иванкин, С.А. Линник. СПб.: МОРСАРАВ, 2001. – 208 с.
2. Ладонин, С.В. Применение аллогенных деминерализованных костных имплантатов при лечении хронического остеомиелита в эксперименте / С.В. Ладонин, Е.А. Белозерцева // Актуальные вопросы тканевой и клеточной трансплантологии: матер. III Всерос. Симп. М.: ЦИТО, 2007. С. 27.

3. E.V. Timchenko, P.E. Timchenko, L.T. Volova, Yu.V. Ponomareva, L.A. Taskina
Raman spectroscopy of the organic and mineral structure of bone grafts.
//Quantum Electronics. 2014. 44 (7). P. 696 – 699.

Детальный анализ спектров биоимплантатов методом Фурье-деконволюции

Тимченко Е.В., Тимченко П.Е., Волова Л.Т., Долгушкин Д.А., Шалковская П.Ю.
(Самара)

Биоматериалы играют решающую роль в имплантологии: поддерживают форму и структуру тканей, обеспечивают механическую стабильность и восстановление целостности их функций [1]. При внедрении донорских биоматриков в организм пациента процесс может быть сопряжен с возникновением нежелательных эффектов таких, как нарушение гомеостаза, возможностью отторжения имплантата. Поэтому при изготовлении имплантатов, ткани подвергают обработке. Данный процесс может сопровождаться уменьшением содержания основных компонентов биоматриков, что может привести к ухудшению интеграции при его имплантации [2], что может негативно сказаться на приживляемости имплантата.

Поэтому, актуальной задачей имплантологии является оценка обработки биоматриков.

Для получения детального анализа спектров комбинационного рассеяния биоматриков, применяют деконволюцию спектральной линии. Благодаря ей становится возможным анализ каждого отдельного компонента, входящего в состав биоимплантатов.

Спектральные характеристики образцов изучали с помощью экспериментального стенда, включающего в себя высокоразрешающий цифровой спектрометр Shamrock sr-303i со встроенной охлаждаемой камерой

DV420A-OE, волоконно-оптический зонд для спектроскопии комбинационного рассеяния RPB785, совмещённый с лазерным модулем LuxxMaster LML-785.0RB-04 (с регулируемой мощностью до 500 мВт, длина волны 785 нм).

В качестве объектов исследования были использованы лиофилизированные имплантаты, изготовленные по технологии «Лиопласт»® (ТУ-9398-001-01963143-2004), в основе которой лежит использование физических факторов обработки биоматериалов (ультразвук, лиофилизация)

Перед выполнением детального анализа, была проведена обработка спектров, используя аппроксимацию спектральной кривой, в программе Wolfram Mathematica 8, для удаления приборных шумов и флуоресценции.

Также было проведено разделение полученных усреднённых спектров на спектральные линии с помощью деконволюции функций Гаусса-Лоренца в программной среде MagicPlotPro, для разделения перекрывающихся линий спектра и повышения его информативности.

По итогам работы были получены следующие результаты:

Выполнена деконволюция спектров при помощи функций Гаусса-Лоренца, которая позволяет провести компонентный структурный анализ спектров КР. Обработка проводилась по отдельности в спектральных областях 300-746, 746-1356, 1356-1789 и 1789-2199 см^{-1} . Среднее значение коэффициента детерминации результирующего спектра, сгенерированного по спектральным контурам, от исходного спектра КР для области 300-2199 см^{-1} составило $R^2=0,98$, среднее стандартное отклонение анализа $\sigma = 8,81.a$

Спектроскопия комбинационного рассеяния позволяет проводить быстрый неинвазивный контроль структуры биоимплантатов; получать оценку состава компонентов поверхностей биоматриксов;

1. Davis, H.E. Hybrid and Composite Biomaterials in Tissue Engineering / H.E. Davis, J.K. Leach // Topics in Multifunctional Biomaterials and Devices. 2008. №10. С. 1–26.

2. Д.И. Курапеев, А.В. Лаврешин, С.В. Анисимов, Тканевая инженерия клапанов сердца: децеллюляризация алло- и ксенографтов. // Клеточная имплантология и тканевая инженерия. 2012. т. 7. № 1. С. 34-39.

Спектральный анализ суставной жидкости для выявления патологий суставной поверхности

Е.В. Тимченко, П.Е.Тимченко, Л.Т. Волова, Д.А. Долгушкин,

М.Д.Маркова, Е. Ф. Ягофарова

(Самара)

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований применения метода спектроскопии комбинационного рассеяния для оценки синовиальной жидкости, полученной из суставной сумки тазобедренного и коленного суставов. Образцы подразделялись на три группы: условно здоровые, развивающийся остеоартроз и развившийся остеоартроз. Определяли различия спектров КР для образцов с различными стадиями развития заболевания. При развитии дегенеративно-дистрофического процесса в синовиальной жидкости пораженного сустава происходит увеличение общего количества белковых компонентов на волновых числах: 1001 см⁻¹ (Дыхательное кольцо фенилаланина), 1155 (Гиалуроновая кислота (C-O, C-C)), 1206 см, 1125 см⁻¹ (C-C, C-O-C растяжение гликозидных связей), 1250 см⁻¹ (Амид III), 1442 см⁻¹ (CH₂/CH₃ деформационное крутильное), а также 744 см⁻¹ (Белок (C-C-O)), 948 см⁻¹ (Вторичная структура белка (N-Ca-C растяжение, α-спираль)).

В результате анализа с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния можно идентифицировать компонентный состав исследуемого вещества на различных стадиях ОА, следовательно, данный метод может стать в дальнейшем новым диагностическим скринингом для выявления суставной патологии.

Численная многопараметрическая оптимизация в задачах математического моделирования ионных рекомбинационных лазеров

Г.Д. Чеботарев

(Ростов-на-Дону)

Лазеры на парах металлов представляют собой широкий класс источников когерентного излучения, которые обеспечивают генерацию в УФ, видимом и ИК диапазонах длин волн, обладают высокими энергетическими характеристиками и находят практическое применение во многих областях науки, техники, медицины. Их активной средой является неравновесная плазма, при этом лазеры на рекомбинационно-неравновесной плазме называют рекомбинационными. Наилучшими выходными характеристиками среди рекомбинационных лазеров обладают ионные лазеры на парах стронция и кальция. Они излучают в фиолетовой ($\lambda=430,5$ и $416,2$ нм SrII) и ультрафиолетовой ($\lambda=373,7$ и $370,6$ нм CaII) областях спектра и имеют достаточно высокие значения средней мощности (до 4 Вт), пиковой мощности (до 20 кВт) и КПД ($\sim 0,1\%$) [1-2].

Для создания рекомбинационных лазеров с высокими характеристиками необходимы глубокие знания о физических процессах в их активных средах. Эти знания можно почерпнуть как в экспериментах, так и с помощью математических моделей [2]. При этом метод математического моделирования позволяет как детально исследовать кинетику активных сред, так и прогнозировать оптимальные параметры возбуждения и выходные характеристики, в том числе в условиях, трудных для экспериментальной реализации.

В настоящей работе был проведен цикл численных исследований, направленных на оптимизацию параметров рекомбинационных He-Sr и He-Ca лазеров с использованием метода автоматической многопараметрической оптимизации – метода Нелдера-Мида [3]. Основными достоинствами этого метода являются простота его реализации и отсутствие необходимости

вычисления производных. В методе Нелдера-Мида максимизируется функция n независимых переменных с использованием $n+1$ вершин деформируемого многогранника в пространстве E_n . Каждая вершина может быть идентифицирована вектором x . Вершина (точка) в E_n , в которой значение $f(x)$ минимально, проектируется через центр тяжести (центроид) оставшихся вершин. Улучшенные (более высокие) значения целевой функции находятся последовательной заменой точки с минимальным значением $f(x)$ на более “хорошие” точки, пока не будет найден максимум $f(x)$. Таким образом, деформируемый многогранник адаптируется к топологии целевой функции.

С помощью математических моделей He-Sr и He-Ca лазеров была выполнена серия численных экспериментов, в которых проводился автоматический поиск оптимальных режимов генерации для активных элементов с различными геометрическими размерами при вариациях давления активной среды и параметров схемы возбуждения в широких пределах. На основе проведенных исследований определены достижимые характеристики генерации He-Sr и He-Ca лазеров.

1. Иванов И.Г., Латуш Е.Л., Сэм М.Ф. Ионные лазеры на парах металлов. М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
2. 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.
3. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир, 1975. – 534 с.

Оптимизация параметров ионного лазера на парах стронция в режиме совместной генерации на видимых и ИК переходах

Г.Д. Чеботарев

(Ростов-на-Дону)

Лазер на парах стронция является эффективным источником когерентного излучения в видимой области спектра на рекомбинационных переходах иона стронция ($\lambda=430,5$ и $416,2$ нм SrII) [1, 2]. Кроме того, этот лазер излучает с высокими выходными характеристиками в ИК диапазоне спектра на самоограниченных переходах атома и иона стронция ($\lambda=6,456$ мкм SrI, $\lambda\sim 3$ мкм SrI и $\lambda\sim 1$ мкм SrII) [2]. Эксперименты [2, 3] показали, что имеется возможность совместной генерации на рекомбинационных и самоограниченных переходах стронция. При этом лазер на парах стронция может быть использован в качестве источника многоволнового излучения в широком спектральном диапазоне.

В настоящей работе проведены численные исследования лазера на парах стронция, направленные на поиск оптимальных условий возбуждения активной среды в режиме совместной генерации на видимых и ИК переходах иона стронция. В численных экспериментах использовалась математическая модель He-Sr лазера, включающая в себя основные процессы в активной среде, ответственные за накачку рабочих уровней и инверсию населенностей на переходах SrII. На основе результатов моделирования установлен диапазон условий возбуждения, при которых возможна эффективная совместная генерация на видимых и ИК переходах SrII, а также рассчитаны зависимости выходных характеристик от давления буферного газа гелия и температуры стенки активного элемента. Полученные зависимости хорошо согласуются с экспериментальными данными [2, 3].

В частности, как показали расчеты, с ростом давления гелия средняя мощность генерации на ИК переходах SrII монотонно снижается, что обусловлено снижением электронной температуры во время импульса тока и

соответствующим снижением скорости возбуждения резонансных уровней SrII электронным ударом на переднем фронте импульса тока. Что касается видимых переходов SrII, то с ростом давления мощность возрастает вплоть до значений давления в несколько сотен Тор. При дальнейшем увеличении давления мощность снижается, что связано с ограничением скорости охлаждения электронов в послесвечении из-за греющего действия заднего фронта импульса тока, которое проявляется, когда время охлаждения электронов, уменьшающееся с ростом давления, становится соизмеримым с длительностью заднего фронта импульса тока.

Расчет температурных зависимостей для средней мощности генерации на рекомбинационных и самоограниченных переходах SrII показал, что их температурные диапазоны генерации в значительной степени перекрываются, при этом оптимальная температура для ИК- генерации несколько выше, чем для видимой генерации.

Полученные результаты позволяют осуществлять целенаправленный выбор оптимальных условий возбуждения многоволновых лазеров на парах стронция.

1. Иванов И.Г., Латуш Е.Л., Сэм М.Ф. Ионные лазеры на парах металлов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
2. 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.
3. А.Н. Солдатов, С.Ю. Мирза, Ю.П. Полунин, А.С. Шумейко. //Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. Т.56. №11. С. 66-71.

Характеристики и свойства активных сред рекомбинационных He-Sr и He-Ca лазеров

Г.Д. Чеботарев

(Ростов-на-Дону)

Экспериментально исследованы саморазогревные активные элементы ионных рекомбинационных He-Sr ($\lambda=430,5$ нм SrII) и He-Ca ($\lambda=373,7$ нм CaII) лазеров [1] с различными геометрическими размерами. Получены высокие удельные выходные характеристики. На основе результатов экспериментов, а также результатов математического моделирования активных сред He-Sr(Ca) лазеров установлены свойственные им общие закономерности и проведен анализ физических механизмов, определяющих эти закономерности.

В частности, определены зависимости импульсных и средних энергетических характеристик и частоты следования импульсов от энерговклада в разряд и давления буферного газа гелия. Установлено, что оптимальным является энерговклад в разряд, одновременно обеспечивающий достаточно высокий процент двукратной ионизации атомов металла и согласование активного элемента с электрической схемой накачки. Также установлено, что значение оптимального давления гелия определяется величиной накопительной емкости и индуктивности активного элемента и соответствует примерному равенству времени охлаждения электронов в раннем послесвечении и длительности заднего фронта импульса тока. Полученные результаты могут применяться при анализе и систематизации результатов экспериментов, а также при разработке рекомбинационных лазеров.

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.

Объемное масштабирование рекомбинационного лазера на парах кальция

Г.Д. Чеботарев, Е.Л. Латуш

(Ростов-на-Дону)

Одними из наилучших характеристик среди газоразрядных лазеров, излучающих в УФ области спектра, обладает ионный рекомбинационный He-Ca лазер ($\lambda=373,7$ и $370,6$ нм CaII) [1-2]. Одним из путей повышения энергетических характеристик He-Ca лазеров является увеличение объема активной среды за счет увеличения длины и диаметра активных элементов. Как показали наши эксперименты, средняя мощность генерации He-Ca лазеров практически линейно растет при увеличении активной длины, так что погонная средняя мощность практически от нее не зависит. При этом при увеличении внутреннего диаметра саморазогреваемых активных элементов до ~ 2 см наблюдается близкий к линейному рост погонной средней мощности, который при больших значениях диаметра замедляется, а затем прекращается. При этом частота следования импульсов генерации снижается с ростом диаметра.

Наблюдаемое при больших диаметрах замедление роста и насыщение мощности обусловлено действием ограничивающих факторов, приводящих к снижению КПД и замедлению роста энергетических характеристик. Одним из таких факторов является формирование радиальной неоднородности активной среды вследствие ее перегрева на оси. Дополнительный вклад в формирование неоднородности распределения атомов кальция вносит радиальный катафорез. В условиях роста газовой температуры в приосевых частях трубки, происходящего при увеличении диаметра, происходит и рост электронной температуры в послесвечении, приводящий к снижению скорости рекомбинационной накачки и ограничению роста энергетических характеристик.

С использованием математической модели He-Ca лазера были рассчитаны зависимости погонной средней мощности на $\lambda=373,7$ CaII от диаметра с учетом отмеченных выше ограничивающих факторов и определены максимумы

погонной мощности для саморазогревных активных элементов из BeO-керамики, в том числе при чернении их поверхности, при независимом вводе паров кальция и при интенсивном принудительном охлаждении активных элементов. Полученные результаты позволяют прогнозировать выходные характеристики He-Sr лазеров различных конструкций и габаритов.

1. Иванов И.Г., Латуш Е.Л., Сэм М.Ф. Ионные лазеры на парах металлов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
2. 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. Солдатов, Е.Л. Латуша. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2012. – 526 с.

Возможности создания He-Sr(Ca) рекомбинационных лазеров с заданными характеристиками за счет выбора их тепловых режимов

Е.Л. Латуш

(Ростов-на-Дону)

He-Sr и He-Ca ионные рекомбинационные лазеры генерируют на длинах волн 430,5 нм SrII и 373,7 нм CaII. Генерация происходит в раннем послесвечении импульсного разряда в смеси паров стронция и кальция с гелием при давлении последнего порядка атмосферного. Оптимальное для генерации давление паров стронция и кальция наступает при их температуре примерно 600°C и 650°C, соответственно. Накачка лазерных уровней и создание инверсии обеспечивается за счет процессов тройной рекомбинации двукратных ионов металлов и электронного девозбуждения [1]. Типичная длительность импульса генерации 0,2 – 0,5 мкс и характерный КПД $\approx 0,08 - 0,1\%$. В саморазогревном режиме частота следования импульсов (ЧСИ) обычно составляет 5 – 10 кГц, однако потенциально достижимые ЧСИ могут достигать 0,5 – 1 МГц. Достижению таких частот на практике препятствует перегрев активной среды и необходимость интенсивного теплоотвода. Лазерная трубка обычно изготавливается из BeO-керамики, т.к. она химически стойка к парам

щелочноземельных металлов и кроме того обладает высокой теплопроводностью [1, 2]. Таким образом, выходная средняя мощность генерации этих лазеров определяется активным объемом и темпом отвода тепла от лазерного канала; последний задает достижимую частоту следования импульсов. В предыдущих работах нами были найдены закономерности и соотношения, определяющие теплоотвод и средние мощности генерации, и проведены экспериментальные исследования нескольких типов данных лазеров с разными методами отвода тепла [1-3]. В настоящей работе предлагается методика инженерно-физических расчетов активных элементов He-Sr(Ca) лазеров с заданной выходной средней мощностью и ЧСИ.

Скорость теплоотвода в данных лазерах определяется следующими факторами: радиационным охлаждением за счет теплового излучения от внешней поверхности трубки, конвективным охлаждением, а также теплопроводностью от разрядного канала через цилиндрические слои керамики, гелия и кварца. Варьируя вклад этих факторов, а также активный объем лазерных трубок, можно конструировать лазеры с необходимыми выходными энергетическими характеристиками, оптимальными для инфокоммуникационных, медицинских и биологических применений. Увеличивая внешний диаметр трубки при неизменном внутреннем можно пропорционально увеличивать вклад конвективного и, особенно, радиационного теплоотвода. Радиационный теплоотвод можно наращивать почти в два раза за счет увеличения черноты внешней поверхности трубки. Дальнейший рост теплоотвода можно обеспечить за счет принудительного жидкостного охлаждения через прослойку гелия и кварца. Противоположная задача снижения теплоотвода решается путем теплоизоляции трубки, при этом ЧСИ и мощность генерации также уменьшаются, зато снижается энергопотребление и массогабаритные параметры блока питания.

Как показали проведенные расчеты, совокупность этих методик позволяет создавать He-Sr(Ca) саморазогревные лазеры с ЧСИ от 100 Гц до 300 кГц и

уровнем выходной средней мощности 0,1 – 4 Вт при малых активных длинах (10 – 30 см) и диаметрах (0,2 – 1,5 см) разрядного канала.

Выражаю благодарность Щербакову Д.В. и Долобаяну А.А. за помощь в проведении расчетов.

1. Иванов И.Г., Латуш Е.Л., Сэм М.Ф. Ионные лазеры на парах металлов // М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
2. Солдатов А.Н., Латуш Е.Л., Чеботарев Г.Д., Юдин Н.А., Васильева А.В., Полунин Ю.П., Пруцаков О.О. Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция // Томск: ТМЛ-Пресс, 2012. – 526 с.
3. Латуш Е.Л., Чеботарев Г.Д., Сэм М.Ф. Малогабаритные He-Sr⁺(Ca⁺) рекомбинационные лазеры // Кв. электроника. 2000. т.30. №6. с.471-478.

Усиленное спонтанное излучение на D-линиях натрия при широкополосной оптической накачке

Т.Д. Петухов, С.Н. Торгаев, Е.Н. Тельминов, Г.С. Евтушенко,

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Национальный исследовательский Томский государственный университет

Россия

(Томск)

В последние годы активное развитие получили лазеры на парах щелочных металлов с диодной накачкой. Основное достоинство таких лазеров – высокий КПД, малые массогабариты, работа в непрерывном и импульсном режимах. Вместе с тем, должного внимания исследованию усилительных характеристик таких сред, применительно к созданию усилителей яркости на базе таких активных сред, уделено не было [1].

В работе рассматривается механизм получения усиленного спонтанного излучения (ASE) на резонансных переходах в парах натрия при широкополосной оптической накачке. Выбор в качестве рабочего элемента натрия обусловлен необходимостью получения излучения в видимой области

спектра для разработки устройств визуально-оптического контроля. Возбуждение рабочих переходов в ячейке с парами натрия реализовано при продольной накачке лазером на красителе (пиромитен 512), при длине волны 584.5 – 586.5 нм, меньшей, чем переход из основного состояния в уровень D_2 , что моделирует накачку лазерными диодами. Температура внешней стенки ячейки изменялась в диапазоне 200-250 °С, при этом концентрация рабочих атомов натрия достигала 10^{14} см⁻³. Для быстрого перехода атомов из виртуального состояния на рабочие D_2 и D_1 уровни в активную среду вводился буферный газ-гелий, при исходном давлении 300 тор.

В ходе работы получено ASE- излучение, которое содержит две линии: $D_1=589.6$ нм и $D_2=588.9$ нм и имеет расходимость, близкую по величине к излучению накачки. Определены пороговые значения плотности накачки, при которых, в дополнение к спонтанному, появляется вынужденное излучение: 1.6 МВт/см² (с фокусировкой излучения накачки) и 1.3 МВт/см² (без фокусировки).

Приведен расчет уширения линии излучения. Расчеты показывают, что для условий эксперимента вклады доплеровского и ударного механизмов в результирующее уширение оказываются одного порядка. Полученное значение по полувысоте составляет $\Delta\lambda = 2.9 \cdot 10^{-12}$ м. Подобные значения полуширин реализуются в усилителях яркости на самоограниченных переходах в парах металлов, что обеспечивает высокую спектральную яркость излучения. Очевидно, что для переходов в парах щелочных металлов, данное значение является оценкой снизу. Реально оно будет несколько выше, вследствие пленения резонансного излучения.

Авторы выражают благодарность Суханову В.Б., Соковику В.Г., Солодовой Т.А. за помощь в подготовке экспериментов и обсуждение полученных результатов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект №14-19-00175.

1. Shalagin A.M. Celebrating 50 years of the laser (Scientific session of the General Meeting of the Physical Sciences Division of the Russian Academy of Sciences, 13 December 2010).// Physics-Uspekhi. 2011. vol. 54. no. 9. pp. 975-980.

Световоды для среднего ИК диапазона спектра в конфокальной лазерной сканирующей микроскопии для биологических исследований

Е.А. Корсакова, А.С. Корсаков, А.С. Литвинова, Л.В. Жукова

(Екатеринбург)

Конфокальная лазерная сканирующая отражательная микроскопия является методом оптического трехмерного (3D) поверхностного профилирования с высокой разрешающей способностью (рис. 1а).

В настоящее время интенсивно развиваются методы, использующие новейшие технические достижения в приборостроении, включая получение информации о выходе излучения из каждой точки анализируемого объекта, изменение интенсивности во времени и спектральное разложение излучения для каждой точки в любой момент времени (так называемые 3D, 4D и 5D режимы) [1].

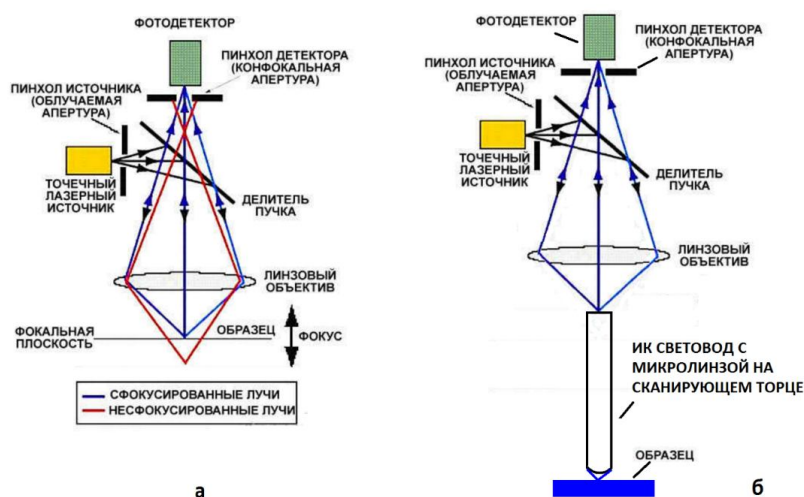


Рис. 1. Принципиальные схемы конфокального лазерного микроскопа: существующие отражательные микроскопы (а); микроскоп с использованием ИК световодов с микролинзой на сканирующем торце (б)

Аналитические возможности новых методов могут расширяться путём

использования нескольких лазерных источников одновременно, вариации их совместного использования и применения новых волоконных каналов доставки излучения непосредственно в живую клетку – световодов на основе твёрдых растворов галогенидов серебра $\text{AgCl} - \text{AgBr} - \text{AgI}$, прозрачных в спектральном диапазоне от 0,4 до 22 мкм.

В биологических и медицинских исследованиях конфокальная лазерная сканирующая микроскопия имеет очень большой потенциал, особенно в ИК области спектра за счёт более глубокого проникновения ИК излучения в живые ткани и возможности проводить одновременно спектральный послойный анализ. В настоящее время используются конфокальные лазерные микроскопы с перестраиваемыми лазерами в диапазоне длин волн 2 – 4 мкм [2]. Также разрабатываются и лазеры до 14 мкм для конфокальных лазерных микроскопов.

Особенно интересно, в связи с этим развитием, наличие волоконного многожильного канала доставки ИК излучения к живым объектам, т.к. происходящие процессы в живых клетках быстротекущи, а время точечного сканирования зачастую занимает достаточно продолжительный интервал в сравнении с исследуемыми процессами. Также волоконная сборка (рис. 2б) способна заменить сложный и дорогостоящий микролинзовый диск Нипкова (рис. 2а), применяемый для увеличения скорости сканирования.

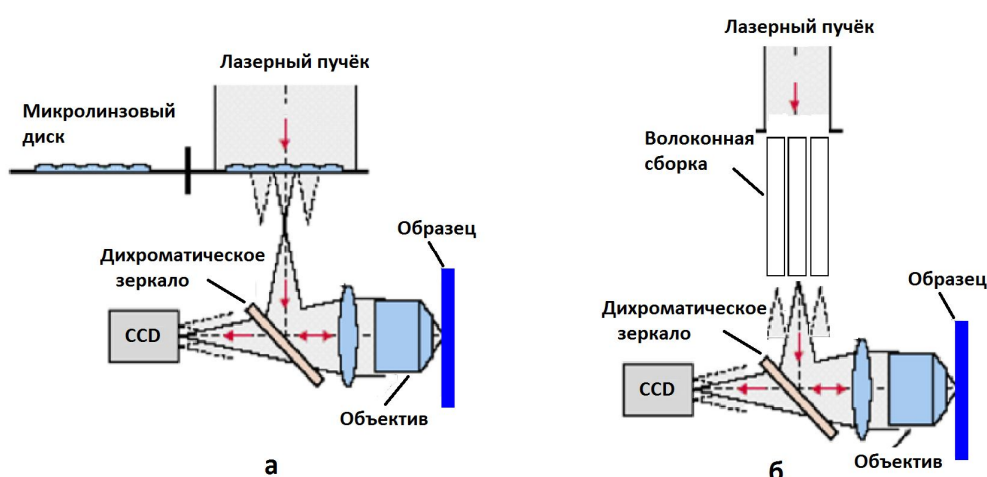


Рис. 2. Схема работы лазерного конфокального микроскопа с ускоренным сканированием объекта: оптическая схема на основе дисков Нипкова (а); использование волоконной сборки в лазерной конфокальной микроскопии (б)

Другим преимуществом использования, как единичного оптического световода, таки волоконной сборки является малый внешний диаметр и гибкость, что позволит значительно лучше проникнуть в исследуемый объект по сравнению с высокоапертурным объективом (рис. 1б).

1. Наночастицы, наносистемы и их применение. Ч.1. Коллоидные квантовые точки. / Под ред. В.А. Мошникова, О.А. Александровой. Уфа: Аэтерана, 2015.-236с.
2. M. Kumbham, S. Daly, K. O'Dwyer, R. Mouras, Ning Liu, A. Mani, A. Peremans, S.M. Tofail, C. Silien. Doubling the far-field resolution in midinfrared microscopy. //Optics Express. 2016. Vol. 24. No. 21.

Формфактор голограмм портретных изображений

С.А. Шойдин

(Новосибирск)

Ранее показано [1 - 5], что учёт фактора формы голограммы позволяет точнее определять её оптимальную экспозицию и величину дифракционной эффективности неоднородной по полю голограммы. В настоящей работе исследованы основные свойства фактора формы при записи голограммы реального изображения, представленного портретом человека.

Как показано в [5], формфактор ψ у голограммы вычисляется как поправочный коэффициент в классическом выражении для величины дифракционной эффективности η (1).

$$\eta = \Omega \sin^2 \{ \Psi f(EV) \} \quad (1)$$

Здесь E - экспозиция голограммы, V - видность интерференционной картины при её записи, Ω – максимальное значение средней дифракционной эффективности, а Ψ – формфактор голограммы. Аналогично [5] вычислялись значения $\eta_m(E_1, V)$ по (2), где η_m – средняя по полю голограммы дифракционная эффективность, s – её площадь.

$$\eta_m = \left(\frac{1}{s} \right) \iint \sin^2 \{ \beta(E) E(x, y) V(x, y) \} dx dy \quad (2)$$

В дальнейших расчётах $f(E, V)$, бралась такой же, как в [5]:

$$f(E, V) = \beta(E) \cdot E \cdot V \quad (3)$$

Здесь $\beta(E)$ - голографическая чувствительность, хорошо аппроксимирующая [6] реальный фотоотклик голографического материала «Реоксан» при $E_0 = 1 \text{ Дж/см}^2$ и $\beta_0 = 0,5$.

$$\beta(E) = \beta_0 / (1 + E / E_0) \quad (4)$$

По выражению (2) находится положение первого максимума $\eta_m(E)$ и по его положению определяется величина ψ так, чтобы аргумент в (1) в той же координате E_1 был равен 0,25, т. е. η в (1) достигала первого максимума.

Распределение амплитуды $E(x, y)$ для (1) вычислялось как корень от нормированной интенсивности $I(x, y)$ в изображении на рис.1б. Далее, по (1) были вычислены двумерные массивы зависимости $\eta_m(E, V)$ для реальных значений $\beta(E)$ как в случае $E(x, y)$, сформированной гауссовыми пучками, так и портретным изображением человека.

Во обоих случаях, для $V=0,95$ дифракционная эффективность достигает первого максимума при $\psi = (1/1,6) \approx 0,62$, что хорошо совпадает с полученной в [5] величиной формфактора $\psi \approx 0,6$ для гауссовых пучков.

Были проведены расчёты для 19 портретных изображений мужчин. Полученные средние значения $\psi = 0,608$ со среднеквадратичным отклонением $\delta\psi = 4,17\%$. После добавления в исследуемую выборку портретов 12 женщин получены значения $\psi = 0,616$ со среднеквадратичным отклонением $\delta\psi = 3,75\%$

Полученные результаты позволяют утверждать, что для голограмм реальных изображений, сформированных сложными по форме пучками, применима технология вычисления и практического использования формфактора. Записывающие голограмму пучки, имеющие сложное, многофакторное (хотя и не гауссово по полю) распределение яркости, в силу ЦПТ, также стремятся к гауссовой статистике распределения яркости. На

примере реальных изображений проиллюстрирован подход к определению формфактора для изобразительных голограмм. Обнаружено достаточно хорошее совпадение формфактора голограмм реальных портретных изображений с формфактором голограмм гауссовых пучков.

1. Шойдин С. А. Дифракционная эффективность голограмм, записанных гауссовыми пучками. // XI Международный конгресс Интерэкспо Гео-Сибирь – 2015» Международная научная конференция «СибОптика-2015», Новосибирск, 23-24 апреля 2015 г. Том 5, с.71-76
2. Shoydin S. A. Requirements to Lasers and Form Factor of Holograms. // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2014. Vol.23. №.4. pp.287-294.
3. Шойдин С. А. О требованиях к параметрам источника излучения для голографии. // Сб. трудов Санкт-Петербургского государственного университета. СПб, 2013. С. 94-107.
4. Шойдин С. А. Требования к лазерному излучению и формфактор голограмм. // Оптический журнал. 2016. Т. 83. №5. С. 65-75.
5. Шойдин С. А. Метод достижения максимальной дифракционной эффективности голограмм на основе оптимизации формфактора. // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40. № 4. С. 501-507.
6. Исследование голографической записи двоичной информации в объемной регистрирующей среде реоксан. // Оптическая голография. -Л.: Наука, 1983. С. 77-89.

Формфактор голограмм и временная когерентность записывающего излучения

С.А. Шойдин

(Новосибирск)

В работе исследуется формфактор голограмм с распространением полученных ранее результатов на временную когерентность записывающего голограмму лазера. Для этого используется классическое определение степени когерентности, из которого выделяется временная компонента и её влияние на видность интерференционной картины, формирующей голограмму. Прямыми расчётами (1) подтверждено, что аналогично изученному ранее [1, 2] формфактору, характеризующему перекрёстное влияние двух нелинейных зависимостей (пространственной неоднородности лазерного излучения и нелинейности отклика фазовой объёмной голограммы), существует аналогичная зависимость максимально достижимой дифракционной эффективности голограммы η' , определяемая по (1) двумя другими нелинейностями. Это нелинейная зависимость видности $V(z)$ от глубины голографируемой картины z и нелинейная зависимость чувствительности $\beta(E)$ голографического материала от экспозиции.

$$\eta' = \left(\frac{1}{s}\right) \int \sin^2 \{ \beta(E) E(x, y) V(z) \} dx dy \quad (1)$$

Показано, что ограничения, связанные с временной когерентностью лазерного излучения, наряду с нелинейным фотооткликом голографического материала, также ограничивают максимально достижимую дифракционную эффективность. Аналогично пространственному формфактору, существуют частотные ограничения на максимально достижимую дифракционную эффективность голограмм, которые проявляются через ограниченность длины когерентности излучения лазера при одновременной ограниченности динамического диапазона фотоотклика голографического материала.

Приводятся результаты численных расчётов для максимально достижимой дифракционной эффективности η'' таких голограмм для различных значений видности $V(z)$ по глубине регистрируемого голограммой пространства в зависимости от экспозиции E .

Для случая спада видности по глубине пространства по гауссу были проведены расчёты для нескольких значений отношения глубины голографируемого пространства z и длины когерентности записывающего голограмму излучения l . Так, например, для $z = 0,33l$ – средняя дифракционная эффективность η'' голограммы будет не более чем на 5% отличаться от η' , а для $z = 0,83l$ уже на 20%.

Таким образом, показано, что на формфактор голограмм влияет также и техническая ширина спектра записывающего голограмму лазерного излучения, которая ограничивает максимально достижимую дифракционную эффективность голограмм и проявляется аналогично исследованному в [1 - 3] пространственному формфактору.

1. Шойдин С. А. Требования к лазерному излучению и формфактор голограмм. // Оптический журнал. 2016. Т. 83. №5. С. 65-75.
2. Шойдин С. А. Метод достижения максимальной дифракционной эффективности голограмм на основе оптимизации формфактора. // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40. №4. С. 501-507.
3. Shoydin S. A. Requirements to Lasers and Formfactor of Holograms. // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2016. Vol.25. №.2. pp.95-101.

Спекл-корреляционный метод в исследовании параметров

капиллярного кровотока

Е.Т. Аксёнов, О.А. Головань

(Санкт-Петербург)

В настоящее время для лазерной медицины особый интерес представляют

методы неинвазивного исследования биотканей. От состояния микроциркуляции крови в них зависят многие жизненно важные функции организма, непосредственно связанные с сосудистой системой. Поэтому при клинических исследованиях крайне важна оперативная информация о состоянии кровотока на тканевом уровне.

Установлено, что спекл-корреляционный метод, основанный на рассеянии лазерного излучения на биотканях, чувствителен к изменению скорости микрокровотока [1]. Исследования показали: движение рассеивающих частиц (эритроцитов) зависит от степени сдавливания предплечья манжетой. Сильное сжатие руки приводит к прекращению направленного кровотока, следовательно, движение эритроцитов переходит в броуновское, а нормированная автокорреляционная функция становится более пологой. По мере уменьшения сдавливания руки сосуды открываются, рассеиватели начинают двигаться быстрее, а функция автокорреляции увеличивает свой наклон. Регистрация параметров кровотока в методе спекл-корреляций проще, чем в случае лазерной доплеровской анемометрии, применяемой в медицине в настоящее время.

Также корреляционный метод зарекомендовал себя и при исследовании биотканей с использованием оптических просветляющих агентов. Как известно, глицерин имеет свойство просветлять кожные покровы [2]. Применение глицерина приводит к увеличению глубины оптического зондирования кожи. Нормированные автокорреляционные функции в этом случае значительно отклоняются от линейных зависимостей, потому что лазерное излучение рассеивается на эритроцитах и разного рода неоднородностях биотканей, которые становятся более выраженными. При просветлении с использованием глицерина требуемая мощность зондирующего лазерного излучения может быть снижена примерно на 30%. Возникающие артефакты устраняются при цифровой обработке регистрируемого сигнала.

В данной работе использовалась схема, состоящая из лазера ($\lambda=650$ нм), зондируемого объекта и фотоприёмника, подключенного к осциллографу.

Экспериментальные результаты по исследованию капиллярного кровотока спекл-корреляционным методом совпали с теоретической моделью. Полученный вывод свидетельствует о том, что данный метод может быть применен в разработке лазерного медицинского оборудования, направленного на изучение важных параметров микрокровотока.

1. И.В. Меглинский, Д.А. Боас, А.Г. Йод, Б. Чанс, В.В Тучин. Развитие метода корреляции флуктуаций интенсивности лазерного излучения для неинвазивного мониторинга и измерения параметров кровотока. // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1996. Т.4, №6. С. 72-81.
2. Д.К. Тучина. Исследование диффузии химических агентов в биологических тканях оптическими методами в норме и при модельном диабете: Дис. на соиск. учён. степ. канд. физ-мат. наук: 03.01.02. – Саратов, 2016. – 121 с.

О возможности применения ионных лазеров на парах металлов для целей фотодинамической терапии

В.В. Жуков

(Ростов-на-Дону)

При проведении фотодинамической терапии (ФДТ) используются различные лазерные системы. Рабочий диапазон величин плотности мощности для ФДТ в онкологии составляет 0,1 - 0,5 Вт/см². Диапазон плотности энергии (световой дозы) составляет 20 - 1000 Дж/см² в зависимости от разновидностей опухоли. Для ФДТ используют как непрерывные, так и импульсные лазеры.

Диапазон спектра поглощения ряда известных типов фотосенсибилизаторов (ФС) охватывает длины волн от 300 до 730 нм. В этом диапазоне реализована генерация на большом числе ионных переходов ряда металлов [1-2]. Для оценки применимости лазерного излучения определенного спектрального состава и различного диаметра пятна были проведены расчеты требуемой мощности лазера и времени воздействия в зависимости от заданной

плотности мощности и световой дозы.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что перспективными для целей ФДТ при определенных условиях являются следующие ионные лазеры на парах металлов с уже достигнутыми энергетическими характеристиками:

- He-Cd лазер: с длиной волны 325,0 нм при использовании в качестве ФС представителей фурукумаринов, «Фотогема» и «Фотосенса» и с длиной волны 441,6 нм при использовании в качестве ФС экстрактов лекарственных растений на основе хлорофилла и акридинов;

- He-Sa лазер: с длинами волн 370,6 и 373,7 нм при использовании в качестве ФС представителей фурукумаринов и с длиной волны 370,6 нм при использовании в качестве ФС «Фотосенса»;

- He-Sr лазер: с длинами волн 416,2 и 430,5 нм при использовании в качестве ФС экстрактов лекарственных растений на основе хлорофилла и акридинов; с длиной волны 416,2 нм при использовании в качестве ФС «Фотодитазина» и «Фотолона»;

- He-Se лазер: с длинами волн 506,86 нм, 509,65 нм, 514,21 нм, 515,2 нм, 517,59 нм, 522,75 нм, 525,3 нм, 525,36 нм, 527,11 нм, 530,53 нм при использовании в качестве ФС представителей феназинов; с длинами волн 506,86 нм, 509,65 нм, 514,21 нм, 515,2 нм, 517,59 нм, 522,75 нм, 525,3 нм, 525,36 нм, 527,11 нм, 530,53 нм, 552,24 нм, 556,69 нм при использовании в качестве ФС представителей цианинов и с длинами волн 644,0 нм, 644,42 нм, 648,8 нм, 649,04 нм, 653,49 нм при использовании в качестве ФС представителей фенотиазинов и хлоринсодержащих препаратов;

- He-Hg лазер с длиной волны 614,95 нм при использовании в качестве ФС представителей порфиринов.

Оценки, например, показывают, что при поверхностном облучении He-Sr лазером с мощностью 4 Вт возможно его применение при разумных временах облучения для всех значений используемых плотностей мощности и световой дозы при диаметре излучения до 30 мм. Возможно применение и в случае

внутриполостного и внутритканевого подведения излучения при диаметре излучения до 10 мм.

С учетом особенностей поглощения лазерного излучения различного спектрального диапазона можно рекомендовать применение лазеров с генерацией в УФ и фиолетово-голубой области спектра для лечения методом ФДТ поверхностных форм рака. При клинических состояниях, где требуется более глубокое проникновение лазерного излучения, целесообразно использовать лазеры с генерацией в длинноволновом диапазоне спектра.

Таким образом, полученные результаты делают актуальным экспериментальную апробацию возможностей применения перечисленных ионных лазеров на парах металлов для целей ФДТ.

1. Солдатов А.Н., Латуш Е.Л., Чеботарев Г.Д. и др. Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция / Под ред. А.Н. Солдатов, Е.Л. Латуша. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2012. – 526 с.
2. Иванов И.Г, Латуш Е.Л, Сэм М.Ф. Ионные лазеры на парах металлов. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 256 с.

О возможности применения ионных лазеров на парах металлов в фототерапии желтухи новорожденных

В.В. Жуков

(Ростов-на-Дону)

Для фотоконверсии билирубина при лечении желтухи используется синий свет, так как билирубин имеет широкую полосу поглощения с максимумом в синей области (около 450 нм). Широкое применение при этом получили флуоресцентные лампы, основной длиной волны которых является 436,0 нм. Известен факт применения He-Cd лазера с длиной волны 441,6 нм.

Методы фототерапии гипербилирубинемии предполагают использование света при плотности мощности 0,1 – 5,0 мВт/см². Длительность фототерапии

составляет от 12 до 24 ч. в сутки при общей длительности светового воздействия до 96 или даже 200 ч. и суммарной дозе до 200 – 900 Дж/см².

В этой ситуации представляет интерес анализ возможностей применения в целях фототерапии ионных лазеров на парах металлов [1, 2]. В полосу поглощения билирубина, например, попадает излучение He-Sr лазера с длиной волны 430,5 нм. Оценки показывают, что в случае лазера со средней мощностью 3 Вт, плотности мощности 1 – 2 мВт/см² и суммарной дозе 200 Дж/см² общая длительность светового воздействия будет лежать в пределах от 36 до 52 часов. Это время существенно меньше, чем в случае использования традиционных ламп. При лазерном облучении исключается возможный при облучении лампами перегрев ребенка, приводящий к нежелательным последствиям, и отпадает необходимость в использовании соответствующих фильтров для исключения УФ излучения. Ответ о влиянии экранировки гемоглобином излучения He-Sr лазера, соответствующего максимуму спектра поглощения гемоглобина в полосе Соре, может дать только эксперимент.

Недавно было рекомендовано использовать для целей фототерапии желтухи излучение, соответствующее спектру поглощения пигмента в синезеленой области спектра (400 – 530 нм). В указанный диапазон попадают, например, линии генерации 473,7; 498,1; 507,8; 515,21 нм ионного лазера на парах таллия. Приемлемый в целях фототерапии желтухи (при $P_s = 0,5$ мВт/см²) радиус пучка излучения (8 см) He-Tl лазера достигается при значениях его средней мощности генерации 100 мВт. Важно, что в спектре генерации этого лазера присутствует длина волны 473,7 нм, которая соответствует области (около 476,0 нм) минимального экранирующего действия гемоглобина в отношении билирубина.

Перспективным для фототерапии желтухи является лазерное излучение на ионных переходах селена с длинами волн: 460,434; 461,877; 464,844; 471,823; 474,097; 476,365; 476,552; 484,063; 484,496; 497,566; 499,275; 506,865; 509,650; 514,214; 517,5; 522,7; 530,5 нм. Мощность генерации этого лазера на 6

переходах в диапазоне длин волн (497,5 – 530,5) нм достигает 250 мВт. Оценки показывают, что в этом случае (при $P_s = 0,5 \text{ мВт/см}^2$) радиус излучения составляет около 13 см и достаточен для практического применения.

В сине-зеленом диапазоне спектра реализована квазинепрерывная генерация в разряде с полым катодом на ионных переходах меди: 467,35; 468,20; 485,49; 490,97; 493,16; 501,26; 502,129; 505,178; 506,06 нм, а также генерация на переходах теллура, висмута и бериллия: TeII - 484,29 и 502,04 нм, BiII – 456,08 нм и BeII – 467,5 нм. Однако достигнутые к настоящему времени энергетические характеристики генерации не позволяют рассчитывать на практическое применение перечисленных лазеров в фототерапии желтухи.

Таким образом, проведенные оценки характеристик генерации ряда лазеров на парах металлов и анализ возможных процессов поглощения излучения позволяет при определенных условиях рекомендовать к применению в целях фототерапии желтухи у новорожденных рекомбинационный He-Sr лазер с длиной волны 430,5 нм, He-Tl и He-Se лазеры с генерацией в сине-зеленой области спектра.

1. Иванов И.Г, Латуш Е.Л, Сэм М.Ф. Ионные лазеры на парах металлов. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 256 с.
2. Солдатов А.Н., Латуш Е.Л., Чеботарев Г.Д. и др. Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция. / Под ред. А.Н. Солдатова, Е.Л. Латуша. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2012. – 526 с.

О параметрах излучения лазера для голографии

В.Е.Привалов, С.А.Шойдин

(Санкт-Петербург, Новосибирск)

Применение лазеров в различных системах эффективно, если оптимальным образом подобраны параметры излучения. Первоначально, как правило, подбор ведется феноменологически. Потом появляется строгая

модель. С применением лазеров в голографии все происходило примерно так же. Поиск в этом направлении велся разными исследователями (например, [1 - 3]).

Качество голограмм определяется мощностью и когерентностью излучения лазера. Серийный He-Ne лазер ЛГН-215 предназначался для голографических исследований. Мощность излучения (длина волны 0,63 мкм, длина резонатора около 2 м) по паспорту составляла 55 мВт. Реально многие приборы позволяли получать и 60 мВт. Генерация осуществлялась в многочастотном режиме (более 30 продольных мод). Контур Допплера имел ширину примерно 1500 МГц и определял техническую ширину линии излучения. В результате длина когерентности составляла 20 см. Авторы [2] создали лазер с П-образным резонатором с двумя трубками от ЛГН-215. Длина оптического пути в резонаторе составила примерно 4 м. Длина волны 3,39 мкм подавлялась, благодаря специальной технологии напыления зеркал [4]. Мощность излучения составляла 108 мВт и, благодаря внутрирезонаторному эталону Фабри-Перо, наблюдался одночастотный режим, т.е. техническая ширина линии резко уменьшалась, а длина когерентности возрастала до 10 м. Качество голограмм с этим лазером выросло по сравнению с серийным лазером.

Другим претендентом на создание качественных голограмм является частотно-стабилизированный лазер: существенно возрастает длина когерентности. Но эти лазеры обладают низкой мощностью излучения (1 - 3 мВт), что не позволяет использовать их в голографии.

Тогда возникла и была реализована идея объединения разработки авторов [2] с He-Ne/J₂ –лазером [1, 3, 5].

Перечисленные работы подтолкнули к созданию соответствующей модели.

В решении XXII-й Международной научной конференции «Лазеры.Измерения.Информация» (2012 г.) появился пункт о необходимости формулировки требований к параметрам излучения лазеров, предназначенных

для голографии, о необходимости введения в обиход фактора, который бы связывал параметры излучения с параметрами голограммы. Первым на этот призыв откликнулся автор работы, опубликованной в трудах названной конференции [6]. Вскоре появилось понятие формфактор голограмм [7, 8]. Появился нужный параметр. На первом этапе он учитывал только пространственную когерентность излучения.

В докладе представляется формфактор для голограмм, в котором присутствует и временная когерентность.

1. Привалов В.Е. «Газоразрядные лазеры в измерительных комплексах» Л.: Судостроение, 1989, 152 с.
2. Липский В.В., Бондарчук Я.М., Привалов В.Е. и др. // Известия ВУЗов. Приборостроение. 1990, № 9, С.80-84
3. Иванов В.А., Привалов В.Е. «Применение лазеров в приборах точной механики». СПб.: Политехника, 1993, 217 с.
4. Бондарчук Я.М., Леонтьев В.Г., Привалов В.Е. и др. // Радиотехника и электроника. 1988, т.33, №11, С. 2343-2347
5. Долгих Г.И., Привалов В.Е. «Лазерная физика. Фундаментальные и прикладные исследования». Владивосток: Рея, 2016, 352 с.
6. С.А.Шойдин Труды МК «Лазеры. Измерения. Информация» под редакцией В.Е.Привалова, 2013, СПб, изд-во СПбГПУ, с.89
7. Шойдин С. А. // Оптический журнал, 2016, том. 83, №5 с. 65-75
8. Shoydin S. A. // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics), 2016, Vol. 25, №.2, pp.95-101.

Когерентно-оптический анализатор магнитных полей

С.Э. Логунов, В.В. Давыдов, А.Ю. Кошкин

(Санкт-Петербург)

Большое разнообразие магнитных систем и их широкое применение требует точной настройки данных систем, что в свою очередь приводит к

потребности в создании методов новых для измерения степени неоднородности между полюсами магнитной системы, и исследование структуры силовых линий. В настоящее время применяется большое количество методов для измерений и исследований, но не один из методов не позволяет построить пространственную структуру силовых линий магнитного поля в межполюсном пространстве, особенно в полях с высокой индукцией $B > 1$ Т.

Использование различных измерительных датчиков (например, Холла или на основе ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и т.д.) дает в большинстве случаев информацию в зоне измерения о значении индукции B . При использовании датчиков можно определить неоднородность ΔB в объеме на основе ЯМР по ширине линии. Но любые перемещения рассмотренных датчиков для оценки неоднородности магнитной системы будут связаны с высокой погрешностью определения координат их расположения между полюсами. Размещение сетки из таких датчиков (кроме ЯМР) позволяет определить характер изменения неоднородности в среднем по одному из направлений, но построить картину силовых линий на основе этих измерений невозможно.

В работе рассматривается новый метод построения оптического изображения конфигурации силовых линий магнитного поля с помощью феррофлюидной ячейки с магнитной жидкостью. Для реализации предложенного метода была разработана экспериментальная установка, включающая в себя лазер, феррофлюидную ячейку, магнитную систему, камеру и компьютер для обработки данных [1].

В ходе проведения эксперимента было разработано два метода анализа магнитных систем, на основе которых были созданы две экспериментальные установки, включающие в себя феррофлюидные ячейки, изготовленные из кварцевого стекла с двумя или с одной прозрачными гранями соответственно. Использование двух экспериментальных установок повышает универсальность и повышает точность предложенного метода. Проведенные исследования

показали, что дифракционная картина лазерного излучения, дает возможность определить неоднородность магнитного поля. Так, если магнитная система однородна, максимумы интенсивности в дифракционной картине от лазерного излучения, проходящего через магнитную жидкость, размещенную в магнитном поле, будут равноудалены друг от друга относительно центрального максимума.

Было получено соотношение для оценки расстояния между двумя ближайшими максимумами с целью анализа неоднородности системы:

$$\Delta Y = \lambda L (k_2 \sqrt{\frac{L}{d_r^2 - k_2^2 \lambda^2}} - k_1 \sqrt{\frac{L}{d_r^2}}) \quad (1)$$

где λ – длина волны, L – расстояние между регистрирующей камерой и феррофлюидной ячейкой, ΔY – расстояние между максимумами, k_1 и k_2 – порядок дифракционных максимумов, d_r – период дифракционной решетки.

Измеряя ΔY по регистрируемому камерой дифракционному изображению для каждого порядка дифракции по (1) определяется значение d_r , которое позволяет установить расстояние между силовыми линиями магнитного поля/

В неоднородном магнитном поле, симметрия в расположении максимумов в дифракционной картине лазерного излучения нарушается, как по расстоянию между пиками, так и по их амплитуде.

Результаты экспериментальных исследований показали, что предложенный метод позволяет определять в режиме реального времени объемную неоднородность магнитного поля в магнитной системе и проводить её настройку на минимальное значение неоднородности магнитного поля.

1. Logunov S.E., Koskin A. Yu., Davydov V. V., Petrov A. A. Visualizer of magnetic fields. // Journal of Physics: Conference Series. 2016. 741. N 1.

Статистические закономерности лазерной абляции при определении дефектов разных видов

О.В. Мкртычев, В.Г. Шеманин

(Новороссийск)

В серии экспериментов по изучению статистических закономерностей лазерной абляции были рассмотрены вопросы, связанные с определением оптической прочности облучаемого материала [1 - 3]. При этом было применено статистическое распределение Вейбулла–Гнеденко, что позволило не только прогнозировать оптическую прочность материала, но и делать предположения о наличии в материале дефектов разного типа. Если оптические изделия одинаковы по форме, но имеют разные размеры (например, при выпуске стеклянного волокна различной длины), в материале могут возникать как однотипные, так и различные технологические дефекты. Важное значение для технологического контроля производства имеет формула

$$\ln \left(\ln \frac{1}{1-p} \right) = m \ln y + \ln \left[\left(\frac{1}{y_{\text{норм}}} \right)^m \right].$$

где p – вероятность разрушения образца, m – модуль Вейбулла, также называемый параметром формы распределения, y – нагрузка, приложенная к образцу, $y_{\text{норм}}$ – нормировочный параметр, имеющий размерность (ед.напряжения·ед.объёма^{1/m}). Для лазерной абляции вероятность разрушения может быть записана в виде

$$p(F) = 1 - e^{-\ln 2 \left(\frac{F}{F_{0,5}} \right)^m},$$

откуда

$$\ln \left(\frac{\ln \frac{1}{1-p}}{\ln 2} \right) = m \ln \left(\frac{F}{F_{0,5}} \right).$$

где F – плотностью энергии лазерного излучения, $F_{0,5}$ – пробойная плотность энергии, для которой вероятность пробоя равна 0,5.

Из распределения Вейбулла–Гнеденко следует, что при наличии только одного типа дефектов, изменение размера детали будет давать равномерный

параллельный сдвиг распределения прочности и график зависимости $\ln\left(\ln\frac{1}{1-p}\right)$ от $\ln y$ будет линейной функцией с угловым коэффициентом равным модулю Вейбулла и точкой пересечения с осью ординат, ордината которой равна $\ln\left[\left(\frac{1}{y_{\text{норм}}}\right)^{m_i}\right]$. В случае же наличия дефектов n разных видов, определяющих прочность материала, график $\ln\left(\ln\frac{1}{1-p}\right)$ от $\ln y$ будет состоять из отрезков n прямых с n разными, в общем случае, угловыми коэффициентами, т.е. вероятность разрушения примет вид

$$p(F) = 1 - e^{-\ln 2 \sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{F}{F_{0.5}} \right)^{m_i} \right\}}$$

Таким образом, анализ графика $\ln\left(\ln\frac{1}{1-p}\right)$ от $\ln y$ из распределения Вейбулла–Гнеденко позволяет выявить в материале дефекты разных типов.

Работа выполнена при финансовой поддержке основной части Гос. Задания МОН РФ, задание № 5.7721.2017/БЧ

1. Воронина Э.И., Ефремов В.П., Привалов В.Е., Шеманин В.Г. // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. вып. 23. С. 59-64
2. Воронина Э.И., Ефремов В.П., Привалов В.Е., Чартий П.В., Шеманин В.Г. //ЖТФ. 2009. Т. 79. вып. 5. С.143-149
3. 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. No. 4. pp. 265–270

Рефрактометр для контроля состояния текущей жидкой среды

В.В. Артемьев, В. В. Давыдов, Н.М. Гребеникова.

(Санкт-Петербург)

В лабораториях или на больших потоковых производствах при непрерывном контроле технологических процессов без инвазивного вмешательства в процесс производства необходимо обеспечить непрерывный

контроль состояния среды. Одним из возможных вариантов решения данной задачи может быть рефрактометр, обеспечивающий непрерывную регистрацию изменения состояния среды в текущем потоке [1, 2].

Принцип действия рефрактометров, предназначенных для непрерывной регистрации состава среды, основывается на использовании оптического явления полного внутреннего отражения света в оптической призме, которая находится в контакте с исследуемым раствором [3].

В разработанной конструкции источник лазерного излучения устанавливается таким образом, чтобы лучи попадали на границу раздела призмы и текущей среды под различными углами. Часть лучей, угол падения которых больше критического, полностью отражается от внутренней поверхности призмы и, выходя из нее, формирует светлую часть изображения на фотоприемнике.

Часть лучей, угол падения которых меньше критического, частично преломляется и проходит в раствор, частично отражается и формирует темную часть изображения на фотоприемнике .

Положение границы раздела между светом и тенью зависит от соотношения коэффициентов преломления материала, из которого изготовлена оптическая призма, и исследуемого раствора, а также длины волны излучения источника света. При изменении состава среды, изменяется её показатель преломления n и смещается граница свет – тень, регистрируемая фотоприемником.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что разработанная конструкция рефрактометра обладает исключительной особенностью, которая связана с тем, что в основе работы оптической схемы рефрактометра лежит использование отражения и прохождения света только внутри рабочей призмы. Поэтому некоторые факторы, такие как прозрачность текущей среды, или наличие в ней рассеивающих свет нерастворимых элементов, газовых пузырьков, а также скорость текущего потока не влияют на

результаты измерения, в отличие от других методов, применяемых для контроля состояния среды в текущем потоке. Граница свет – тень смещается только при изменении n . Это позволяет безошибочно определять изменение состава текущей среды. Разработанный рефрактометр также позволяет проводить исследования показателя преломления текущей среды от концентрации растворенных в ней компонент.

Установлено, что единственным фактором в разработанной конструкции рефрактометра, который может внести ошибки при определении состояния среды, является температура. Для учета влияния изменения температуры исследуемой текущей среды на результаты контроля её состояния, в текущем потоке перед призмой устанавливается датчик температуры. На основе показаний этого датчика учитывается поправка в смещении границы свет-тень с помощью градуировочных таблиц. Несоответствие величины смещения границы с данными таблицы означает наличие дополнительных изменений в состоянии среды, которые вызваны не температурой.

Проведенные эксперименты показали, что для повышения точности измерений необходимо для каждого сорта жидких сред в зависимости от их возможного диапазона изменения показателя преломления подбирать соответствующую длину волны лазерного излучения, при которой контраст границы свет-тень будет максимальный, что в некоторых случаях может ограничить возможности применения рефрактометра.

Кроме того, установлено, что для обеспечения устойчивой работы рефрактометра по контролю состояния текущей среды независимо от её расхода и уровня в трубопроводе, его необходимо устанавливать на вертикальном участке магистральной линии. Это позволяет осуществлять контроль технологического процесса с погрешностью менее 1%.

1. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Л.:Химия, Ленингр. отд-ние, 1974. – 399 с.

2. Тартаковский Д. Ф., Ястребов А. С. Метрология, Стандартизация и технические средства измерений. М.: Высшая школа, 2002. 205 с.
3. Артемьев В. В., Белов Н.П., Рутковская Т.И., Смирнов А.В., Тимофеев В.И., Яськов А.Д., Измерение плотности растворов природных солей промышленным рефрактометром. // Обогащение руд. 2013. №1. С. 31-36.

О физической модели взаимодействия лазерного излучения с тканями живого организма

Л.Н. Галль, Н.Р. Галль, А.А. Кокая, В.П. Козяков

(Санкт-Петербург)

В настоящее время во всех развитых странах мира наблюдается интенсивное использование лазерного излучения как в биологических исследованиях, так и в практической медицине: диагностике заболеваний, их терапии и хирургии, причем Россия (СССР) является одним из пионеров в таких исследованиях. Однако, несмотря на то, что выраженное терапевтическое действие низкоинтенсивного (нетеплового) лазерного излучения не только при местном применении, но и при воздействии на весь организм, достоверно клинически доказано, медицинское сообщество признает, что биологический механизм лазерной терапии весьма сложен и до конца не изучен. Отсутствие понимания этого механизма порождает множество ошибочных трактовок результатов биологического действия лазерного излучения на живые ткани, основанных в основном на биохимических представлениях о взаимодействии электромагнитного поля (ЭМП) и живой клетки.

Биологический механизм взаимодействия лазерного излучения с живыми тканями может быть построен при использовании общих физических принципов функционирования материи живого организма, где под материей понимается единая молекулярно-энергетическая система, присущая только лишь живому. Соответствующая теория, изложенная в [1, 2], основана на

фундаментальных представлениях квантовой физики и подкреплена результатами экспериментов, подтверждающих ее достоверность.

Основным положением теории является представление о биополимерах живого организма, как о физических энергетических машинах, способных, вследствие выработанной в процессе эволюции особенностей своей структуры, преобразовывать поступающую к ним внешнюю энергию (в живом организме – химическую энергию, приносимую к биополимерам молекулами АТФ), в кванты низкочастотной области ЭМП, названные А.С.Давыдовым солитонами [3]. Солитоны, двигаясь по молекулярным цепям, образуют *интенсивные «биохимические»* потоки энергии, обеспечивающие все контактные (химические) межмолекулярные реакции в живом, т.е. все жизненные процессы живых организмов.

Вторым важнейшим положением теории является представление о самоорганизации воды, образующей в этом процессе фрактальные энергонапряженные кристаллы, элементарным кристаллическим модулем (по Н.А.Бульенкову) которых является спираль 30/11 (30 молекул воды, 11 поворотов слоев в структуре [4]). В процессе гидратации биополимеров молекулы воды путем самоорганизации образуют протяженные цепи, объединяющие все биополимеры клетки, не находящиеся в непосредственном контакте, в единую молекулярно-водную систему. Цепи водных кристаллов являются магистралями для транспортировки солитонов между биополимерами, и потоки солитонов по этим цепям являются потоками, *управляющими* биохимическими процессами в живой клетке. В мертвой клетке водные цепи отсутствуют (водные фрактальные кристаллы являются энергонапряженными и для поддержания их структуры требуется приток энергии).

Биологическое действие ЭМП низкочастотного (неионизирующего) диапазона и нетепловых мощностей на живые ткани состоит во включении его энергии в квантовые энергетические процессы в живом. Это включение,

безусловно, может происходить и в прямом поглощении квантов поля молекулярными, молекулярно-водными и водными структурами в тех случаях, когда эти структуры имеют соответствующие уровни энергии, обеспечивающие резонансное поглощение. Однако именно из-за резонансного механизма поглощения только очень малая часть излучения, падающего на живые системы, способна быть напрямую воспринята живой клеткой. Все нерезонансные кванты (основная часть падающего ЭМП) либо возбуждают колебания цепей перечисленных выше структур, имеющих место в живом, либо поглощаются неорганизованной водой цитоплазмы клетки, переходя в тепловую энергию, незначительную в данном случае в связи с низкой мощностью используемого излучения. При увеличении мощности излучения тепловые процессы могут привести к заметному (регистрируемому) повышению температуры.

Область дальнего ИК (терагерцовый диапазон ЭМП) с энергией кванта $\ll 1\text{эВ}$ является областью энергий, приводящих к колебаниям молекулярных цепей биополимеров и, соответственно, активно с ними взаимодействует. Далее, как следует из первого положения теории [1, 2], энергия колебаний молекулярных цепей самолокализуется на линейных осцилляторах, как встроенных в цепи биополимеров (например, группа Амид-1 в белках), так и образующихся при их гидратации, т.е. при присоединении молекул воды к гидрофильным центрам биополимеров: N-H-, O-H- или S-H-. Эти процессы были теоретически предсказаны Давыдовым и описаны еще в работах [3, 4, 5]. Процесс самолокализации приводит к преобразованию колебательной энергии молекулярных цепей в форму квантов $\hbar\nu$, величина которых индивидуальна для каждого осциллятора и определяется ν - собственной частотой его колебаний. ***Именно поэтому клетки различных тканей преобразуют частоту внешнего излучения, назначение которого состоит только лишь в возбуждении колебаний какой-либо из структур живого организма в поток квантов, характерных для биополимеров данной клетки.*** Кванты энергии,

преобразованные собственными структурами клеток, уже резонансно соответствуют им и полностью поглощаются соответствующими тканями, вливаясь как в биохимические, так и в управляющие энергетические потоки живого организма.

В соответствии с вышесказанным ясно, почему излучение лазера, особенно в красном и инфракрасном диапазоне (например, излучение He—Ne лазера, $\lambda=632,8$ нм), приводящее к активным колебаниям молекулярных цепей клеток организма с последующим преобразованием энергии в форму «собственных» квантов, имеет такое высокое терапевтическое действие. Этот же физический процесс, использованный при создании излучателя, в котором живая ткань была задействована как преобразователь первичного лазерного излучения в биологически активное, показал феноменальные результаты при лечении целого ряда заболеваний и внешних неблагоприятных воздействий на организм. В докладе это положение иллюстрируется описанием соответствующих экспериментов [6].

Физический механизм действия внешнего излучения на живые организмы и живые ткани свидетельствует, что единственное, что должен делать источник внешнего излучения – это возбуждать колебания цепей любых структур, имеющих место в живом: молекулярных, молекулярно- водных и водных. Именно поэтому близкое терапевтическое действие имеет место как при лазерных, так и при некогерентных источниках излучения оптического и ИК-диапазона, а также при действии ЭМП во всех диапазонах частот вплоть до единиц Гц.

1. Галль Л.Н., Галль Н.Р. Механизм межмолекулярной передачи энергии и восприятия сверхслабых воздействий химическими и биологическими системами. Биофизика. 2009; 54(3):563-74.
2. Галль Л.Н. Физические принципы функционирования материи живого организма. СПб. Изд. СПбПУ им. Петра Великого; 2014. - 400с.
3. Давыдов АС. Солитоны в молекулярных системах. Киев. Наукова думка.

1988. - 304с.

4. Бульенков НА. Роль модульного дизайна в изучении процессов системной самоорганизации. Биофизика. 2005; 50(5):620-64.
5. Alexander D.M., Krurnhansl J.A. Localized excitations in hydrogen-bonded molecular crystals. Phys.Rev. В 1986. 33: 7172-85.
6. Кокая, А.А. Специфичность действия электромагнитного излучения, преобразованного различными биоструктурами / А.А. Кокая, [и др.] // Вестн. Росс. Воен-мед. акад. 2012. № (40). С. 163–168.

Физические принципы создания перестраиваемого терагерцового лазера

А.И. Грибенюков, В.В. Демин, И.Г. Половцев, Н.Н. Юдин

(Томск)

Терагерцовый (ТГц) диапазон спектра электромагнитного излучения - 0,2-2 ТГц, в последние годы интенсивно исследуется. Достижения в области лазерной физики, нелинейной оптики, полупроводниковой физики и СВЧ электроники, стимулировали всплеск интереса исследователей к этой области спектра. Создание импульсных источников когерентного терагерцового излучения, обладающих повышенной проникающей способностью, узкой диаграммой направленности и селективным взаимодействием с газами, жидкостями, твердыми телами и сложными органическими веществами, актуально для разработки целого ряда перспективных прикладных устройств, в частности, для создания систем терагерцовой голографии. Именно селективное взаимодействие порошкообразных и твердых органических веществ с излучением ТГц диапазона позволяет создавать системы дистанционного квазиоптического контроля их химического состава. Благодаря высокой отражательной способности металлов, излучение субмиллиметрового (ТГц) диапазона можно использовать для дистанционного поиска мелкогабаритных металлических предметов, всего в несколько раз больших (~ 1 мм) длины волны излучения, а также металлических объектов, удаленных на

большие расстояния, при достаточной мощности источника. При этом может быть обеспечена высокая точность определения их пространственного положения, как по дальности, так и по направлению. Системы селективного воздействия на молекулы могут обеспечить контроль синтеза лекарственных препаратов, диагностику злокачественных опухолей и высокотемпературной плазмы с высоким временным разрешением, а также решение других задач медицины, биологии и физики.

Наиболее перспективным способом создания источника высокой мощности с малой угловой расходимостью пучка перестраиваемого по частоте излучения в ТГц диапазоне является высокоэффективное параметрическое преобразование частоты излучения хорошо отработанных лазеров среднего ИК диапазона. Эффективность параметрической генерации требует использования кристаллов с высокой оптической прозрачностью в рабочем диапазоне частот (на всех длинах волн – накачки, сигнальной и холостой волн), с большим значением квадратичной нелинейной восприимчивостью, с высоким порогом оптического пробоя и пространственной однородностью. Наиболее перспективным для генерации излучения в ТГц диапазоне по своим характеристикам (из большого многообразия нелинейно-оптических кристаллов) является монокристалл $ZnGeP_2$.

В данной работе рассмотрена возможность создания источника терагерцового излучения при накачке параметрического генератора разностных частот на базе монокристалла $ZnGeP_2$ излучением перестраиваемых параметрических источников среднего ИК диапазона. Генерацию разностной частоты ТГц диапазона предполагается реализовать в монокристалле $ZnGeP_2$ с накачкой двумя параметрическими источниками на базе монокристаллов $ZnGeP_2$ с оптической накачкой Ho:YAG лазером.

Условия синхронизма проще всего реализуется в двулучепреломляющих кристаллах, типа $ZnGeP_2$, где фазовый синхронизм достигается за счет естественной дисперсии показателей преломления обыкновенной $n_o(\omega)$ и

необыкновенной $n_e(\omega)$ волн. Для реализации параметрической генерации нелинейный кристалл $ZnGeP_2$ помещается в мощный пучок лазерного излучения. При этом усиливаются те из всех возможных пар волн, суммарная частота которых удовлетворяет условиям фазового синхронизма.

Проведенный анализ показал возможность создания терагерцовых источников излучения с возможностью перестройки длины волны в диапазоне 0,2-1 ТГц, средней мощностью выходного излучения $\sim 0,01$ Вт.

Моделирование рассеяния света в биоткани методом Монте-Карло для планарных оптоэлектронных датчиков

В.А. Алексеев, А.С. Перминов, С.И. Юран

(Ижевск)

Важным фактором повышения качества регистрируемых пульсовых кривых методом фотоплетизмографии является совершенствование оптоэлектронных датчиков с точки зрения повышения достоверности получаемой информации, чувствительности и удобства эксплуатации. Объектом для фотоплетизмографии служит биологическая ткань, являющаяся сложным объектом, в том числе с точки зрения оптики.

Для получения фотоплетизмограмм с помощью датчика, работающего на обратное рассеяние светового потока (планарные датчики), необходимо знать, как геометрические параметры строения биоткани: толщина слоя, глубина залегания кровеносных сосудов, так и оптические свойства этих объектов – показатели преломления света, показатели рассеяния μ_s , поглощения μ_a и др.

Для расчета прохождения излучения через биоткань использовался метод Монте-Карло. Моделирование взаимодействия излучения с биологической тканью проводилось для двух длин волн $\lambda=633$ нм и $\lambda=810$ нм, что связано с основным оптическим диапазоном фотоплетизмографии – областью частот 0,800 – 1000 нм. Для оксиметров кроме этого используется диапазон частот в

красной области спектра. Кожная ткань представляется в виде слоистой структуры, состоящей из эпидермиса, дермы, крови и гиподермы. Слои параллельно залегают на различной глубине, каждый слой однороден по составу и свойствам.

Моделировалось распределение рассеянных фотонов в зависимости от расстояния между источником и приемником излучения, а также диаметра источника при нормальном падении оптических лучей.

Сравнительный анализ распределения фотонов, взаимодействующих с эритроцитами (информативный поток), и фотонов, не взаимодействующих с эритроцитами (неинформативный поток), показал, что при диаметре пучка излучения $d_{is}=3$ мм и $\lambda=633$ нм уровень информативного потока составлял около 30% от полного рассеянного в обратном направлении потока излучения, а для $\lambda=810$ нм – более 60%.

Моделирование изменения распределения информативного и неинформативного потоков при изменении диаметра источника излучения показало, для $\lambda=810$ нм при $d_{is}=1$ мм в область под источником попадает около 25% от информативного потока, а при $d_{is}=5$ мм – около 70%.

Распределение рассеянных фотонов в зависимости от угла входа излучения в биоткань (диаметр источника излучения постоянный и составлял 3 мм) показало, что информативная составляющая рассеянного излучения для длины волны 633 нм меньше той же составляющей для длины волны 810 нм. При изменении угла наклона источника излучения ($\lambda=810$ нм) рост числа информативных фотонов справа от источника излучения наблюдается примерно до 135° , затем идет спад.

Если сравнивать координаты максимума функции распределения информативного и неинформативного потоков при одном и том же значении угла наклона источника излучения, то видно, что максимум неинформативного сигнала находится ближе к началу координат, чем максимум сигнала от глубокого сосудистого сплетения.

Из полученных результатов следует, что если падение излучения на биоткань нормально, то фотоприемник должен быть как можно ближе к источнику излучения. С точки зрения размеров источников, применение источника излучения с меньшим диаметром является более предпочтительным.

Исследование взаимодействия излучения с веществом с помощью метода Монте-Карло позволяет адекватно предсказать характер распространения излучения в биоткани с учетом многослойности данной среды и конечного размера падающего пучка. Это говорит о возможности применения данного метода для более сложных расчетов при разработке аппаратуры для фотоплетизмографии, в частности, планарных оптоэлектронных датчиков.

Метод кросскорреляции для определения размеров наночастиц в мутных растворах

З.А. Забалуева, Э.К. Непомнящая, Е.Н. Величко, Е.Т. Аксенов

(Санкт-Петербург)

Одной из важных задач современной прикладной физики является поиск эффективных методов исследования жидких и газообразных сред для определения размеров содержащихся в них наночастиц, находящихся во взвешенном состоянии. Такие методы могут применяться для исследования дыма, аэрозолей или мутных суспензий и взвесей [1]. Не менее важной проблемой является исследование биомолекулярных процессов, происходящих в крови человека, таких как агрегация или денатурация сывороточного альбумина [2, 3].

На данный момент эти задачи могут быть решены применением метода динамического рассеяния света, который позволяет исследовать коллоидные растворы с частицами разных размеров и молекулярных масс [4]. Такие эксперименты дают достоверные результаты только при относительно небольших концентрациях коллоидных частиц. В мутных растворах

присутствует многократное рассеяние света, что делает стандартную обработку измерений динамического рассеяния недостоверной.

Метод кросскорреляции представляет собой по сути тот же метод динамического рассеяния света с той лишь разницей, что ячейка с исследуемым раствором просвечивается не одним, а двумя лазерными пучками, и вместо автокорреляционной функции строится взаимная корреляционная функция флуктуаций интенсивности рассеянного света. Кросскорреляция позволяет подавить вклады от многократно рассеянного света и получить распределение по размерам частиц размерами от единиц до тысяч нанометров в мутных коллоидных растворах, не разбавляя их [5].

В нашей работе мы поставили цель разработать схему измерительного стенда и алгоритм обработки экспериментальных данных для получения распределения частиц по размерам в мутных коллоидных растворах методом лазерной кросскорреляции.

Предлагаемая нами измерительная установка состоит из двух полупроводниковых лазеров, работающих на длине волны 650 нм, кюветы с исследуемым раствором, двух фотодиодов и цифрового осциллографа. Свет от лазеров падает на кювету и, проходя через нее, рассеивается на частицах. Далее рассеянный свет регистрируется фотодиодами, сигналы с которых поступают на осциллограф. По полученным сигналам строится взаимная корреляционная функция, по которой и производится анализ размеров частиц в растворе. Расчеты проводятся в программе Origin.

В наши дни находят применение методы статического и динамического светорассеяния на производственных предприятиях, в медицине и в других областях. Их преимущество заключается в скорости и безопасности проведения. Однако их применение ограничивается низкими концентрациями рассеивающих частиц, в то время как метод кросскорреляции позволит получать достоверные результаты даже для мутных коллоидных растворов [5].

1. Пиккеринг У.Ф. Современная аналитическая химия. М.: Химия, 1977.

2. Баранов А.Н., Власова И.М., Салецкий А.М. Исследование процессов агрегации сывороточного альбумина // Journal of applied spectroscopy. 2004. V.71. №2. P. 204–207.
3. Баранов А.Н., Власова И.М., Микрин В.Е., Салецкий А.М. Лазерная корреляционная спектроскопия процессов денатурации сывороточного альбумина // Journal of applied spectroscopy. 2004. V. 71. №6. P. 831–835.
4. Nepomniashchaia E.K., Velichko E.N., Aksenov E.T. Solution of Inverse Problem of Laser Correlation Spectroscopy by Regularization Method // УНЖ-Т. 2015. No.13. P. 13–23.
5. Urban C., Schurtenberger P. Dynamic light scattering in turbid suspensions: an application of different cross-correlation experiments. // Progr. colloid polim. sci. 1998. No.110. P. 61–65.

**Исследование биологических тканей методом рассеяния
поляризованного света**

Е.Т. Аксёнов, Е.Н. Величко, Д.Р. Валитов

(Санкт-Петербург)

Бесконтактные методы исследования медико-биологических объектов основаны на анализе параметров рассеянного этими объектами излучения. Один из важнейших параметров, несущих информацию о структуре и физических свойствах исследуемого объекта, это состояние поляризации [1].

Зондирование биологических тканей поляризованным излучением видимой и ближней ИК областей спектра является одним из перспективных подходов в медицинской диагностике, позволяющим оперативно выявлять патологические изменения в структуре биотканей. В ряде случаев анализ биологических объектов с использованием лазерного излучения основан на освещении исследуемого участка линейно поляризованным светом и на регистрации двух линейно поляризованных составляющих обратнорассеянного

оптического сигнала со взаимно ортогональными плоскостями поляризации. Вектор поляризации одной из детектируемых составляющих выбирается параллельно вектору поляризации освещающего пучка (ко-поляризованная составляющая, характеризуемая интенсивностью I_1), другая, кросс-поляризованная составляющая с интенсивностью I_2 , характеризуется вектором поляризации, ортогональным вектору поляризации освещающего пучка.

Множественное рассеяние поляризованного света случайно-неоднородными средами, в качестве которых может рассматриваться подавляющее большинство биотканей (в том числе и кожа человека), приводит к его частичной или полной деполаризации (в зависимости от особенностей структуры биоткани и длины волны зондирующего излучения). При этом кросс-поляризованная составляющая (или деполаризованная составляющая) формируется в результате многократно рассеянного света, который проникает в зондируемую среду. В то же время обратнорассеянная ко-поляризованная составляющая представляет собой некогерентную смесь диффузного излучения, рассеянного глубинными слоями зондируемой биоткани, и малократно рассеянного излучения, поступающего, в основном, из поверхностных слоёв. Таким образом, определение разности интенсивностей ко- и кросс-поляризованной составляющих $\Delta I = I_1 - I_2$ позволяет выделить оптический сигнал, формируемый в результате преимущественно однократного рассеяния в поверхностных слоях биотканей.

Такой способ дает возможность распознать патологические изменения в кожном покрове на стадии дисплазии и ранней стадии рака, что объясняет широкое применение этого способа в медицине.

Работоспособность метода будет обеспечиваться за счет уменьшения кросс-поляризованной составляющей в детектируемом оптическом сигнале по сравнению с ко-поляризованной составляющей. В частности, остаточная линейная поляризация детектируемого рассеянного излучения растет при усилении микроциркуляции крови в поверхностных слоях тканей (например, в

результате локальных воспалительных процессах), что проявляется при поляризационной визуализации ожоговых поражений кожи. [2]

В эксперименте рассмотрено рассеяние поляризованного света живым листом и кожицей лука на качественном уровне, но результаты уже сейчас позволяют увидеть потенциал данного метода. По обработке данных, полученных в ходе опыта, можно говорить об использовании метода для исследования внутреннего и внешнего строения живых тканей.

1. Л.В. Танин, С.К. Дик, С.А. Александров “Поляризационные характеристики излучения, рассеянным кожным покровом человека”, 1995

2. Д.А. Зимняков, Ю.П. Синичкин, О.В. Ушакова. // Квантовая электроника. 2007. Т. 37. №8. С. 776.

Особенности эволюции морфологии поверхности электродов лазера в плазме дугового газового разряда

П.А. Борисовский, С.В. Гаврилов, Е.Н. Моос, Г.В. Киселев,

Л.И. Киселева, А.И. Кудюкин, В.А. Степанов

(Рязань)

Физические процессы, происходящие при взаимодействии электродов с плазмой, приводят к необратимым изменениям состояния их поверхности. Сведения о процессах блистеринга в приборах плазменной электроники крайне немногочисленны, имеются единичные публикации по данной теме [1]. Тем не менее, при изучении эволюции состояния катодов на основе окислов алюминия (Al-Mg) [2], исследованиях поверхности электродов магнитоуправляемых контактов (Fe-Ni) [3], электродов вакуумных дуговых прерывателей (Cu-Cr) [4]. По-прежнему актуальны процессы и механизмы взаимодействия плазменных потоков с поверхностью [5].

В докладе представлены результаты исследования эволюции поверхности электродов в дуговом разряде (катодов He-Ne лазеров) и моделирование

подобных изменений морфологии сплавных электродов при развитии дугового разряда в контролируемых условиях вакуума. Изучение столь сложных процессов оказалось возможным применением комплекса методов рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, электронного микрозондового анализа, при послойном и растровом режиме, а также атомно-силового микроскопии.

При послойном анализе поверхности алюминиевого катода He-Ne лазера, содержащего малую концентрацию легирующих примесей магния и железа, обнаружен выраженный слой углерода на поверхности, уровень которого убывает до фонового значения на глубине. Одновременно наблюдается выраженный рост концентрации алюминия (до стабильной величины) и кислорода. Последний, впрочем, спадает, выявляя слой повышенного окисления матрицы приповерхностной зоны. Синфазно с алюминием изменяется содержание магния, его сегрегация на поверхность эмиссионного слоя, причем менее значительный рост его аналитического сигнала по сравнению с алюминием подтверждает, ранее найденное методом Оже-спектроскопии [2], чувствительного к самым верхним атомным слоям.

В растровом электронном микроскопе после воздействия He-Ne плазмы выявлено декорирование плазмой поликристаллической структуры изучаемой поверхности (средние размеры микрокристаллитов порядка 30 мкм).

Явление блистеринга, ранее известное для космических летательных аппаратов и ядерных установок, когда энергия ионных пучков превышает десятки и сотни кэВ [5]. Блистеры электродов лазера (куполообразные образования) размером порядка 40 мкм содержат атомы неона порядка 2,11 ат.%, а основного вещества алюминия 30,52 (кислород и углерод в зоне анализа 62,8 ат.% и 4,49 ат.% соответственно). Мощность излучения вышедших из строя активных элементов снизилась с 0,5 мВт до 0,01 - 0,13 мВт, оптимальный рабочий ток увеличился с 3,5 до 4,1 мА, ток срыва разряда увеличился с 3,2 мА до 4,2 мА. По свечению разряда (бледно-голубое, характерное для гелия)

выявлено снижение содержание неона в рабочей смеси. Косвенно это подтверждает увеличение оптимального рабочего тока и тока срыва разряда.

Моделирование воздействия плазмы дугового разряда на электроды в контролируемых условиях вакуума показал особенности эволюции морфологии их поверхности. Концентрация атомов меди (основного вещества сплава) и кислорода на поверхности выше объемных значений. Точечный анализ выявил зоны, содержание меди в которых снижается с увеличением глубины от 92,4% к 78,2%, что указывает на резко выраженный процесс ее сегрегации к поверхности.

В катодной области существуют несколько энергетических потоков за счет воздействия ионов, ускоренных в прикатодном пространстве. Кроме того, инициирующие дуговой разряд автоэлектроны, которые создают в центрах эмиссии высокие плотности тока, стимулирующие нагрев этой зоны и сопровождаются разбрызгиванием вещества электродов. В зоне плавления концентрация кислорода уменьшилась более чем в два раз с 4,9 до 2.2 ат. %.

1. Строкань Г.П. // ЖТФ. 2001. №71. С.112.
2. Ерошкин М.В., Моос Е.Н., Киселев Г.В. // Изв. РАН. Серия физическая. 2014. №78. С.686.
3. Арушанов К. А., Зельцер И. А., Карабанов С. М. и др. // Изв. РАН. Серия физическая. 2012. №76. С. 750.
4. Kudyukin A.I., Moos E.N., Rott A.T. et al. // Proceeding of 11th International Vacuum Electron Sources Conference. 2016. P. 41-42.
5. Бондарева А.Л., Змиевская Г.И. // Изв. РАН. Серия физическая. 2004. №68. С. 336.

Создание многоволновых лазерных систем видимого и ИК-диапазонов, их применения

А.Н. Солдатов

(Томск)

В докладе приведен обзор работ по лазерам с наносекундной длительностью импульсов генерации в парогазовых активных средах, выполненных в последние несколько лет в Томском государственном университете под руководством автора.

Основное внимание уделено двум направлениям: во-первых, исследованы возможности расширения набора генерационных длин волн, которые бы перекрывали видимый и инфракрасный спектр, во-вторых, уделено внимание существенному повышению энергетических характеристик лазера на парах стронция как за счет повышения объема активной среды, так и при использовании системы «генератор-усилитель».

В лазере на парах стронция получена и исследована одновременная многоволновая ИК и видимая генерация на самоограниченных и рекомбинационных переходах атома и иона стронция: $\lambda=6,456$ мкм SrI, $\lambda\sim 3$ мкм SrI, $\lambda\sim 1$ мкм SrII и $\lambda=0,4305$ мкм SrII. На основе проведенных экспериментальных и численных исследований установлено, что многоволновая ИК и видимая генерация в лазере на парах стронция возможна в достаточно широком диапазоне условий. Также установлен ряд закономерностей в поведении выходных характеристик генерации и выявлены физические механизмы, определяющие наблюдаемые закономерности. Полученные в работе результаты позволяют осуществлять целенаправленный выбор оптимальных условий возбуждения многоволновых лазеров на парах стронция, а также прогнозировать создание лазеров на парах стронция с новыми эксплуатационными характеристиками.

Представлены результаты исследования оригинальной конструкции мультимедийного лазерного излучателя на парах металлов, перспективного для

многих применений, в частности для дистанционного зондирования параметров атмосферы. Новизна заключается в том, что два газоразрядных активных элемента (на парах стронция и бромида меди) помещаются в единый резонатор, причем накачка каждого из них осуществляется от автономного источника питания, что позволяет оперативно регулировать суммарный набор длин волн генерации и их относительное распределение по мощности в выходном пучке. Предложенная конструктивная схема (на парах стронция и бромида меди) позволила получить одновременную генерацию на 10 длинах волн с суммарной мощностью 12 Вт при частоте повторения импульсов 12 кГц. Система генератор-усилитель, работающая на четырех активных элементах при суммарной средней мощности ~50 Вт.

Необходимо отметить, что перераспределения мощности генерации по генерационным длинам волн может быть эффективным при изменении температуры газа и температуры электронов, давления и рода буферного газа, а также при изменении характеристик оптических элементов резонатора. В частности, на переходах триплетной группы уровней ($\lambda = 2,6, 2,69, 2,92, 3,066, 3,011$ мкм) удается повысить среднюю мощность генерации на 90 – 100%.

Использование многоволновых систем генератора-усилителя и мультимедийных ЛПМ позволяет создавать системы с наносекундной длительностью импульсов и высокими средними и импульсными мощностями.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 8.2.04.2017, в рамках Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» в 2017 г.

1. Anatoly N. Soldatov, Nikola V. Sabotinov, Evgeny L. Latush, Gennady D. Chebotarev, Nikolay K. Vuchkov, Nikolay A. Yudin, Strontium and calcium vapour lasers: Volume I, II // Bulgarian First edition /2013 - 2014.

Разработка волноводных лазеров видимого и УФ диапазонов на основе апконвертирующих нанофосфоров

*И.М. Ашарчук, М.С. Баранов, В.И. Соколов, В.В. Рочева,
М.Е. Николаева, К.В. Хайдуков.*

(Москва)

В последнее время люминесцентные свойства материалов, легированных редкоземельными (РЗ) ионами привлекают большое внимание в связи с их особыми характеристиками, когда 4f-4f переходы закрыты внешними орбиталями. Это приводит к большому стоксовому сдвигу, узким линиям и длительному времени жизни люминесценции [1]. Наноразмерные апконвертирующие фосфоры представляют собой кристаллическую матрицу NaYF_4 , NaLuF_4 , легированную редкоземельными ионами Yb^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} , Nd^{3+} и др. Они обладают многоволновой фотолюминесценцией (ФЛ) в УФ, видимой областях спектра при возбуждении светом с длиной волны 970-980 нм. Нанофосфоры перспективны для создания интегрально - оптических усилителей и лазеров. Заинтересованность в разработке этих лазеров объясняется их огромным потенциалом использования в качестве оптических источников в спектроскопии высокой чувствительности, датчиков для взрывоопасных паров и сверхбыстрых переключателей во оптических передачах данных.

В докладе анализируются достоинства наноразмерных апконвертирующих фосфоров $\text{NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}, \text{Tm}^{3+}, \text{Er}^{3+}$, как новой лазерной среды для создания волноводных лазеров, излучающих в ультрафиолетовом и видимом диапазонах спектра. Демонстрируется что наноразмерные фосфоры обладают многоволновым спектром излучения; низкой энергией фононов, которая гарантирует, что времена жизни промежуточного и лазерного излучающих уровней достаточно велики, чтобы обеспечить эффективную накачку и лазерное излучение. Исследована кинетика ФЛ ионов Tm^{3+} в кристаллической матрице NaYF_4 на длинах волн 340, 360.450, 475, 645, 800 нм. Продемонстрировано оптическое усиление в коротковолновой области

фотолюминесценции (360 нм) апконвертирующих наночастиц β - $\text{NaYF}_4:\text{Yb}^{3+},\text{Tm}^{3+}$ со структурой ядро-оболочка. Для реализации распределенной обратной связи сформированы волноводные периодические структуры с периодом 150 нм.

1. Auzel F. Upconversion and anti-stokes processes with f and d ions in solids / F. Auzel. // Chem. Rev. 2004. 104. p. 139-173.

Метод когерентного рассеяния света для исследования процессов агрегации магнитных наночастиц в феррожидкостях

А.И.Дудина, Э.К. Непомнящая, Е.Н. Величко

(Санкт-Петербург)

Значительная часть исследований в области наномедицины посвящена разработке принципиально новых лекарственных средств с использованием магнитных наночастиц в качестве носителя в системах доставки лекарственных препаратов в ткани и клетки-мишени, а также в качестве самостоятельных терапевтических агентов для создания резонансной гипертермии.

Физические и химические свойства магнитных частиц зависят от размера, поэтому имеет смысл исследовать уже известные соединения в тех размерах, в которых подразумевается их использование. Магнитные наночастицы в составе растворов удобно исследовать методами когерентного светорассеяния, например, методом лазерной корреляционной спектроскопии [1]. Этот метод основан на регистрации и анализе рассеянного светового поля на частицах, совершающих броуновское движение в растворе.

Описание экспериментальной установки и обработки данных. В качестве источника излучения используется одномодовый лазерный модуль с мощностью непрерывного излучения до 2,5 мВт в спектральном диапазоне 650 нм. Удаление паразитного ореола проводится при помощи экрана с отверстием. Для фокусировки излучения используется встроенная в модуль

асферическая короткофокусная линза, позволяющая получить диаметр пучка в фокусе 50 мкм. Питание источника излучения организовано от аккумуляторной батареи, что обеспечивает стабильность по мощности. Рассеянное под углом 90° излучение регистрируется фотоэлектронным умножителем. Угол обзора регистрации рассеянного излучения определяется диафрагмой и апертурой одномодового оптоволокна. Сигнал с фотоэлектронного умножителя оцифровывается АЦП платой на частоте 100 кГц и обрабатывается на компьютере.

Записываемый сигнал представляет собой псевдослучайную зависимость интенсивности рассеянного излучения от времени. Спектр этого сигнала определяется коэффициентами диффузии частиц в растворе. Для выявления закономерностей в сигнале пользуются временным представлением спектра сигнала, т.е. вычислением его автокорреляционной функции.

Согласно теории динамического светорассеяния автокорреляционная функция света, рассеянного на частицах в растворе, будет нести информацию о диаметрах этих частиц. Анализируя автокорреляционную функцию при помощи разработанной программы на основе метода регуляризации Тихонова [2] можно вычислить размеры магнитных наночастиц или их агломератов и судить о наличии процессов агрегации магнитных наночастиц при различных внешних условиях.

1. Nepomnyashchaya E., Savchenko E., Velichko E., Aksenov E. Investigation of ferrofluid nanostructure by laser light scattering: medical applications // JOP: Conference Series. 2017. v. 841. N012020. pp.2–8.
2. Nepomniashchaia E.K., Velichko E.N., Aksenov E.T. Solution of Inverse Problem of Laser Correlation Spectroscopy by Regularization Method // УНЖ-Т, 2015. N 13. pp. 13–23.

Лазерный излучатель на парах стронция с выходной мощностью 10 Вт

А.Н. Солдатов, Ю.П. Полунин, А.С. Шумейко, И.К. Костадинов,

Н.В. Саботинов, И.В. Реймер

(Томск, Россия; София, Болгария)

В лаборатории РЛОСИТ ТГУ, основным направлением которой являются исследования лазеров на парах металлов, в последние годы были разработаны несколько лазеров на парах стронция, средней мощностью 1 и 5 Вт, для различных применений в медицине и промышленности. Повышение энергетических характеристик лазеров расширяет возможности их применения, что стимулирует создание более мощных лазерных систем.

Исследования по повышению эффективности и энергетических характеристик лазера позволили разработать активный элемент с диаметром разрядного канала 26 мм и длиной рабочего канала 800 мм, объемом 424 см³, стабильно работающим в режиме мощности излучения – 12,5 Вт длительное время со стационарной средой. Активный объем газоразрядной трубки (ГРТ) ограничивался стенками керамической трубки из BeO, а по торцам трубки – электродами, выполненными из ниобия. Вакуумная оболочка выполнена из плавленого кварца, выходные окна – из кристалла CaF₂. линейно прозрачного во всем диапазоне генерируемых длин волн лазера. В качестве буферного газа использовалась смесь гелия и неона при давлении 110 торр. В источнике питания в качестве коммутатора применен водородный тиратрон ТГИ-1 1000/25 с импульсной зарядкой рабочей емкости и одноступенчатой магнитно-индуктивной линией сжатия, позволяющей существенно увеличить срок службы тиратрона и сформировать импульс напряжения с фронтом порядка 50 нс и длительностью по полувысоте ~80 нс. Частота следования импульсов возбуждения составляла ~ 17 – 20 кГц. Для формирования импульсов возбуждения использовалась схема симметричный Блюмляйн с одноступенчатой линией сжатия. Рабочие емкости C₁ и C₂ равны по 1 нФ, емкость «обострителя» C₀ = 110 пф. Напряжение на аноде тиратрона 12 кВ, на

электродах ГРТ – 22 кВ. Одним из важных показателей качества пучка генерации является его расходимость. Уменьшение расходимости в лазерах на самоограниченных переходах достигается применением неустойчивого резонатора телескопического типа. В данном лазере используется неустойчивый резонатор телескопического типа с $M=30$. Для длины волны 6,45 мкм, расходимость составила $\theta = 3,497 \cdot 10^{-4}$ радиан, для длин волн 3 мкм и 1 мкм групп, θ равна $1,627 \cdot 10^{-4}$ и $5,422 \cdot 10^{-5}$ соответственно. Малая расходимость позволяет сфокусировать излучение на меньшей поверхности мишени, повысив тем самым плотность излучения на единицу поверхности. В данной ГРТ максимальная энергия в импульсе по всем спектральным линиям достигла 0,625 мДж, а энергия в импульсе генерации на длине волны 6,45 мкм – 0,38 мДж.

Конструктивно, разработанный лазер на парах стронция состоит из излучателя, содержащего активный элемент с неустойчивым телескопическим резонатором и источника питания. Блок управления, состоит из задающего генератора имеющего оптоволоконную развязку с коммутирующими цепями, что повышает помехозащищенность цепей возбуждения. Лазер выполнен в виде моноблока с габаритными размерами (Д x Ш x В): 1400 x 350 x 250 мм и массой не более 50 кг. Охлаждение – водяное.

Импульсный газоразрядный лазер на парах стронция, излучающий в ближнем и среднем ИК – диапазоне, предназначен для выполнения фундаментальных исследований в области лазерной физики, биологии и медицины, а также и для решения прикладных задач в области микро- и нанотехнологий.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 8.2.04.2017, в рамках Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» в 2017 г.

Сортировка частиц в градиентных полях

А.И. Желнина, Е.А. Савченко, Е.Н.Величко, Е.Т. Аксенов

(Санкт-Петербург)

Разделение микрочастиц представляет собой важную задачу в современной физике, биологии и медицине. Существует несколько методов сортировки микрочастиц, основанных на воздействии внешних полей, такие как магнитная сортировка, сортировка в периодических полях, электрофорез. В последнее время эти методы успешно применяются для работы с микроколичествами вещества в аналитической химии, медицинском анализе, фармацевтических исследованиях, биотехнологиях, судебной медицине.

Перспективным представляется метод управления комплексами микрочастиц в жидкости при помощи градиентного электромагнитного поля, получаемого при интерференции двух и более лазерных пучков. Данный метод не требователен к типу микрочастиц, их магнитным свойствам и позволяет манипулировать практически любыми микро и наночастицами. В работе [1] был предложен эффективный способ пространственного разделения взвешенных в жидкости микрочастиц различного размера. Этот способ был основан на линейном сканировании интерференционных полос поля, наложенного на суспензию. Было установлено, что при сканировании градиентного поля, в интерференционных максимумах захватываются частицы определенных размеров, в то время как остальные частицы остаются на месте.

Частица, помещенная в световое поле с пространственным градиентом интенсивности, подвергается воздействию градиентных дипольных сил [2]. Эти силы возникают в результате взаимодействия светоиндуцированного дипольного момента частицы с электрической компонентой световой волны:

$$F_{grav} \quad (1)$$

где

$$U = pE \quad (2)$$

– энергия дипольного взаимодействия;

$$P = \alpha VE \quad (3)$$

– индуцированный дипольный момент частицы;

$$E = E_0 \cos(\omega t - kx) \quad (4)$$

– напряженность электрического поля, V – объем частицы;

$$\alpha = 3(m^2 - 1) / (m^2 + 2) \quad (5)$$

– удельная поляризуемость, $m = n_p/n_m$ – относительный показатель преломления частицы (n_p и n_m – показатели преломления частицы и окружающей среды).

Действие градиентных сил на частицы вызывает пространственное перераспределение концентрации частиц в жидкости. Глубина модуляции концентрации при прочих равных условиях зависит от размера частицы.

В зависимости от мощности падающего потока можно изменять степень пространственного разделения частиц [3]. Такой метод позволяет сортировать частицы по размерам.

В данной работе для создания схемы сортировки микрочастиц использовался оптический пинцет. Его действие основано на захвате исследуемых микрочастиц в перетяжке сфокусированного лазерного пучка, где образуется неоднородное распределение электрического поля световой волны [4]. Прибор способен фиксировать и перемещать, как различного рода микро и наночастицы, так и живые клетки.

На основе схемы лазерного пинцета была разработана схема сортировки частиц, которая включала полупроводниковый лазер с мощностью излучения 50 мВт. Луч лазера разделялся на два параллельных луча равной интенсивности с помощью двух призм. Затем оба луча сводились на кювете с исследуемым образцом [3]. В зоне пересечения лучей формировалась интерференционная картина, и тем самым возникало световое градиентное поле.

В работе оценивались параметры лазерного излучения и создаваемой интерференционной картины, необходимые для захвата и сортировки различных микрочастиц в воде и других более вязких буферах (желатиновый субстрат). Полученные результаты позволят подобрать оптимальные параметры излучения для сортировки, дальнейшего захвата и манипуляции отдельными частицами заданного размера.

1. Рубинов А.Н., Катаркевич В.М., Эфендиев Т.Ш. Сортировка микрочастиц градиентным лазерным полем. // Журнал прикладной спектроскопии. 2003. Т.70. № 5 с 665.
2. Рубинов А.Н., Афанасьев А.А. Физические принципы применения градиентных лазерных полей в медицине. // Известия Академии наук. 2002. Т.66. №8. с.1133–1136.
3. Афанасьев А.А., Катаркевич В.М., Рубинов А.Н., Эфендиев Т.Ш. Модуляция концентрации частиц в интерференционном поле лазерного излучения. // Журнал прикладной спектроскопии. 2002. Т.69. № 5. с.675-677.

4. Леженникова К.А., Савченко Е.А., Непомнящая Э.К., Величко Е.Н. Расчет параметров лазерного пинцета. // Научный форум с международным участием «Неделя науки СПбПУ». 2017. с.2.

**Неинвазивная диагностика нарушения эластических свойств
артериальных сосудов и определение оценки артериальной жесткости**

М.В. Путинцева, Е.Т. Аксёнов, Е.Н. Величко

(Санкт-Петербург)

На сегодняшний день заболевания, связанные со структурными изменениями сердечно-сосудистой системы, вызывают наибольший интерес для современной лазерной медицины. Ведь именно нарушение и понижение артериальной эластичности может являться маркером увеличения сердечно-сосудистого риска. Поэтому, на данный момент в медицинской практике большое внимание уделяется изучению механических свойств артерий – их упругости, предела прочности эластичности сосудистой стенки, растяжимости, а также поиску новых, наиболее точных и простых методов оценки её состояния.

Одним из наиболее многообещающих неинвазивных методов диагностики проблем связанных с сердечно – сосудистой системой является метод, основанный на оценке параметров пульсовой волны, распространяющейся в сосудах различного диаметра. Установлено, что скорость распространения пульсовой волны по сосудам определяется только свойствами самого сосуда: эластичностью, диаметром толщиной стенки, а также плотностью крови. После того, как сердце совершает удар, выталкивая в сосуды кровь, по аорте распространяется прямая пульсовая волна. Эта волна распространяется вдоль артериальной части сосудистой системы, что ощущается в виде пульсового толчка (артериального пульса) [1].

Из-за того, что кровеносная система замкнута, данная волна отражается от точки бифуркации. Отраженная волна является обратной. В зависимости от

того, насколько эластичны стенки сосудов, время, за которое отраженная волна вернется обратно, может различаться. Чем эластичнее артерии, тем позже вернется обратная волна и наоборот [2].

Наиболее информативным прибором для диагностики нарушения эластических свойств артериальных сосудов и оценки артериальной жесткости является датчик пульсовой волны. В настоящее время нами разрабатывается тензометрический датчик для определения скорости кровотока. Данный прибор состоит из мембраны, которая является чувствительным элементом, реагирующим на изменение давления поверхности, и преобразовательного элемента. В нашем приборе предполагается использовать в качестве чувствительного элемента оптоволоконный тип измерителя, являющийся наиболее надежным [3]. В дальнейшем датчик планируется применять для контроля динамики изменения сосудистой жесткости, что является полезным для выявления доклинического поражения органов-мишеней.

1. Мизева И.А., Думлер А.А., Муравьев Н.Г. Особенности пульсовой волны при хронической артериальной недостаточности нижних конечностей. //Российский журнал биомеханики. 2012. Т.16. №2. С. 83-94.
2. Эластичность (жёсткость) сосудов URL: <https://www.angioscan.ru/ru/articles/vessel-stiffness> (Дата обращения: 28.05.2017)
3. Spillman W.B., McMahon D.H. Frustrated-total-internal-reflection multimode fiber-optic hydrophone. // Appl. Opt. 1980.v.19. pp.113-117.

Оптическая микроскопия в исследованиях бактерицидной активности биологических жидкостей

М.А. Баранов, Е.Н. Величко, Е.Т. Аксенов, Э.К. Непомнящая
(Санкт-Петербург)

В настоящее время исследование биологических жидкостей играет важную роль в медицине, в том числе и для установления факта заболевания человека

вирусом клещевого энцефалита.

Клещевой энцефалит – острая вирусная инфекция, переносчиками которой являются иксодовые клещи. Данная инфекция поражает периферическую и центральную нервную системы и в особо тяжелых случаях может привести к летальному исходу. Поэтому диагностика данного заболевания должна быть проведена как можно быстрее.

В данной работе предлагается метод оптической микроскопии для исследования бактерицидной активности слюны и крови человека на примере вируса клещевого энцефалита.

Защита организма от различных инфекций обусловлена бактерицидной активностью различных биологических жидкостей. Для крови – это суммарное воздействие на различные микроорганизмы таких факторов, как комплемент, нормальные антитела, лизоцим и др.

Слюна – жидкий секрет, продуцируемый различными железами: околоушными, подъязычными т.д. Она имеет целый комплекс различных функций. Слюна обладает бактериостатическими и бактерицидными свойствами благодаря наличию различных факторов: лизоцима, лактоферрина, пероксидазы и т.д. [1]. Оценивая бактерицидную активность данных биологических жидкостей, можно судить о состоянии защитных сил организма в целом.

В настоящее время разрабатываются и предлагаются для клинического применения методы оценки бактерицидной активности биологических жидкостей в отношении вируса клещевого энцефалита с использованием оптической микроскопии, лазерной корреляционной спектроскопии, диэлектрической спектроскопии, флюоресценции, и др.

В данной работе были проведены предварительные экспериментальные исследования сыворотки крови с помощью метода оптической микроскопии. Для экспериментов было подготовлено несколько опытных образцов состоящих из сыворотки крови с комплементом, сыворотки крови без

комплемента в чистом виде и с добавлением вакцины клещевого энцефалита. Растворы в объеме 1 мл помещались в чашки Петри, после чего подвергались непринудительному высыханию (дегидратации) в течение 24 часов. Данные представлены на рис. 1.

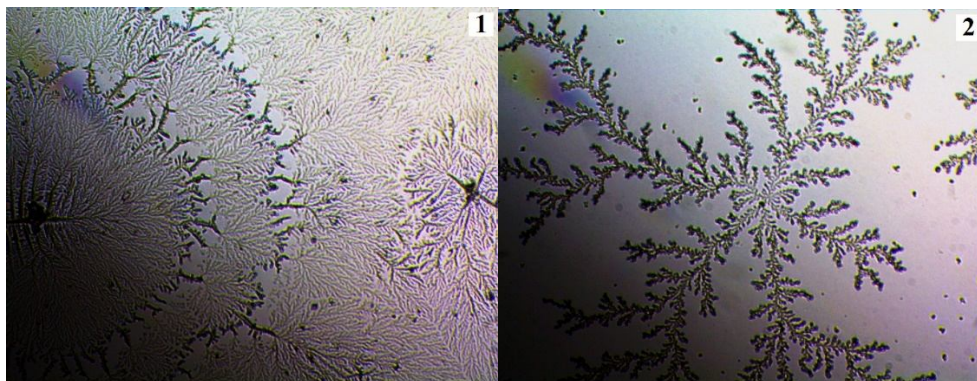


Рис. 1. Фотографии высохшей сыворотки крови с вакциной клещевого энцефалита, 1 – с комплементом, 2 – без комплемента. Увеличение x120

Из фотографий можно сделать вывод, что комплемент в сыворотке крови определенным образом взаимодействует с вакциной клещевого энцефалита, изменяя форму дендритных структур при высыхании раствора.

Данные изучения биологической жидкости – сыворотки крови с помощью оптической микроскопии показали существенные различия бактерицидной активности крови с комплементом и без него в отношении клещевого энцефалита. Таким образом, предложенный подход позволяет исследовать бактерицидную активность различных биологических жидкостей.

1. Зеленова Е.Г., Заславская М.И. Микрофлора полости рта: норма и патология // НГМА. 2004. С. 64.

Изучение самоорганизации с помощью лазерно-информационных технологий

А.П. Алексеенко, М.А. Баранов, Э.К. Непомнящая, Е.Н. Величко

(Санкт-Петербург)

Самоорганизация — это формирование упорядоченной системы на высшем масштабном уровне посредством множественных взаимодействий компонентов более низких иерархических уровней. Процессы самоорганизации обнаруживаются на макроскопическом уровне и возможны только в открытых системах, допускающих локальное уменьшение энтропии [1]. Этим процессам подвержены главным образом биологические объекты: белки, молекулы ДНК, бактериальные колонии. При этом в результате самоорганизации исходные объекты (как правило, растворы биомолекул) могут коренным образом менять свои физико-химические свойства.

В связи с этим тема упорядочивания в открытых системах, содержащих растворы биомолекул, интересна во многих областях современной физики. Особое внимание самоорганизации уделяется в биомолекулярной электронике (БМЭ) [2]. Перспективным представляется создание самоорганизующихся биомолекулярных пленок, обладающих особыми электрическими характеристиками, позволяющими использовать их в устройствах БМЭ.

Известно, что изменяя условия, при которых происходят процессы самоорганизации, можно влиять на характер структур, образующихся в пленках и, тем самым, на итоговые свойства всей пленки. При этом важно знать, при каких внешних условиях можно получить пленки с теми или иными заданными характеристиками.

Существует ряд методов для визуализации образующихся структур: нелинейно-оптические методы, метод атомно-силовой микроскопии, исследование индукции флуоресценции, рентгеновской кристаллографии, электронной и оптической микроскопии.

В данной работе был выбран метод оптической микроскопии для наблюдения структур, образующихся при самоорганизации в процессе дегидратации биомолекулярных пленок. Данный метод позволяет исследовать характерные особенности межмолекулярных взаимодействий при различных условиях среды и параметрах буферных растворов [3]. Исследуемый биомолекулярный раствор помещается в кювету и высушивается в течение 12 – 36 часов. При этом важно, чтобы дегидратация проходила в незамкнутой системе. Образовавшаяся пленка помещается под объектив микроскопа, и освещалась лазерным излучением. Лазерный луч позволял исследовать не только поверхность пленки, но и подповерхностные структуры. Измерялся размер полученных структур, степень их фрактальности, плотность заполнения, характерные углы и формы.

Параллельно проводятся измерения по электрметрии полученных пленок, т.е. измерения ВАХ и АЧХ [4]. Проведение одновременных исследований электрических характеристик пленок и изучение структур в молекулярных пленках, образующихся в процессе дегидратации, позволяет выявить условия, при которых можно получить пленки с заданными эклектическими характеристиками.

1. Лебедев-Степанов П.В., Кадушников Р.М., Молчанов С.П. и др. Самосборка наночастиц в микрообъеме коллоидного раствора: физика, моделирование, эксперимент. // НАНО обзоры. 2013. Т.8. №3-4. с. 5–23.
2. Величко Е.Н., Цыбин О.Ю. Биомолекулярная электроника. Введение // Изд. Политех. Ун-та. 2012. 256 с.
3. RapisE.G. Self-assembly of cluster protein films in the process of condensation. //Technical Phys. 2000. v.70. N1, p.122–133.
4. Баранов М.А., Величко Е.Н. Вольт-амперные характеристики белковых растворов. // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. 2015. с.1398.

Оптимизация процесса абляции костной ткани в среднем ИК-диапазоне при низкой частоте повторения импульсов

А.Н. Солдатов, Ю.П. Полунин, И.К. Костадинов, А.С. Шумейко,

А.В. Васильева, Я.А. Лоева

(Томск, Россия; София, Болгария)

В данной работе представлены результаты исследования лазерной резонансной абляции костных образцов, выполненные с использованием лазера на парах стронция. Длина разрезов в костных образцах варьировалась от 1 до 3 мм при ширине 0,1 - 0,35 мм. Анализ аблированных участков показал, что глубина разреза увеличивается при увеличении содержания воды.

Для кортикальной кости решено уравнение теплопроводности в одномерном приближении. Согласно сделанным оценкам биологическая ткань в зоне воздействия лазерного излучения с длиной волны 6,45 мкм нагревается до температуры ~ 210 °С. Выбор длины волны является определяющим фактором для процесса аблирования, так как изменение коэффициента поглощения лазерного излучения биотканью от длины волны влияет на объем нагреваемой биоткани сильнее (на 4 порядка), чем изменение физических параметров излучения (мощность, длительность импульсов и т.д.), которые меняются в пределах одного-двух порядков.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 8.2.04.2017, в рамках Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» в 2017 г.

Многоволновый лазер для обработки хрупких, неоднородно-напряженных материалов

А.Н. Солдатов, А.С. Шумейко, А.В. Васильева, И.К. Костадинов, В.Ю. Юрин

(Томск, Россия; София, Болгария)

В настоящее время возросли требования к точности и качеству изделий из стекла, а существующие технологии не обеспечивают эти требования. Поэтому возникла необходимость разработки принципиально новых направлений высокоэффективной прецизионной обработки хрупких, неоднородно-напряженных материалов.

Стекло, как и другие оптические материалы, имеет определенные спектры поглощения, которые изменяются в зависимости от своего химического состава. Восемь длин волн в диапазоне от 1 до 6,45 мкм лазера на парах стронция делает его универсальным источником излучения для обработки таких материалов. В зависимости от спектра поглощения стекла и длины волны лазера излучение проникает на разную глубину, что позволяет реализовать поверхностный и объемный термораскол с очень высоким качеством поверхности. Изменяя условия возбуждения дает возможность управлять энергетическими характеристиками на каждой длине волны, что обеспечивает универсальность Sr-лазера. В частности, кроме термораскола Sr-лазер может использоваться для плавки и сварки стекол.

На базе лазера на парах стронция была создана экспериментальная установка для резки, плавки и сварки стекла. Проведена серия экспериментов по резке стекол толщиной от 0,3 до 0,8 мм, запайке стекол С93-3, и сварке различных стеклянных изделий. Суммарная мощность излучения варьировалась от 3 до 10 Вт. Были опробованы две фокусирующие системы. Первый вариант заключался в использовании сферического зеркала, с углом поворота к плоскости падающего луча 10 градусов. В этом варианте все длины волн фокусировались в одной точке. Благодаря малому углу падения излучения на зеркало, мы получали минимально вытянутый эллипс. Во втором варианте

оптической схемы использовалась собирающая линза CaF_2 и поворотное зеркало.

Проведенные эксперименты свидетельствуют о целесообразности проведения дальнейших исследований по сварке, резке, запайке стекол лазером на парах стронция.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 8.2.04.2017, в рамках Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» в 2017 г.

Волноводные эрбиевые усилители на основе нанокompозитных полимерных материалов

К.В. Хайдуков, В.И. Соколов, В.В. Рочева, М.Е. Николаева,

А.Г. Савельев, М.С. Баранов, И.М. Ашарчук

(Троицк, Москва, Волгоград)

Разработан метод синтеза наноразмерных конвертирующих фосфоров со структурой ядро - оболочка [1]. Методом термического разложения синтезирован наноразмерные фосфоры с фторидной матрицей $\beta\text{-NaLuF}_4:\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}/\text{Ce}^{3+}$ обладающей высокой степенью конверсии. В основе методики синтеза нанофосфоров лежит координатная стабилизация солей прекурсоров металлов (натрия, иттрия, иттербия) в растворе олеиновой кислоты, проходящая с нагревом в бескислородной среде. Размеры и морфология нанокристаллов характеризовались с помощью просвечивающего электронного микроскопа. Новые нанокристаллы $\beta\text{-NaLuF}_4/\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}/\text{Ce}^{3+}$ со структурой сердцевина - оболочка обладают размером 20 - 50 нм. Диаметр ядра наночастиц составлял 20 нм, толщина оболочки 5 нм. Фазовый состав наночастиц $\text{NaLuF}_4/\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}/\text{Ce}^{3+}$ был впервые исследован методом порошковой рентгеновской дифракции (XRD) в диапазоне $10^\circ \leq 2\theta \leq 100^\circ$ с шагом сканирования 1° .

Наночастицы обладают интенсивными линиями стоксовой люминесценции в телекоммуникационном С - диапазоне спектра при накачке излучением с длиной волны 970-980 нм. При возбуждении наночастиц β - $\text{NaLuF}_4:\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}/\text{Ce}^{3+}$ излучением с длиной волны 980 нм интенсивность линии на 1530 нм была увеличена в 3 раз по сравнению с нанокристаллами $\text{NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$, $\text{BaYF}_4:\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ и $\text{NaLuF}_4:\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$.

Исследована кинетика фотолюминесценции синтезированных нанофосфоров $\text{NaLuF}_4:\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}/\text{Ce}^{3+}$ в ИК области спектра. Показано, что введение ионов церия препятствует последовательному лестничному возбуждению ионов эрбия. В результате время жизни перехода $\text{Er}^{3+} {}^4\text{I}_{13/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$ увеличилось до 6.9 мс [2].

Разработан метод создания компактных волноводных усилителей для телекоммуникационного С - диапазона длин волн (1530 – 1565 нм) на основе новых нанокompозитных полимерных материалов с внедренными фторидными нанокристаллами, солегированными редкоземельными ионами Er^{3+} , Yb^{3+} , Ce^{3+} .

Для изготовления волноводного усилителя на основе нанокompозитных материалов, нами были использованы коммерческие мономеры SU-8 2005 и полистирол. SU-8 использовался в качестве полимера для изготовления световедущих жил волновода, а полистирол выступал в роли оболочки для волноводов. Нанокристаллы $\text{NaLuF}_4/\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}/\text{Ce}^{3+}$ растворяли в толуоле, полученный раствор подвергали ультразвуковому перемешиванию в течение трех часов и затем смешивали с полимером SU-8 2005. В итоге концентрация нанокристаллов в полимере SU-8 2005 составила около 0,12 весовых процентов.

Стандартным методом контактной фотолитографии на кремневой пластине с оксидным слоем был изготовлен полимерный волноводный усилитель для С-диапазона [3]. Измерена зависимость коэффициента усиления на длине волны 1530 нм от мощности накачки. Мощность накачки составляла 80 мВт, а усиливаемого сигнала 5мкВт. Оптическое усиление в полимерном одномодовом волноводе (8x7 мкм) длиной 1.3 см, допированного наночастицами

NaLuF₄: Er³⁺, Yb³⁺, Ce³⁺. составило 1.1 дБ/см.

1. E.V. Khaydukov, K.E. Mironova, V.A. Semchishen, A.N. Generalova, A.V. Nechaev, D.A. Khochenkov, E.V. Stepanova, O.I. Lebedev, A.V. Zvyagin, S.M. Deyev & V.Ya. Panchenko. Riboflavin photoactivation by upconversion nanoparticles for cancer treatment. // Scientific Reports 6, Article number:35103. 2016.
2. K.V. Khaydukov, V.V. Rocheva, A.G. Savelyev, M.E. Sarycheva and I.M. Asharchuk. Synthesis of NaLuF₄: Er³⁺, Yb³⁺, Ce³⁺ nanoparticles and study of photoluminescent properties in C-band. //EPJ Web of Conferences, 132, 03049. 2017.
3. К.В. Хайдуков, И.М. Ашарчук, Е.В. Хайдуков, В.И. Соколов // Формирование и определение характеристик оптических полимерных волноводов в фоточувствительном полимере. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58, Н. [8-2](#), С. 280-282.

Флуоресценция одиночных молекул в затухающих полях

И.Ю. Шеина, Е.А. Савченко, Е.Т. Аксёнов, Е.Н. Величко, Э.К. Непомнящая

(Санкт-Петербург)

Флуоресценция молекул представляет собой череду фотонов, испущенных в произвольные моменты времени. Флуоресценция одиночной частицы всегда флуктуирует. Эти флуктуации содержат информацию о квантовой динамике объекта, его взаимодействии с локальным окружением и являются главным объектом исследования спектроскопии одиночных молекул. Процесс флуоресценции молекулы начинается с поглощения фотона, который переводит её из основного энергетического состояния в возбужденное. Испускание фотонов при флуоресценции происходит за несколько наносекунд, затем молекула возвращается в основное электронное состояние и готова к следующему циклу поглощение – испускание.

При обработке сигналов флуоресценции единичных молекул, как правило, вычисляют автокорреляционную функцию флуоресценции, параметр Менделя, функцию распределения фотонов флуоресценции, т.е. вероятность обнаружить N фотонов на временном интервале длительности t , и другие вероятности [1]. Данные расчеты позволяют получить уникальную информацию о свойствах молекул и их поведении, которую нельзя получить при исследовании молекул в ансамбле.

Детектирование одиночных молекул, поглощающих свет и окруженных другими молекулами, требует выполнения следующих условий:

- Только одна молекула находится в исследуемом объеме;
- Сигнал от одиночной молекулы больше, чем фоновый сигнал.

Существуют разные методы детектирования единичных молекул, например, люминесцентные методы исследования или конфокальная микроскопия [2]. В данной работе было решено использовать метод флуоресценции в затухающем поле.

Экспериментальная схема для реализации данного метода строится на основе принципа полного внутреннего отражения светового потока. Несфокусированный лазерный пучок попадает на призму из плавленого кварца, расположенную на платформе микроскопа. При полном внутреннем отражении на стыке поверхностей стекло – жидкость свет проникает в жидкую среду на глубину порядка долей микрона. Так, при глубине проникновения луча на 0,156 мкм, наблюдаемый объем составляет всего 14 аттолитров. При концентрации флуорофора ниже, чем 10^{-7} М, единичные молекулы легко детектируются. Так в работе [3] показано, что при концентрации $3,3 \cdot 10^{-9}$ М в объеме, равном 0,5-1,0 флс учетом распределения Пуассона, вероятность нахождения одной молекулы равна 0,368.

Применение данной схемы позволит исследовать флуоресценцию единичных молекул с высоким разрешением. Исследования в данной области открывают новые пути в различных областях науки, таких как нанохимия,

молекулярная электроника, нанооптика и наномеханика. Приобретается опыт в конструировании наноэлектронных схем, спиновых фильтров и транзисторов, нанокomпьютерных элементов и т.д. [4].

1. Щукина А.Л. Флуктуирующая флуоресценция одиночных молекулярных комплексов. // Диссертация на соиск.уч. степени к.ф.-м.н. 2012. 149 с.

2. Осадько И.С. Флуктуирующая флуоресценция наночастиц // Издательство: ФИЗМАТЛИТ. 2011. 317 с.

3. Сердюк И., Заккаи Н., Заккаи Дж. Методы в молекулярной биофизике. Структура. Функция. Динамика. // Учебное пособие. Том 2. Книжный дом Университет. 2010. 703 с.

4. Бучаченко А.Л. Новые горизонты химии: одиночные молекулы// Успехи химии. 2006. Т.75. №1. 24 с.

Исследование объектов методом рассеяния поляризованного света

Е.Т. Аксёнов, Е.Н. Величко, А.И. Семенова

(Санкт-Петербург)

В настоящее время, благодаря высокому развитию науки и техники, в современной медицине для решения задач диагностики всё чаще используются физические подходы. Например, широкий спектр применений нашли различные виды излучений.

Наиболее безопасным считается использование оптического и инфракрасного диапазонов электромагнитного излучения. Отдельной информативностью обладает поляризованное когерентное излучение. Поляризационный свет широко используется в фототерапии, он оказывает комплексное оздоровительное воздействие на организм человека, способствует улучшению микроциркуляции, улучшает состояние кожи, укрепляет иммунитет, способствует заживлению ран и снятию боли. Помимо этого при помощи изучения поляризационных характеристик прошедшего или

отраженного света можно проводить диагностику кожи, подкожных областей, сетчатки глаза, эмали зубов и т.д.

Приборы для ранней диагностики образований кожи и подкожных областей на основе поляриметрических методов представляются эффективными и перспективными для современной медицины. Когда линейно поляризованный свет падает на кожу, часть его отражается от поверхности с сохранением поляризации, однако часть, проникшая под поверхность кожи, будет испытывать многократное рассеяние и его поляризация на выходе изменится.

Таким образом, при регистрации отсекая часть излучения с сохраненной поляризацией, мы можем получить изображение подкожных структур [1].

Для регистрации деполяризованной части рассеянного излучения используется схема с входным поляризатором и выходным поляризатором-анализатором. При вращении выходного поляризатора можно регистрировать как отраженное от поверхности кожи излучение (например, фиксировать местоположение неоднородности кожи – родинки), так и излучение, рассеянное подповерхностными слоями кожи (наблюдать структуру тканей и даже ядра клеток в области, подозрительной на онкологию) [2].

Данный метод является абсолютно неинвазивным, в отличие от применяемых в настоящее время соскобов, не нарушает структуру тканей, что позволяет проводить диагностику на столько часто, на сколько это необходимо. Внедрение прибора регистрации на основе поляриметрии в массовую диспансеризацию населения позволит значительно сократить число людей, страдающих меланомой, поскольку позволит обнаружить участки кожи, структура которых только начала меняться.

В данной работе был собран лабораторный макет диагностического прибора на основе лазерной поляриметрии [3]. В экспериментах в качестве исследуемых объектов была выбрана кожа курицы и свиньи. Обработка полученных изображений проводилась в программе MathLab. При освещении

различных участков кожи были обнаружены области неоднородностей и внутренние дефекты. Дальнейшие исследования будут направлены на определение характера неоднородностей, изучение получаемых изображений от тканей с начинающимися паталогическими изменениями.

1. Танин Л.В., Дик С.К., Александров С.А. Поляризационные характеристики излучения, рассеянным кожным покровом человека. // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 1995. Т. 59. № 6. С. 84–89.
2. Свиридов А.С., Домнин К.Г., Аксенов Е.Т. Поляризационная визуализация в случайно-неоднородных средах. // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Университет ИТМО. 2015.
3. Domnin K.G., Velichko E.N., Aksenov E.T. Electrooptical Fourier-Processor for microobjects investigation. // Optical Memory & Neural Networks. 2016. v. 25, N1, pp.50–57.

Лазерная абляция биоматериалов

А.В. Усольцева

(Ижевск)

Широкое распространение в нашей жизни получили лазеры и лазерные технологии. Хотя список применения лазеров очень длинный, он продолжает увеличиваться. К отраслям, в наибольшей степени нуждающимся в лазерных технологиях, относятся медицина, военно-промышленный комплекс, телекоммуникации, авиакосмическая сфера, металлургия. Применение лазеров в медицине принципиально отличается от других многочисленных областей технологических применения лазеров. Лазерные медицинские технологии отличаются гуманистической направленностью, многоплановостью, комплексностью, разнообразием.

Воздействие лазерного излучения на различные биоматериалы с индивидуальными свойствами, как оптическими (спектральные

характеристики, коэффициент отражения, глубина проникновения излучения), так и теплофизическими (теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость), различается по характеру воздействия. Соответственно, в каждом случае выбираются индивидуальные параметры режима облучения: длина волны, длительность воздействия, мощность, частота следования импульсов и т.д. Существенное различие свойств биотканей, каждая ткань в силу своей биологической природы неоднородна, имеет сложную микроструктуру, определяет специфичность лазерного воздействия. Следствием этого является тот факт, что воздействие излучения на ткани, для разных тканей и длин волн излучения различается не только количественно, но и качественно.

Состояние поверхности при лазерной абляции определяют основные характеристики лазерного воздействия, от которых зависит эффективность восстановления и внешний вид полостей, разрезов, отверстий и т.д. Наличие различных включений или пустот на поверхности биоматериала приводит к кардинальному улучшению биосовместимости, ускорению адаптации организма к инородному телу, позволяет значительно снизить вероятность его отторжения, позволяет предотвратить воспалительные процессы. Постоянно возрастающие объемы лазерных технологий, увеличивающееся количество видов биоматериалов существенно осложняют решение вопросов минимизации рисков, осложнений, появления рецидивов. Вопросы совершенствования структуры управления технологическими процессами лазерной обработки биоматериалов требуют дальнейшего изучения и обобщения. Первостепенное значение имеет разработка теоретических и методических основ технологического использования лазеров для обработки биоматериалов с получением заданного состояния поверхности при лазерной абляции[1]. Лазерные импульсы являются эффективным инструментом модификации поверхности, их взаимодействие с поверхностью, как правило, приводит к сглаживанию и гомогенизации поверхности, кроме того, в результате лазерного

облучения в приповерхностном слое происходят фазовые превращения. Все это во многих случаях улучшает эксплуатационные характеристики биоматериалов, однако формирующиеся при импульсном лазерном воздействии кратеры на поверхности могут свести на нет весь полученный положительный эффект.

Проведенные исследования показали, что, для достижения заданного состояния биологических материалов с помощью разработанных теоретических и методических основ перспективно использование комплексного подхода, учитывающего существование функционально-корреляционных связей между параметрами, характеризующими технологию лазерной обработки и состояние поверхности биоткани.

1. Usoltseva, A.V. The laser engraving in decorative processing of organic glass. Instrumentation engineering, electronics and telecommunications – 2015: Paper book of the I International Forum IEET-2015 held within the framework of the XI International Scientific-Technical Conference “Instrumentation Engineering in the XXI Century. Integration of Science, Education and Production” (November, 25–27, 2015, Izhevsk, Russia). – Izhevsk: Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2016. – 190-194 p.

СЕКЦИЯ Б-2 – НАНОТЕХНОЛОГИИ

Исследование термодинамических и оптических характеристик кристаллов системы $\text{AgBr} - (\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54})$

Д. Д. Салимгареев, А. Е. Львов, А. С. Корсаков, Л. В. Жукова
(Екатеринбург)

В ходе проводившихся ранее исследований методами дифференциально-термического и рентгенофазового анализов была изучена и построена фазовая диаграмма системы $\text{AgBr} - (\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54})$ при атмосферном давлении [1]. Было установлено, что на данной диаграмме существует широкая область гомогенности до 50 мас. % (38 мол. %) $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$ в AgBr . Однако, при выращивании кристаллов с более высоким содержанием $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$ возникла необходимость в корректировке режимов роста, которые разрабатываются в соответствии с диаграммой плавкости системы. Поэтому было принято решение провести дополнительные фундаментальные исследования данной диаграммы. Для этих целей изготовлен аналитический блок ДТА к ростовой установке выращивания кристаллов по методу Бриджмена (ПКБ-01). Правомочность использования блока дифференциально-термического анализа на установке ПКБ-01 соответствует ГОСТу 21553-76 [2]. В результате проведенных исследований выявлено существование двух областей гомогенности: твердые растворы AgBr с содержанием $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$ до 45 – 50 мас. % (левая часть диаграммы) и твердые растворы $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$ с содержанием AgBr приблизительно до 20 мас. % (правая часть диаграммы).

Опираясь на данную фазовую диаграмму, были выращены монокристаллы системы $\text{AgBr} - (\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54})$ с содержанием последнего 2, 5, 8, 16 мас. %. Из полученных кристаллов методом горячего прессования, процесс которого более подробно описан в работе [3], были получены поликристаллические пластинки диаметром до 15 мм и толщиной до 350 мкм. На полученных образцах были сняты основные оптические характеристики, такие как спектральное

пропускание и показатели преломления.

Определение диапазона пропускания кристаллов проводилинаУФ-спектрофотометреShimadzuUV-1800 (диапазон работы от 190 до 1100 нм), ИК-Фурье-спектрометреVERTEX 80 (Bruker) с расширенным ИК-диапазоном 680 – 165 см⁻¹ (от 14,7 до 60,6 мкм) и ИК-Фурье-спектрометреIRPrestige-21 (Shimadzu), работающем в спектральном диапазоне 7800 – 240 см⁻¹ (1,28 – 41,7 мкм). В результате исследований было установлено, что диапазон пропускания сдвигается в более длинноволновую область до 45 – 60 мкм для длинноволнового края поглощения и до 0,46 – 0,56 мкм для ближневолнового края поглощения в зависимости от состава кристаллов, т. е. от содержания в кристаллах более тяжелого по молекулярной массе и радиационно-стойкого TlBr_{0,46}I_{0,54}.

Кроме того, для данных составов были определены показатели преломления для различных длин волн (для ближнего края поглощения и от 3 до 14 мкм). Методика определения и результаты исследований подробно описаны в работе [4]. Выявлено, что с увеличением содержания TlBr_{0,46}I_{0,54} в AgBr происходит увеличение показателя преломления, а также с увеличением длины волны происходит монотонное уменьшение показателя преломления в пределах каждого состава.

В результате проведенных исследований были разработаны режимы выращивания кристаллов системы AgBr – (TlBr_{0,46}I_{0,54}) и определены основные оптические свойства данных материалов. Полученные данные являются основой для изготовления среднеинфракрасных оптических волокон (однослойных, двухслойных и PCF) для различных применений в оптической технике.

1. A. S. Korsakov, L. V. Zhukova, V. S. Korsakov, D. S. VrublevskyandD. D. Salimgareev. Research of phase equilibriums and modelling of structure of AgBr – (TlBr_{0,46}I_{0,54}) system / Tsvetnye Metally. 2014. Issue 8. P. 50–54.

2. ГОСТ 21553 – 76. Пластмассы. Методы определения температур плавления. Москва : Издательство стандартов, 2001. 15с.
3. A. S. Korsakov, D. S. Vrublevsky, V. S. Korsakov, L. V. Zhukova. Investigating the optical properties of polycrystalline $\text{AgCl}_{1-x}\text{Br}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) and $\text{Ag}_{0.95}\text{Tl}_{0.05}\text{Br}_{0.95}\text{I}_{0.05}$ for IR engineering / *Applied Optics*. 2015. Vol. 54. Issue 26. P. 8004–8009.
4. A. Korsakov, D. Salimgareev, A. Lvov, L. Zhukova. IR spectroscopic determination of the refractive index of $\text{Ag}_{1-x}\text{Tl}_x\text{Br}_{1-0.54x}\text{I}_{0.54x}$ ($0 \leq x \leq 0.05$) crystals / *Optics and Laser Technology*. 2017. Vol. 93. P. 18–23.

Разработка структуры фотонных световодов на базе модифицированных галогенидов серебра и исследование их функциональных свойств

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

(Екатеринбург)

Разработаны научные основы создания новой элементной базы фотоники и волоконной оптики среднего инфракрасного диапазона спектра на основе твёрдых растворов галогенидов серебра $\text{AgCl} - \text{AgBr}$, $\text{AgBr} - \text{AgI}$ модифицированных $\text{Tl(I):AgBr} - \text{TlI}$, $\text{AgBr} - (\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54})$. Установлен диапазон прозрачности кристаллов данных составов, который составляет от 0,46 до 60,6 мкм. Из этих кристаллов изготавливают гибкие негигроскопичные световоды различной фотонной структуры [1].

Проведён анализ существующих вариантов фотонно-кристаллических волокон (PCF) (рис. 1) [2]. На основании данного анализа предложена и смоделирована структура фотонного световода на основе кристаллов модифицированных галогенидов серебра [3]. Найдены структуры, поддерживающие одномодовый режим на длине волны 10,6 мкм с увеличенным полем моды за счет механизма ФЗЗ. Определена гексагональная структура со следующими параметрами: геометрический профиль имеет

центральную вставку диаметром 17,46 мкм и шесть периферических вставок диаметром 17,46 мкм расположенных вокруг неё с расстоянием между центрами в 58,82 мкм. Составы элементов PCF световода (мол. %): в матрице $\text{AgBr}_{0,82}\text{Cl}_{0,18}$ ($n = 2,130$); во вставках периферии $\text{AgBr}_{0,75}\text{Cl}_{0,25}$ ($n = 2,123$); в центральной вставке $\text{AgBr}_{0,84}\text{Cl}_{0,16}$ ($n = 2,134$).

Для создания данного световода изучена дисперсия показателя преломления твёрдых растворов систем $\text{Ag}_{1-x}\text{Tl}_x\text{Br}_{1-x}\text{I}_x$ ($0 \leq x \leq 0,05$), AgBr ($\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$) при содержании $\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ от 0 до 10 мол.% в AgBr , а также системы $\text{AgCl}_{1-x}\text{Br}_x$ ($0 \leq x \leq 1$). Теоретически доказано влияние механизма ФЗЗ на распространение излучения ($\lambda = 10,6$ мкм) по данной фотонной структуре в сравнение с механизмом полного внутреннего отражения. Смоделированная структура PCF позволяет увеличить размер диаметра фундаментальной моды до значения в 100 мкм. Экспериментально подтверждён режим работы одномодового ИК световода на длине волны 10,6 мкм с диаметром поля моды 100 мкм.

Исследовано воздействие ионизирующего, УФ и ИК излучения на кристаллы и световоды, выявлена устойчивость к радиации световодов состава $\text{AgBr} - \text{Tl}$ до 500 кГр, обнаружен просветляющий эффект на кристаллах систем $\text{AgBr} - \text{Tl}$, $\text{AgBr} - (\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54})$, определена плотность мощности передаваемого через световоды излучения с длиной волны 10,6 мкм – $61 \text{ кВт} / \text{см}^2$.

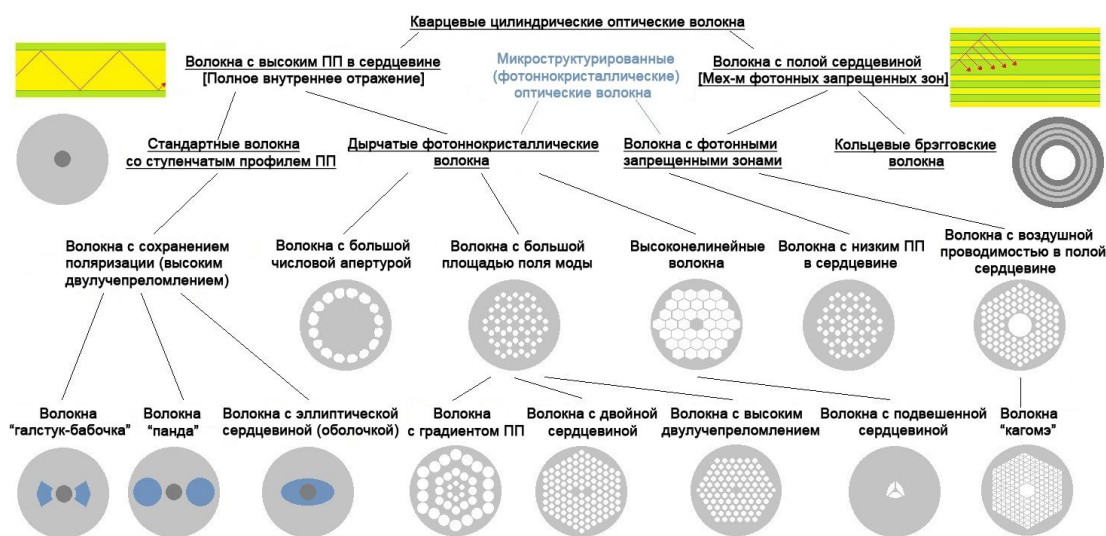


Рис.1. Классификация основных типов цилиндрических оптических волокон на примере

волокон из плавленого кварца с демонстрацией механизмов полного внутреннего отражения (слева вверху) и фотонных запрещенных зон (справа вверху). Белые элементы – воздух (либо наполнение); светло-серые – SiO_2 ; темно-серые – $\text{SiO}_2:\text{Ge}$; синие – V_2O_5 . ПП – показатель преломления

1. Волоконные световоды для среднего инфракрасного диапазона / Л.В. Жукова, А.С. Корсаков, А.Е. Львов, Д.Д. Салимгареев // Изд. УМЦ УПИ.: Екатеринбург, 2016. 247 с.
2. Infrared fibers / G. Tao [et al.] //Adv. in Opt. and Photon. 2015. Vol. 7. P. 379-458.
3. Галогенид серебряные волоконные световоды для лазерной медицины В. С. Корсаков, В. Н. Фасхиев, М. С. Корсаков, Л. В. Жукова. /Оптический журнал. 2017. Т. 84. № 10. С. 64-68.

Синтез кристаллов состава $\text{AgBr}_{0,17}\text{Tl}_{0,83}$ для лазерной техники и волоконной оптики

М.С. Корсаков, А.С. Корсаков, Д.С. Сучкова

(Екатеринбург)

Синтез кристаллов и разработка волоконных световодов для среднего инфракрасного (ИК) диапазона спектра (2,0 – 25,0 мкм) является актуальной задачей, т. к. кварцевые световоды прозрачные от 0,2 до 2,0 мкм в этой области не работают. Известные кристаллы и световоды на основе галогенидов серебра и таллия (I) прозрачны в указанном диапазоне, но галогениды серебра фоточувствительны, а ИК световоды на основе галогенидов таллия (KPC-5) со временем разрушаются из-за рекристаллизации [1]. Также было установлено, что по мере роста концентрации Тl в материале кристалла повышается фотостойкость до трёх раз по сравнению с системой кристаллов $\text{AgCl}_x\text{Br}_{1-x}$ [1].

Синтез кристаллов системы AgBr-Tl стал возможен благодаря впервые разработанной физико-химической управляемой технологии включающие получение высокочистой шихты термозонной кристаллизацией синтезом (ТЗКС), рост кристаллов по методу Бриджмена и их химико-механическую

обработку.

Результатом данной работы стало получение новых негигроскопичных, с широким спектральным диапазоном прозрачности (от 0,46 до 60,0 мкм), радиационно-стойких (до 501 кГр), пластичных (коэффициент Пуассона от 0,4 до 0,35), кристаллов твёрдых растворов системы AgBr–TlI.

Выращен кристалл состава $\text{AgBr}_{0,17}\text{TlI}_{0,83}$ диапазон прозрачности которого составил от 0,546 до 60 мкм и далее (рис. 1). Спектроскопической методикой [2, 3] определили показатель преломления (n) и коэффициент френелевского отражения (R) на длине волны 10,6 мкм: $n - 2,408$, $R - 0,1707$.

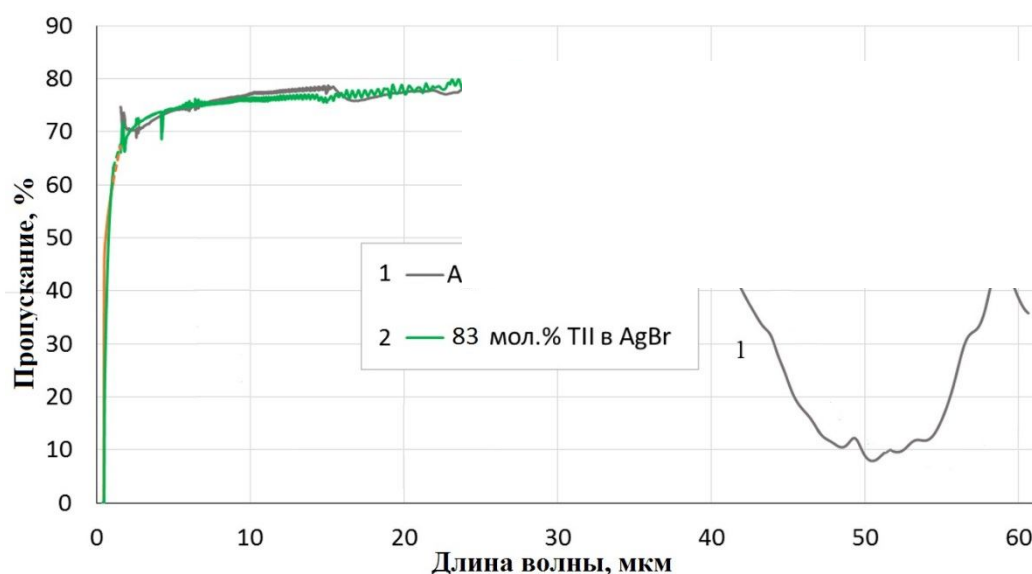


Рис.1. Спектры пропускания кристаллов состава AgBr (1) $\text{AgBr}_{0,17}\text{TlI}_{0,83}$ (2)

1. Жукова Л.В., Корсаков А.С., Салимгареев Д.Д. Инфракрасные кристаллы теория и практика. // Изд. УМЦ УПИ, Екатеринбург. 2015.-215 с.
2. Antireflective coating for AgBr-TlI and AgBr-TlBr $0.46\text{I}0.54$ solid solution crystals / A. Korsakov // Optical Materials. 2016. Vol. 62. P. 534-537.
3. Padera, F. Measuring Absorptance (k) and Refractive Index (n) of Thin Films with the Perkin Elmer Lambda 950/1050 High Performance UV-Vis/NIR / F. Padera // Spectrometers Application note: UV/Vis Spectroscopy, 2013. Shelton : Perkin Elmer Inc. 14 p.

**Исследование полупроводниковой структуры с *p-n*-переходом,
сформированным в пленке пористого кремния с помощью
лазерного излучения**

В.В. Трегулов, В.А. Степанов, Н.Н. Мельник

(Рязань, Москва)

Пористый кремний (por-Si) является перспективным материалом современной наноэлектроники. Важной областью применения por-Si является изготовление фотоэлектрических преобразователей. В нашей работе [1] была показана возможность формирования *p-n*-перехода в полупроводниковой структуре por-Si/*p*-Si методом термической диффузии фосфора из пленки por-Si. Причем, насыщение пленки por-Si фосфором проводилось во время ее роста. Это позволяет сократить число операций по сравнению с традиционной схемой и способствует снижению себестоимости конечной продукции.

В данной работе приведены результаты исследования, описанной выше полупроводниковой структуры, в которой *p-n*-переход формируется с помощью лазерного излучения. Полупроводниковая структура была изготовлена следующим образом. На поверхности кремниевой монокристаллической пластины *p*-типа с удельным сопротивлением 1 Ом·см и ориентацией поверхности (100) выращивалась пленка por-Si методом анодного электрохимического травления в гальваностатическом режиме при плотности тока 20 мА/см² в течение 10 минут. Использовался электролит, состоящий из HF, C₂H₅OH и H₃PO₄ (соотношение компонентов 1:1:1). Полученная пленка por-Si содержала примесь фосфора. Поверхность пленки por-Si облучалась лазером LS-2147A (Nd:YAG) с генератором гармоник. Облучение образцов проводилось однократным импульсом, длительностью 18 нс, при длине волны $\lambda = 532$ нм для диапазона энергий $E = 100\text{--}240$ мДж и $\lambda = 355$ нм для $E = 60\text{--}200$ мДж. Длины волн выбирались из соображения наибольшего поглощения лазерного излучения в пленке por-Si.

Измерение знака поверхностной термо-эдс после частичного удаления

слоя por-Si показало, что у образцов, облученных при $\lambda=355$ нм и $E=85\text{--}200$ мДж, поверхность имеет n-тип проводимости. Для образцов, облученных при $\lambda=532$ нм, поверхность имела p-тип проводимости. Таким образом, в первом случае происходило формирование p-n-перехода. Исследования образцов с p-n-переходом методами комбинационного рассеяния света и фотолюминесценции показали, что в результате облучения лазером в пленке por-Si исчезает аморфизированная фаза, и остаются только наиболее крупные кремниевые кристаллиты. Одновременно возникают поверхностные состояния с центрами безызлучательной рекомбинации. Возможно, это является результатом частичной перекристаллизации пленки por-Si . Измерение вольт-амперной характеристики при температуре 300 К показало, что процессы токопрохождения имеют сложный характер. При прямом включении в области малых напряжений смещения наблюдается участок, характерный для p-n-перехода с преобладанием рекомбинации в области пространственного заряда. С увеличением напряжения смещения проявляются процессы, объясняемые моделью токов, ограниченных пространственным зарядом. При обратном смещении вольт-амперные характеристики типичны для p-n-перехода с преобладанием генерационно-рекомбинационных процессов. Вольт-фарадные характеристики, измеренные в диапазоне частот 1 кГц – 1 МГц, типичны для полупроводниковых структур, содержащих поверхностные состояния с глубокими уровнями. Высокочастотная вольт-фарадная характеристика (1 МГц) типична для структуры с резким p-n-переходом, содержащим дефекты в базовой области.

1. Мельник Н.Н., Трегулов В.В., Кривушин А.А. Свойства n^+ -p-перехода, сформированного термической диффузией в пленке пористого кремния // Сборник трудов VI Всероссийской молодежной конференции по фундаментальным и инновационным вопросам современной физики. 2015. Москва. ФИАН. С. 155.

Исследование радиационной стойкости волокон на основе галогенидов серебра и одновалентного таллия

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

(Екатеринбург)

В настоящее время существует потребность в наблюдении процессов и состава протекания химических реакций в условиях повышенного ионизирующего излучения. Для этих целей необходимы материалы прозрачные в широком спектральном диапазоне, при этом устойчивые к различным видам излучений. Данным требованиям удовлетворяют материалы на основе галогенидов серебра, легированные одновалентным таллием. Для этих целей были проведены исследования радиационной стойкости ИК-световодов следующих составов: $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$, $\text{Ag}_{0,95}\text{Tl}_{0,05}\text{Br}_{0,95}\text{I}_{0,05}$. Исследования проводилось на исследовательской ядерной установке ИВВ-2М АО (Институт реакторных материалов, г. Заречный). Набранная поглощенная доза для каждого состава световодов составляет 70 и 501 кГр. Далее была проведена оценка пропускания облученных световодов на спектрометре IR-Prestige 21 Shimadzu.

Относительно световодов состава $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ можно сделать вывод о стабилизации пропускания при наборе дозы 70 кГр, поскольку при наборе дозы 501 кГр существенных изменений в характере спектров не наблюдается. Как при 70 кГр так и при 501 кГр присутствует уменьшение интенсивности пропускания в диапазоне 4,5 – 6,0 мкм на 60 %, а в диапазоне 10 – 18 мкм на 30 %.

Относительно световодов состава $\text{Ag}_{0,95}\text{Tl}_{0,05}\text{Br}_{0,95}\text{I}_{0,05}$ можно сделать следующий вывод: при набранной дозе 70 кГр световод уменьшил пропускание на 20 % в диапазоне 14 – 20 мкм, в тоже время увеличил пропускание на 45 % в диапазоне 4 – 6 мкм, при сохранении пропускания примерно на том же уровне в диапазоне 11 – 13 мкм; при набранной дозе 501 кГр световод уменьшил пропускание на 40 % в диапазоне 14 – 20 мкм, в тоже время увеличил пропускание на 72% в диапазоне 4 – 6 мкм, при сохранении пропускания

примерно на том же уровне в диапазоне 11 – 13 мкм

В результате показана большая радиационная стойкость ИК световодов при введении в их состав ТП, а также обнаружен просветляющий эффект для системы AgBr – ТП в диапазоне длин волн 4 – 11 мкм при наборе доз 70 и 501 кГр.

Моделирование структуры и изготовление фотонно-кристаллических волокон для диапазона 2-25 мкм и модификация их поверхности

А. Е. Львов, Д. Д. Салимгареев, М. С. Корсаков, А. С. Корсаков, Л. В. Жукова
(Екатеринбург)

Для развития волоконно-оптических элементов средней ИК области необходимы фотостойкие, гибкие материалы, прозрачные в широком спектральном диапазоне. Твердые растворы галогенидов серебра и одновалентного таллия являются наиболее подходящей кристаллической средой для этих целей, из которых можно изготовить методом экструзии волоконные световоды.

Были смоделированы световоды четырех различных структур (обычная двухслойная, с гексагональными вставками, с гексагональными вставками и полый сердцевинной и с гексагональными вставками и сердцевинной с большим чем оболочка показателем преломления) на основе двух кристаллических систем AgCl – AgBr и AgBr – ТП с различным соотношением диаметров вставок и шага между ними. Это простейшие структуры известные из кварцевой волоконной оптики.

По результатам моделирования была выбрана структура на основе твердых растворов хлорид-бромидов серебра – волокно с одним кольцом гексагонально ориентированных вставок и сердцевинной с большим показателем преломления состава $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ ($n = 2,1225$) [1] в матрице из $\text{AgCl}_{0.18}\text{Br}_{0.82}$ ($n = 2,1297$) [1] и центральной вставкой из $\text{AgCl}_{0.16}\text{Br}_{0.84}$ ($n = 2,1336$) [1]. Диапазон относительных

размеров вставок d_i/Λ_i составил $0,2(d_i - \text{диаметр вставки}, \Lambda_i - \text{шаг})$. Очевидно, преобладающий вклад в поддержание фундаментальной моды (LP_{01}) в нем дает механизм полного внутреннего отражения, однако фотонная структура, как мы считаем, оказывает концентрирующее действие, не позволяя излучению с длиной волны $10,6 \text{ мкм}$ уходить от центрального дефекта с диаметром $\sim 11 \text{ мкм}$. Отдельно же механизм фотонных запрещенных зон не в состоянии поддерживать одновременно одномодовый режим работы волокна и LP_{01} симметрию низшей моды в области сердцевины.

Методика получения волокна совмещает методы rod-in-tube и stack-and-draw (рис. 1). Полученное в результате экструзии волокно с гексагональными вставками и активной сердцевиной является одномодовым, несмотря на непостоянство размера элементов микроструктуры по длине волокна и их отклонения от смоделированной и идеальной геометрической формы (табл. 1). Излучение, выходящее из волокна имеет коэффициент корреляции с гауссовским распределением $92,4 \%$.

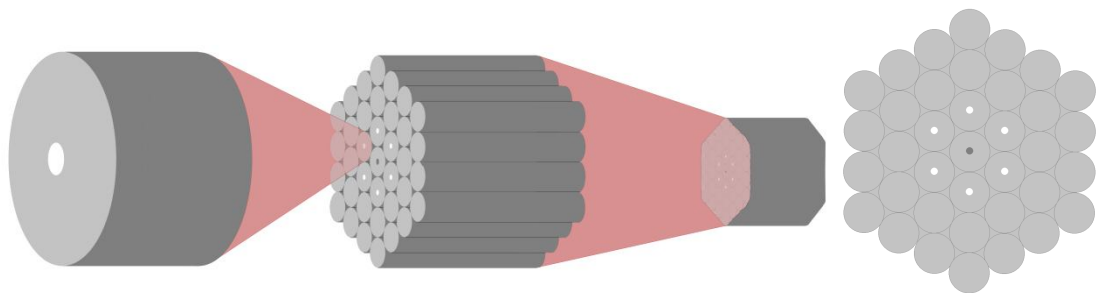


Рис. 1. Принципиальная схема получения HexACPCF

Таблица 1. Теоретически рассчитанные и экспериментальные характеристики HexACPCF

Показатель	Теория	Эксперимент
Диаметр вставки, d_i [μm]	11,1	$11 \pm 1 \dots 13 \pm 3^*$
Шаг структуры, Λ_i [μm]	55,5	$54,5 \pm 1 \dots 63 \pm 10^*$
Коэф. затухания $\alpha_{atR = 20 \text{ cm}}$ [dB/m]	>8	$3,4^{**}$
Половинный угол расхождения пучка $\gamma_{1/2}$ [$^\circ$]	3,4	7,7

* погрешность обусловлена методикой измерения и разбегом габаритов вставок, а границы интервала соответствуют значениям на разных торцах

** рассматриваются собственные потери при радиусе изгиба волокна в 20 см

1. A. S. Korsakov, D.S. Vrublevsky, L.V. Zhukova. Measuring spectral transmission and refractive index of $\text{AgCl}_{1-x}\text{Br}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) and $\text{Ag}_{1-x}\text{Tl}_x\text{Br}_{1-x}\text{I}_x$ ($0 \leq x \leq 0,05$) at the wavelength of 10,6 μm . //Opt. Mat. 2015. Vol 50, P. 204–207.

Моделирование фотонной структуры световодов с увеличенным диаметром поля моды на основе кристаллов систем AgBr-ТII, AgBr-AgCl

А.А.Лашова, А.С.Корсаков, А.Е.Львов, Л.В. Жукова

(Екатеринбург)

Фотонно-кристаллические световоды (PCF), представляют собой волокна с периодической или аperiodической системой вставок, ориентированных вдоль оси волокна, с показателем преломления, отличным от показателя оболочки. Предполагается, что PCF для среднего и дальнего инфракрасного диапазона, способны передавать излучение низшего порядка моды при диаметре сердцевины 100 мкм на дальние расстояния с малыми потерями. Исследование фотонно-кристаллических световодов для ИК-диапазона спектра востребовано для изготовления волоконных лазеров и волоконно-оптических приборов для среднего и дальнего ИК-диапазона спектра [1].

В связи с высокими сложностью, материальными и временными затратами, часто применяется предварительное компьютерное моделирование, позволяющее определить наиболее оптимальные характеристики проектируемого волокна. Моделирование PCF осуществлялось с помощью модели источников света (source-model technique), позволяющей задать геометрию и оптические свойства волокна, а также определить модовый состав и энергию переданного излучения, эффективный показатель преломления [2].

Для исследования было выбрано волокно с кольцом из шести вставок, на

основе системы AgBr – AgCl и сердцевиной, выполненной на основе кристаллической системы AgBr – ТП. Матрица волокна выполнялась на основе системы AgBr – AgCl с показателем преломления n_m , превышающим показатель преломления вставок n_i . Значение показателя преломления центральной вставки n_{ci} выбиралось наибольшим.

В процессе моделирования изменялись составы кольцевых вставок, центрального дефекта и матрицы, так, чтобы сохранялось соотношение $n_i < n_m < n_{ci}$. Также варьировались диаметры кольцевых вставок в диапазоне от 30 до 40 мкм с шагом в 2,5 мкм, а также соотношение d_i/D_i между диаметром кольцевых вставок d_i и расстоянием между их осями D_i от 0,1 до 0,6. При моделировании было исследовано 172 варианта РСФ с октагональной кольцевой структурой. Диаметр сердцевины волокна принимался равным 100 мкм. Длина волны передаваемого излучения – 10,6 мкм.

В результате моделирования были получены структуры с увеличенным полем моды, наиболее эффективной из которых оказалась структура с диаметром вставок 37,5 мкм, соотношением $d_i/D_i=0,6$ и составом кольцевых вставок $\text{AgBr}_{0,98}\text{Cl}_{0,02}$ при $n_i=2,153$, матрицы $\text{AgBr}_{0,95}\text{Cl}_{0,05}$ при $n_m=2,161$ и центрального дефекта 0,5 мол.% ТП в AgBr при $n_{ci}=2,167$. Данная структура является маломодовой (2 моды) и передает излучение с достаточно высокой равномерностью (рис.1).

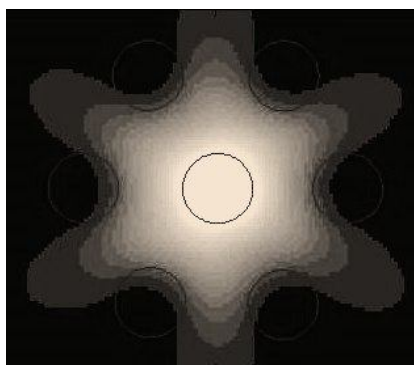


Рис. 1. Двумерное изображение распределения интенсивности по поперечному сечению инфракрасного фотонно-кристаллического световода

Результаты компьютерного моделирования показали принципиальную возможность создания фотонных световодов с увеличенным диаметром поля

моды для передачи ИК-излучения длиной волны 10.6 мкм на основе кристаллов систем AgBr – ТП, AgBr – AgCl.

1. Жукова Л.В., Корсаков А.С., Львов А.Е., Салимгареев Д.Д. Волоконные световоды для среднего инфракрасного диапазона// Изд. УМЦ УПИ, Екатеринбург 2016. – 247с.
2. G02B6/02-Инфракрасный световод с большим диаметром поля моды /Корсаков А.С., Жукова Л.В., Жуков В.В., Врублевский Д.С. (РФ), заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО УрФУ им. Б.Н. Ельцина.- № 2506615; опубл. 10.02.14.

Планарный базис ЛКАО в методе разложения функции Грина в непрерывную дробь при расчете электронной структуры кристаллов YAG

Л.К. Ермаков, П.А. Родный, В.М. Ханин

(Санкт-Петербург)

Кристаллы типа иттрий алюминиевого граната (YAG) привлекают к себе большое внимание создателей лазеров, светодиодов и сцинтилляторов в рентгеновской области. Близость структуры кристаллов YAG к структуре перовскитов имеет определенный интерес в плане изучения перспектив высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) ввиду того, что эти материалы имеют решетку, близкую к перовскитам, родственным к YAG. Вдобавок теория говорит о том, что для сверхпроводимости нужна достаточно сильная связь электронов с решеткой (в куперовской паре электроны связаны через фонон). Данному условию как раз и удовлетворяют широкозонные материалы, как это ни парадоксально (современные ВТСП - это керамика плохо проводящая при комнатной температуре).

Базис ЛКАО с атомными орбиталями (АО) Слэйтеровского типа для изучения молекулярных и кристаллических структур применяется с середины прошлого века. Он позволяет получить качественные результаты в неплохом

соответствии с экспериментом. Конечно атомные орбитали в численном виде [2] лучше совпадают с экспериментом, но при этом теряется физическая наглядность, присущая Слэйтеровским орбиталям. Базис ЛКАО может быть как симметризованным так и несимметризованным. У каждого варианта есть свои преимущества и недостатки.

После построения матрицы гамильтониана, для нахождения плотности состояний, мы используем метод разложения функции Грина в непрерывную дробь (НД). По математической сути это метод Ланцоша тридиагонализации матрицы, при котором исходный базис атомных орбиталей заменяется на другой, с помощью рекурсивной процедуры подробно описанной в [1] и [3]. При этом смысл новых базисных функций практически не подлежит физической интерпретации, независимо от того симметризован или нет исходный базис. Это превращает метод в некую математическую процедуру, преимущество которой состоит лишь в том, что сокращается необходимая память компьютера: два одномерных массива длина каждого из которых равна размерности гамильтониана (допустим если имеем гамильтониан 10×10 , то нужны два одномерных массива 1×10). Ну и есть еще дополнительное преимущество: остальную часть кристалла, за пределами взятого в расчет кластера, можно усредненно учесть, добавляя 'руками' небольшую мнимую энергию в 0.1-0.2 эВ на последний уровень непрерывной дроби.

Однако существует и другой путь в рамках метода НД: применить на исходном этапе такую ЛКАО, чтобы гамильтониан имел бы изначально тридиагональный вид. Вообще тридиагональный гамильтониан всегда получается при рассмотрении цепочки атомов с одной атомной орбиталью на атом. В этом случае в полуэмпирическом варианте диагональные элементы - это потенциалы ионизации, а под- и над-диагональные - энергия связи соседних атомов. В кристалле тридиагональный гамильтониан можно получить, если вместо АО одного атома взять нормированную сумму АО одной плоскости, либо что-то в духе гибридизированных АО одной плоскости. В этом случае

гамильтониан тоже изначально тридиагонален и, между прочим, дает энергию в одной из точек зоны Бриллюэна. Причем в случае гибридизированных АО возможны аналитические выражения для ширины запрещенной зоны в данной точке зоны Бриллюэна. Это связано с тем, что набор плоскостей с определённым расстоянием между ними, ‘нанизанных как шашлык’ на вектор, перпендикулярный им и есть точка в к-пространстве (пространстве волновых векторов).

1. Solid State Physics, v.35 (1980), Acad. Press, N.Y.
2. A.V. Munoz-Garcia, L.Seijo, Phys. Rev. B 82, 184118 (2010).
3. Парлетт Б., Симметричная проблема собственных значений, 1983, М., ‘Мир’.

Исследование влияния криогенной обработки на плотность дислокаций в твердосплавных материалах

Е.А. Кривонос, Е.В. Колтакова

(Новороссийск)

Из большой гаммы методов повышения работоспособности режущих инструментов наиболее перспективным является метод криогенной обработки в жидком азоте [1]. Обратимся к теории изнашивания-разрушения инструментальных материалов при резании [2], основанной на представлениях о дефектной структуре таких материалов.

Твердые спеченные сплавы можно отнести к категории механических систем, состоящих из малых однородных областей, разграниченных поверхностями раздела. Твердые сплавы состоят из двух фаз – карбидов тугоплавких металлов и металлической связки, которые отличаются физико-механическими свойствами. Это различие может быть принято в качестве основы внутренних процессов, происходящих в инструментальных материалах в результате криогенной обработки. В данной работе использован подход, когда твердый сплав моделируется набором двухслойных шаров: внутренний

шар - карбид тугоплавкого металла, внешний сферический слой - слой металлической связки.

Моделирование процессов в твердых сплавах, рассматриваемых как гетерогенные двухфазные среды, обуславливает необходимость введения трех уровней рассмотрения моделируемых процессов.

На первом уровне твердый сплав рассматривается как однородная среда, обладающая физическими характеристиками, с помощью которых можно производить описание свойств материала, не вдаваясь в особенности внутренней структуры его.

Второй уровень предполагает, что необходимо учитывать влияние внутренней структуры материала на характер протекающих в твердом сплаве процессов. На этом уровне вводится модель структуры материала и характерный элемент, рассматриваются протекающие физические процессы в конкретной структурной конфигурации материала.

Третий уровень соответствует эволюционным процессам в дислокационной структуре. При этом дислокация становится основным носителем физических явлений.

Значение давления на контакте двух фаз является входным параметром для построения модели пластической деформации, которая является следствием перестройки в дислокационной структуре материала.

Обращение к теоретическим исследованиям дефектной структуры позволило оценить порядок плотности дислокаций после криогенной обработки и констатировать, что изменение этого порядка свидетельствует о предположительном повышении прочности инструментальных материалов [3]. Связано это с работой дислокационно-вакансионного механизма, который оказывает влияние на снижение интенсивности изнашивания твердосплавных режущих инструментов после их криогенной обработки.

Таким образом, криогенная обработка твердых сплавов, работая по дислокационно-вакансионному механизму, является существенным резервом

снижения интенсивности изнашивания режущих инструментов.

1. Кривонос Е.А., Ширяева М.П. Криогенная обработка как метод повышения работоспособности режущих инструментов. // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии. Труды XIX Международной Конференции. Новороссийск. 2011. С. 66-68.
2. Солоненко В.Г. Элементы единой теории изнашивания режущих инструментов /В.Г. Солоненко, Е.А. Кривонос, Г.А. Зарецкий //Труды конгресса «Конструкторско - технологическая информатика». – М.: Станкин, 2005. С. 69 – 72.
3. Старков В.К. Дислокационные представления о резании металлов – М.: Машиностроение, 1979. -160 с.

Критический индекс проводимости перколяционного кластера

Б.П. Колесников, А.С. Магомадов

(Краснодар)

Описание физических явлений, в частности процессов переноса, в композиционных (гетерогенных) материалах, представляющих собой макроскопически неупорядоченные среды (МНС), является важной научно-технической проблемой. Особый интерес, представляют МНС с сильно неоднородными свойствами компонентов (типа проводник – изолятор), характерной особенностью которых является кардинальное изменение физических характеристик системы при переходе через порог перколяции (протекания)- «топологический» фазовый переход (аналог фазовых переходов второго рода), при котором возникает перколяционный (бесконечный) кластер (ПК) [1 - 3]. В таких системах выше порога протекания на масштабах меньших корреляционной длины ПК и его подструктур (остов - backbone, скелет - skeleton, красные связи - redbonds), обладающих фрактальными структурами и скейлингом [3], в наибольшей степени влияют на переносные свойства МНС. На

масштабах больших корреляционной длины они перестают быть фрактальным, становятся однородными и приобретают размерность пространства. При изучении эффективных свойств подобных сред обычно акцент делается на исследование изменения структуры МНС в непосредственной близости к порогу перколяции [1, 2]. В данной работе исследуется характер изменения проводимости при переходе ПК и его подструктур от фрактального состояния (с момента возникновения ПК) к однородному состоянию.

Согласно теории перколяции [1 - 4] показательными функциями описываются плотность (мощность) ПК θ , плотности подструктур ПК θ_{0i} , безразмерная проводимость ПК Λ_0 :

$$\theta \propto (\vartheta - \vartheta_c)^\beta, \quad (1)$$

$$\theta_{0i} \propto (\vartheta - \vartheta_c)^{b_i}, \quad (2)$$

$$\Lambda_0 \propto (\vartheta - \vartheta_c)^t. \quad (3)$$

ϑ – объёмная концентрация проводящей фазы; $\vartheta_c = 0.156$ – порог перколяции (протекания); $\beta = 0.417$ – фрактальный критический показатель ПК; b_i – фрактальный критический показатель подструктуры ПК (для backbone - $b = 1.002$, для skeleton - $b_{sk} = 1.426$, для redbonds - $b_{red} = 1.625$ [3]); t – критический индекс проводимости (все значения для 3-d сред).

В тоже время безразмерную проводимость ПК Λ_0 можно представить в виде зависимости от двух безразмерных топологических характеристик активной части ПК, участвующей в процессе переноса – её плотности θ_{0i} и «критической» смежности C_{0i} , представляющей собой безразмерное сечение, в котором концентрируются направленные напряжения или процессы [4, 5, 6]

$$\Lambda_0 = \theta_{0i} \sqrt{C_{0i}}. \quad (4)$$

При нахождении характеристик θ_{0i} и C_{0i} учитывалась трансформация фрактальной иерархической «внутренней» структуры ПК с момента его возникновения до приобретения им однородного состояния. Проводящей (активной частью) ПК является его остов - backbone (ОПК), который в свою очередь также обладает фрактальной иерархической «внутренней» структурой. Так в момент возникновения ПК, и, следовательно ОПК, доля элементов (частиц) содержащихся в ОПК пренебрежимо мала и состоит в основном из

одиночных связей (redbonds), при разрушении которых прекращается процесс переноса. При этом «контактная» смежность ПКС, которую можно рассматривать как общее безразмерное контактное сечение одной частицы ПК, будет совпадать с безразмерным критическим сечением частицы принадлежащей redbonds, поэтому «контактная» смежность C для redbonds будет являться смежностью «критической». При дальнейшем увеличении плотности ПК происходит увеличение активной части ПК - образования скелета ОПК(skeleton), в состав которого входят redbonds, и для которого смежность C будет также являться смежностью «критической». На следующем этапе развития ПК активной его частью становится backbone, содержащий и redbonds и skeleton, для которого смежность C будет «критической».

В случае соблюдения вероятностной равноправности частиц МНС, что характерно для классической перколяции, «контактная» смежность ПК будет равна $C = \theta^2$ [4, 5]. Тогда, из сравнения выражений (3) и (4), при использовании (1) и (2) для соответствующих подструктур ПК найдем $t = 2.042$, $t = 1.843$, $t = 1.472$. Полученный результат объясняет разброс значений t в диапазоне от 1.6 до 2.0, приводимых различными авторами для трехмерных МНС [1,2,3,7].

В момент полного становления однородного состояния ПК с размерностью пространства в процессе переноса участвует весь объем ПК, для которого выполняются условия $\theta = \vartheta$, $C = \vartheta^2$. В этом случае, полученное из (4) выражение $\Lambda_0 = \vartheta^2$, полностью совпадает с формулой для предельных значений свойств пористых тел второго типа [5]. Если сравнить полученное выражение с зависимостью (3), представленную для однозначности в виде

$$\Lambda_{01} = (1 - \vartheta_c)^{-1} (\vartheta_1 - \vartheta_c)^t, \quad (5)$$

найдем значение $t = 1.46$ согласующееся с полученными результатами. (Значения t могут варьироваться в зависимости от достоверности используемых в расчетах значений критических показателей и ϑ_c).

Полученный результат указывает на то, что критический индекс проводимости t является переменной величиной, зависящей от процесса формирования проводящей части ПК. На основе полученных значений критического индекса проводимости t и проведенным перколяционным анализом получена зависимость $t = f(\vartheta_1 - \vartheta_c)$, которую можно использовать для расчета эффективной проводимости ПК по формуле (5).

1. Снарский А.А., Безсуднов И.В., Севрюков В.А. Процессы переноса в макроскопически неупорядоченных средах: От теории среднего поля до

- перколяции. – М.: ЛКИ, 2007. – 304 с.
2. Виноградов А.П. Электродинамика композитных материалов. М.: УРСС, 2001. – 208 с.
 3. Тарасевич Ю.Ю. Перколяция: теория, приложение, алгоритмы. Учебное пособие. М.: Едиториал УРСС, 2002. 112 – с.
 4. Колесников Б.П. Проводимость предельно неоднородных гетерогенных систем.// III Международная научно-техническая конференция «современные методы и средства исследования теплофизических свойств веществ» 20 – 22 мая 2015г.: Сборник трудов. – Спб.: НИУ ИТМО; ИХ и БТ, 2015, с. 64 – 65.
 5. Бальшин М.Ю. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. М.: Металлургия, 1972.
 6. Б.П. Колесников, А.С. Магомадов. Физико-механические свойства предельно неоднородных макроскопических неупорядоченных сред. // III Международная научно-техническая конференция «современные методы и средства исследования теплофизических свойств веществ» 20 – 22 мая 2015г.: Сборник трудов. – Спб.: НИУ ИТМО; ИХ и БТ, 2015, с. 39 – 40.
 7. Дульнев Г.Н., Новиков В.В. Процессы переноса в неоднородных средах. Л., Энергоатомиздат, 1991. 246 с.

Расчет угловых и частотных спектров отражения и пропускания планарной композиционной анизотропной структуры

Ермолаев В. А., Мусеева Н. М.

(Волгоград)

Тонкие слоистые и градиентные анизотропные структуры являются основой для многих приборов оптики и электроники. В настоящее время существует несколько математических подходов для решения задачи о распространения света в анизотропных средах. Это метод характеристических матриц [1, с. 69], метод Берремана [2, с. 388], методы 4×4 [3], матричный метод ВКБ [4].

Для случая наклонного падения плоской волны плоский слой толщины d с оптической анизотропией из уравнений Максвелла получается система из

четырёх линейных ОДУ первого порядка. В случае, если оптическая ось анизотропного слоя параллельна плоскости падения волны, электромагнитные волны s - и p - поляризации распространяются в среде без взаимодействия, а систему ОДУ можно разделить на две подсистемы ОДУ второго порядка, описывающие независимые волны двух поляризаций. По решениям характеристических уравнений для таких подсистем методом ВКБ [5, с. 188] строится фундаментальная матрица решения системы ОДУ, а затем вычисляется матрица Коши, описывающая прохождение света через слоистую структуру. Матричный метод упрощает «сшивку» граничных условий для векторов напряжённости электрического и магнитного полей. Из условий «сшивки» находятся коэффициенты отражения и прохождения для исследуемой неоднородной структуры.

Описанный метод использован для определения зависимостей коэффициентов отражения и пропускания от угла падения плоской электромагнитной волны на поверхность анизотропной среды с тензором диэлектрической проницаемости вида [6, с. 119]:

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} 1 - \frac{\omega_\delta^2}{\omega^2} & 0 & 0 \\ 0 & 1 - \frac{\omega_\delta^2}{\omega^2 - \omega_H^2} & i \frac{\omega_\delta^2}{\omega^2 - \omega_H^2} \\ 0 & -i \frac{\omega_\delta^2}{\omega^2 - \omega_H^2} & 1 - \frac{\omega_\delta^2}{\omega^2 - \omega_H^2} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

где ω_p - плазменная, ω_H - и ларморова частоты твердотельной плазмы:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{4\pi e^2 N_{\max} f(z)}{m}}. \quad (2)$$

$f(z)$ - ограниченная функция $0 \leq |f(z)| \leq 1$, описывающая неоднородность концентрации частиц в слое плазмы, причем $f(d) = 1$.

Выполнены расчеты зависимостей коэффициентов отражения и пропускания для волн s - и p - поляризации от угла падения, и отношения длины

волны λ к толщине d отражающего слоя.

1. Born M., Wolf E. Principles of Optics (4th.ed.). Pergamon Press. 1970. 808 p.
2. Азаам Р., Башара. Н. Эллипсометрия и поляризован. свет. М.:Мир.1981. 584с.
3. Иванов О.В. Распространение волн в анизотропных бианизотропных слоистых структурах. УлГТУ. 2010. 262 с.
4. Моисеева Н.М., Яцышен В.В. Расчёт дисперсионных характеристик поверхностных плазмонов на границе неоднородной анизотропной среды. //Физика волн. процессов и радиотехнические системы. 2005. т8. N1. с.77 -81.
5. Вазов В. Асимптотические приближения в решении обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Мир. 1969. 463 с.
6. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. – М.: Наука. 1979. 384 с.

Изменение пропускания света многослойными композитами

А.Б. Аткарская, В.С. Каунов, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин

(Новороссийск)

В продолжение работ [1, 2] было изучено пропускания света многослойными композитами. Исследованы две серии образцов: в нечетным и четным числом слоев. Нечетное число слоев (конкретно 23 слоя) состоит из перемежающихся слоев TiO_2 и SiO_2 , начиная с TiO_2 . Четное число слоев (конкретно 24 слоя) состоит из перемежающихся слоев SiO_2 и TiO_2 , начиная с SiO_2 . Источник диоксида титана – тетраэтиловый эфир ортотитановой кислоты, источник диоксида кремния – тетраэтиловый эфир ортокремневой кислоты, катализатор гидролиза в обоих случаях – соляная кислота, растворитель – изопропиловый спирт. Массовая концентрация SiO_2 и TiO_2 в золях – 5 мас. %. Рис. 1 демонстрирует изменение среднего светопропускания композитов в зависимости от числа слоев.

Зависимость для композита с нечетным числом слоев описывается

логарифмической зависимостью с коэффициентом аппроксимации 0,91 или линейной зависимостью с коэффициентом аппроксимации 0,86.

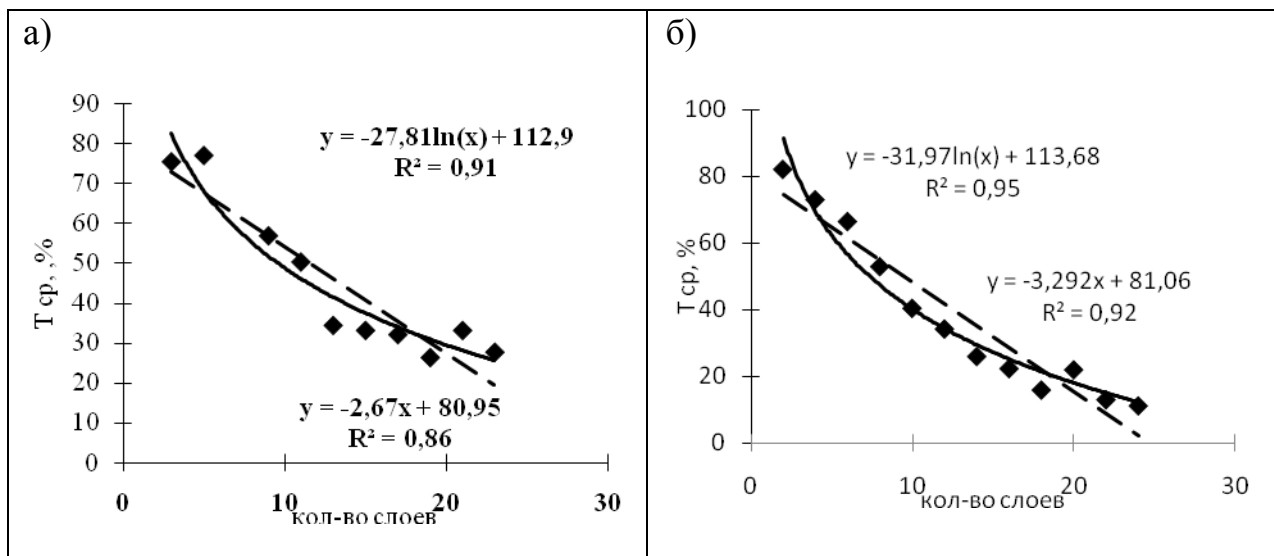


Рис. 1. Зависимость среднего пропускания света композитами от числа слоев: а- нечетное, б- четное число слоев.

Для четного числа слоев соответственно имеется: логарифмическая зависимость с коэффициентом аппроксимации 0,95 или линейной зависимостью с коэффициентом аппроксимации 0,92.

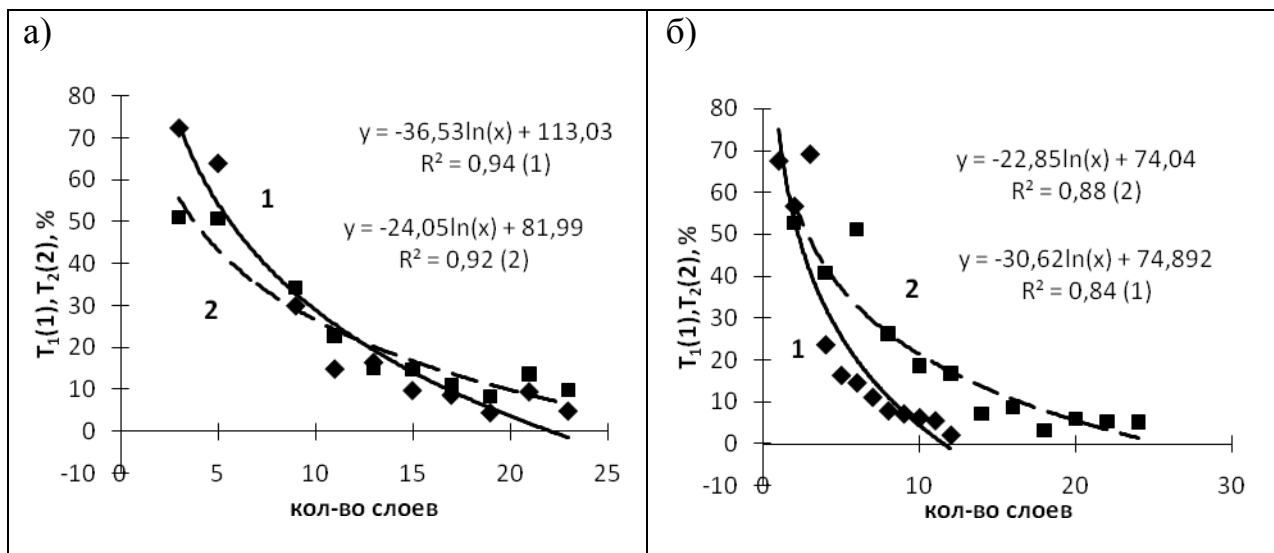


Рис. 2. Зависимость начального (1) и конечного (2) пропускания света композитами с нечетным (а) и четным (б) числом слоев.

Рис. 2 демонстрирует зависимость начального и конечного пропускания света композитами от числа слоев. Зависимости описываются логарифмическими уравнениями с коэффициентами аппроксимации, равными 0,94 и 0,92 для начального и конечного пропускания света композитами с нечетным числом

слоев; 0,84 и 0,88 соответственно для четного числа слоев.

Работа выполнена при финансовой поддержке основной части Гос. Задания МОН РФ, задание № 5.7721.2017/БЧ

1. А.Б. Аткарская, Е.И. Евтушенко, В.М. Нарцев, В.Е. Привалов, А.Э. Фотиади, В.Г. Шеманин. Оптические свойства стеклянных композитов с наноразмерными покрытиями в зависимости от дисперсной фазы золя// Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2015. № 1(213). С. 136–144.
2. A. B. Atkarskaya, V. M. Nartzev, V. E. Privalov, V. G. Shemanin. Optical Properties of the Glass Composites with Nano Dimensional Films Dependence on the Sol Disperse Phase Characteristics Studies.// Optical Memory and Neural Networks, 2017, Vol. 26, No. 1, pp. 34–39.

Микротвердость многослойных стеклянных композитов

А.Б. Аткарская, С.Ю. Кабанов, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин

(Новороссийск)

В продолжение работ [1, 2] изучена микротвердость многослойных стеклянных композитов. Исследованы две серии образцов: с нечетным и четным числом слоев. Нечетное число слоев (конкретно 23 слоя) состоит из перемежающихся слоев TiO_2 и SiO_2 , начиная с TiO_2 . Четное число слоев (конкретно 24 слоя) состоит из перемежающихся слоев SiO_2 и TiO_2 , начиная с SiO_2 .

Источник диоксида титана – тетраэтиловый эфир ортотитановой кислоты, источник диоксида кремния – тетраэтиловый эфир ортокремневой кислоты, катализатор гидролиза в обоих случаях – соляная кислота, растворитель – изопропиловый спирт. Массовая концентрация SiO_2 и TiO_2 в золях – 5 мас. %. Рис. 1, а демонстрирует изменение средней микротвердости по двум сторонам в зависимости от числа слоев.

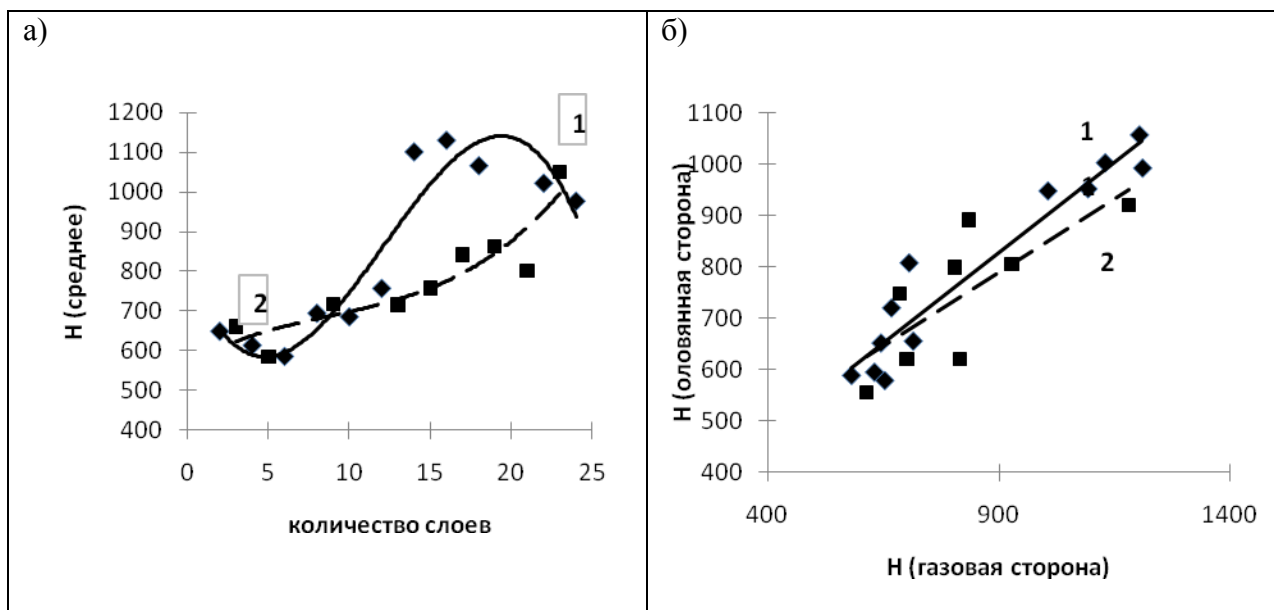


Рис. 1. Графики, отражающие среднюю по двум сторонам микротвердость композитов от числа слоев (а) и зависимость микротвердости от стороны подложки из флот-стекла (б). 1- четное, 2 – нечетное число слоев.

Линии тренда описываются полиномами 3-й степени с коэффициентами аппроксимации: четное число слоев 0,90, нечетное число слоев 0,83.

Полином, описывающий зависимость для четного числа слоев, обнаруживают минимум в районе 6 -слояного покрытия, и максимум вблизи 20- слойного покрытия. Этот эффект сложен и требует детального исследования. Предположительно, это может быть связано с плотностью упаковки частиц в слой покрытия.

Зависимость для нечетного числа слоев обнаруживает плавный ход от минимального значения к максимальному.

На рис. 1,б показана взаимосвязь микротвердости по сторонам подложки из флот-стекла. Зависимости описываются линейными линиями трендов с коэффициентами аппроксимации, равными 0,92 (четное число слоев) и 0,57 (нечетное число слоев).

Таким образом, только для четного числа слоев зависимость микротвердости обнаруживают минимум в районе 6 -слояного покрытия, и максимум вблизи 20- слойного покрытия, что предположительно, может быть связана с плотностью упаковки частиц в слой покрытия.

Работа выполнена при финансовой поддержке основной части Гос. Задания

МОН РФ, задание № 5.7721.2017/БЧ

1. А.Б. Аткарская, В.М. Нарцев, Е.И. Евтушенко. Микротвердость стеклянных композитов с однокомпонентными золь-гель покрытиями. //Материаловедение. 2015. №4. С. 23-26.
2. А. В. Atkarskaya, V. V. D'yachenko, V. M. Nartsev, V. G. Shemanin. Microhardness and Refractive Index of Titanium Dioxide-Based Binary Coatings. // Technical Physics. 2017. Vol. 62. No. 1. P. 97-100.

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

Методы обработки и анализ абстрактных изображений лазерной графики в контексте стресс- менеджмента

Л.С. Елкина, Е.К. Егорова, В.Т. Прокопенко, Н.В. Матвеев, Н.П. Сапунова
(Санкт-Петербург)

В условиях современного мира очень важно разработать новые методы коррекции психофизиологического состояния человека, позволяющие ему в краткие сроки восполнить психоэмоциональные потери для восстановления психофизиологического состояния. С этой целью использовались различные методы, ведущими из которых стали методы, связанные с природной составляющей [1 - 4]. Как альтернатива общепринятым медикаментозным и немедикаментозным способам профилактики и борьбы со стрессами [4 - 6] наилучшим вариантом является визуальная стимуляция (ВС) - восприятие человеком искусственно созданных именно с этой целью абстрактных изображений лазерной графики (АИЛГ). Для оценки влияния визуальных образов на психофизиологическое состояние человека используются критерии самоподобия изображения, такие как фрактальная размерность (ФР) и степень самоподобия (СС) методом пирамиды гистограмм ориентированных градиентов (ПГОГ). Они используются вместе для более достоверной оценки, так как оба метода имеют свои недостатки в работе с АИЛГ.

АИЛГ имеют сложный характер распределения интенсивности и выделение контуров АИЛГ стандартными методами происходит некорректно, поэтому для этой цели был разработан и применен оригинальный алгоритм выделения контуров именно для АИЛГ. В свою очередь, для оценки АИЛГ с помощью значений СП методом ПГОГ необходимо найти корреляционную зависимость с параметром ФР для определения оптимального интервала его значений. Знание точных количественных показателей ФР и СС,

характеризующих параметры самоподобия АИЛГ необходимо для расчета и контроля оптической системы формирования АИЛГи дает возможность корректно подбирать необходимые параметры ВС, что позволит значительно увеличить эффективность данного вида стимуляции для целевого воздействия на человека, обеспечивая возможность регулирования уровня стрессовых состояний человека различного генеза. Практическое применение ВС, направленное на изменение функциональных показателей деятельности человека, с использованием оптических средств в качестве немедикаментозной терапии способно качественно повысить общий уровень психоэмоционального и функционального состояния человека.

1. Ottosson, J., and Grahn, P. The Role of Natural Settings in Crisis Rehabilitation: How Does He Level of Crisis Influence the Response to Experiences of Nature with Regard to Measures of Rehabilitation? // *Landscape Research*. 2008. 33 (1). P. 51-70.
2. Lottrup, L., Grahn, P., Stigsdotter, U. K. Workplace greenery and perceived level of stress: Benefits of access to a green outdoor environment at the workplace. // *Landscape and Urban Planning*. 2013. 110. P. 5-11
3. Sahlin, E., Ahlborg, G., Vega Matuszczyk, J. and Grahn, P. Nature-Based Stress Management Course for Individuals at Risk of Adverse Health Effects from Work-Related Stress—Effects on Stress Related Symptoms, Workability and Sick Leave.// *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2014. 11 (6). P. 6586–6611.
4. Van den Berg, A. E., Hartig, T., and Staats, H. Preference for Nature in Urbanized Societies: Stress, Restoration, and the Pursuit of Sustainability.// *Journal of Social Issues in Mental Health Nursing*. 2007. 63 (1). P. 79-96.
5. Van den Berg, A. E., Maas, J., Verheij, R. A., and Groenewegen, P. P. Green Space as a Buffer Between Stressful Life Events and Health. // *Social Science and Medicine*. 2010. 70 (8). P. 1203-1210.
6. Matveev N.V., Prokopenko V.T., Sapunova N.P., Fridman D.A. Research into the

influence of light-music performances on psychophysiological states. // Light & Engineering. 2016. Vol. 24. No. 2, P. 22-24.

Сравнение двух методов расчета задачи о продольном сдвиге периодической волокнистой среды с несовершенным контактом матрицы и волокна

К.П. Беляев

(Туапсе)

Метод вспомогательных функций разработан для решения задач со смешанными краевыми условиями, когда разрешающие функции находятся методом разделения переменных. Этот метод позволяет найти коэффициенты разложения искомых функций при наличии особых точек. Метод сшивания геометрической сингулярности получил развития в работе автора [1]. Целью настоящей работы является исследование концентрации напряжений вблизи цилиндрического включения с трещиной на границе включения в условиях стационарной нагрузки и осевой симметрии. Результаты решения такой эталонной задачи позволят сравнивать их в случае решения задач динамики, стационарный случай для которых будет предельным. На межфазных границах имеется область с совершенным контактом фаз и участки с нарушением сплошности. Пусть цилиндрическое включение является изотропным и на внешней границе имеет произвольно расположенную трещину, моделируемую математическим разрезом бесконечно малой ширины. Поставим следующую краевую задачу (рис. 1) в цилиндрической системе координат

$$(r, \theta, z): \frac{\partial^2 u_a}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_a}{\partial r} + \frac{\delta^2}{r^2} \frac{\partial^2 u_a}{\partial \theta^2} + 2 \frac{\beta}{r} \frac{\partial^2 u_a}{\partial r \partial \theta} = 0, \text{ при } r \leq \alpha, 0 \leq \theta \leq 2\pi; \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\delta^2}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} + 2 \frac{\beta}{r} \frac{\partial^2 u}{\partial r \partial \theta} = 0, \text{ при } \alpha < r < \infty, 0 \leq \theta \leq 2\pi. \quad (2)$$

Здесь $\beta = G/G_{\alpha}$; $\delta = G_{\theta}/G_{\alpha}$, u и u_{α} - перемещение матрицы и включения; G , G_{θ} , G_{α} , - соответственно модули сдвига матрицы, волокна. При отсутствии

фрикционных связей и налегания берегов разреза друг на друга на границе каждого волокна, имеем граничные условия

$$\sigma_{na}^+ = \sigma_n^-, U_a^* = U^-, \tau \in \ell, ; \sigma_{na}^+ = 0, \sigma_n^- = 0, \tau \in \ell_0, \text{ a)} \quad (3)$$

$$q = a \frac{\sigma_{12}^a - i\sigma_{13}^0}{2G}, \text{ b)}$$

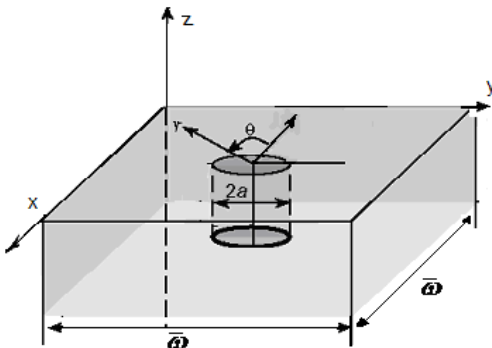


Рис.1 Элементарный приведенный объем среды, содержащий одно включение.

где $\tau = ae^{i\theta}$ - координаты точки на границе; величины, относящиеся к волокну имеют индекс α , к матрице - без индекса; индекс n определяет граничное значение напряжений с нормалью; $\ell + \ell_0 = 2\pi r$ - межфазная граница,

участок l_0 или угол определяет трещину; $2Gq$ - неизвестное касательное напряжение. Условие периодичности требует $\sigma_{ik}(\bar{x} + \bar{w}) = \sigma_{ik}(x)$,

где \bar{x} и \bar{w} - соответственно координаты текущей точки и вектор периода структуры. Рассмотрим решение задачи для приведенного элемента, состоящего из волокна и прилегающей к нему матрице (Рис.1). Примем взаимодействие данного элемента и других ячеек в виде [1]

$$u = \frac{\sigma}{G} r \cos\theta + i \frac{\sigma}{G} r \sin\theta, r \rightarrow \infty \quad (4)$$

Направление осей и расположение начала координат определяем на рис.1. Методом разделения переменных решение представится в таком виде [1]:

$$u_a = u_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \rho^n (P_n e^{in\theta} + \bar{P}_n e^{-in\theta}), u = u_{\infty} + q\rho e^{i\theta} + q\rho e^{-i\theta} + \sum_{n=1}^{\infty} \rho^n (q_n e^{in\theta} + \bar{q}_n e^{-in\theta}), \quad (5)$$

где $\rho = r/\alpha$; α - радиус волокна; u_0, u_{∞} - несущественные смещения компонентов. Дальнейшее решение см. [1].

В результате получим:

$$P_n = \frac{1}{2} \left[\sum_{m=1}^n \alpha_m C_m^n, -i \sum_{m=1}^n \alpha_m C_m^n \right]; \quad \bar{P}_n = \frac{1}{2} \left[\sum_{m=1}^n \alpha_m C_m^n, +i \sum_{m=1}^n \alpha_m C_m^n \right];$$

где C_m^n - коэффициенты полинома Чебышева, $\alpha_1 = 2\pi b_1, \alpha_2 = \pi b_2, \dots, \alpha_m = \frac{2}{m} \pi b_m$,

зададим значение $q - \bar{q} = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(n-1)\zeta$, и вычислим коэффициенты b_n .
Дальнейшее численное сравнение представлено в статье.

1. Беляев К.П. Идентификация и синтез структурной устойчивости материалов на микро, мезо и нано уровнях/ К.П. Беляев, В.И. Ключко, Н.В. Кушнир/ Краснодар, Изд-во КубГТУ- 2012. 148 с.

Спектральный метод формирования моделей морфологических образований на рентгенограммах грудной клетки

П.С. Кудрявцев

(Курск)

Дифференциальная диагностика онкологии и пневмонии по изображению рентгенограммы грудной клетки (ИРГК) является сложной задачей. Для ее решения необходимы репрезентативные обучающие выборки, полученные по ИРГК пациентов с этими заболеваниями, которые затем используются в классификаторах, построенных по методологии бустинга [1, 2]. Так как ИРГК с такими заболеваниями ограничено, то обучающие выборки целесообразно получать на основе имитационных моделей, позволяющих получить на ИРГК морфологическое образование, относящееся к заданной патологии.

Идея формирования модели морфологического образования, связанного с нозологией ω_ℓ , состоит в следующем. На текущем ИРГК выделяется область (прямоугольная) $L1 \times L2$, в которой строится модель морфологического образования заданного класса. Затем осуществляется «подгонка» спектра каждого окна M_k , образованного вокруг текущего пикселя к эталонному окну. Учитывая принятую структуру окна M : 16x16; 32x32 и 64x64 пикселя, вокруг каждого пикселя ИРГК образуются окна трех типов. Заполнение области $L1 \times L2$ пикселями, соответствующими выбранной модели, ведется с самого большого окна M_3 . Определяем j -й спектральный коэффициент в этом окне для текущего

пикселя m окна $L1 \times L2$

$$f_{j3m}^{\omega_\ell} = [F[M_3]_m]_j^{\omega_\ell}, \quad (1)$$

и расстояние между текущим и эталонным спектрами окна:

$$\sum_{j=0}^{4095} \left(f_{j3m}^{\omega_\ell} - \overline{S_{j3}^{\omega_\ell}} \right) \leq t_{nop}, \quad (2)$$

где $\overline{S_{j3}^{\omega_\ell}} = \overline{S_{j3}^{\omega_\ell}} \cdot \overline{S}$, $\overline{S_{j3}^{\omega_\ell}}$ - нормированное по яркости ИРГК среднее по j -м спектральным коэффициентам класса ω_ℓ , \overline{S} - средняя яркость изображения рентгенограммы, в котором сформировано окно M .

Модификацию коэффициентов $f_{j3m}^{\omega_\ell}$ начинаем с наиболее значимых составляющих. Значимые составляющие определяются по отношению к спектральным составляющим референтного класса ω_0 . С этой целью необходимо упорядочить по возрастанию соотношения

$$\chi_{jk}^{\omega_\ell \omega_0} = \left| 1 - \overline{S_{jk}^{\omega_\ell}} / \overline{S_{jk}^{\omega_0}} \right|. \quad (3)$$

После вычислений коэффициентов $\chi_{jk}^{\omega_\ell \omega_0}$ вводятся соответствующие весовые коэффициенты в (2). Для окна $k=3$, соответствующие (2), примут вид

$$\sum_{j=0}^{4095} \left(f_{j3m}^{\omega_\ell} - \overline{S_{j3}^{\omega_\ell}} \right) \cdot \chi_{jk}^{\omega_\ell \omega_0} \leq t_{nop}. \quad (4)$$

При достижении (4) удовлетворительного значения переключаемся на окно $k=2$ и так же оптимизируем (4). После этого переходим к $k=1$. Эта процедура может быть выполнена в цикле, пока функционал (4) не станет приемлемым для всех k .

Выполнение вышеописанной процедуры повторяется для каждого m -го пикселя в окне $L1 \times L2$.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00164 а.

1. Кудрявцев, П.С. Развитие методологии бустинга для классификации флюорограмм грудной клетки. / П.С. Кудрявцев, А.А. Кузьмин, С.А. Филист// Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. №9. С. 10-14.
2. Дюдин, М.В. Математические модели для интеллектуальных систем классификации рентгенограмм грудной клетки. / М.В. Дюдин, П.С. Кудрявцев, К.В. Подмастерьев и др.// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. № 2 (19). С. 94-107.

Интеллектуальная система для прогнозирования медицинского риска по показателям электропроводности в аномальных зонах

Ю.Б. Мухатаев

(Курск)

Показатели электропроводности биоматериалов, измеряемые в режиме *in vivo*, несут важную информацию о функциональном состоянии человека [1], что позволяет по результатам их анализа прогнозировать медицинский риск. Процесс прогнозирования медицинского риска по показателям электропроводности в аномальных зонах включает в себя ряд действий, упорядочивание и автоматизация которых приводит к формированию целой интеллектуальной системы. Интеллектуальная система для прогнозирования медицинского риска (ИСПМР) включает в себя программно-аппаратный комплекс для биоимпедансных исследований биоматериалов в экспериментах *in vivo* (ПАК), ПЭВМ, блок тестирования медицинских рисков на основе инструментальных и лабораторных исследований, а также программные модули классификации медицинского риска (ПМ КМР) [2].

ПМ КМР включает модуль формирования информативных признаков (МФИП), базу знаний, в которую входят база данных обучающих выборок и база данных классификаторов, модули формирования классификаторов и

модуль классификатора.

В ИСПМР предусмотрены три режима работы: классификация, накопление данных, накопление знаний. В режиме классификация лицо принимающее решение (ЛПР) извлекает из базы классификаторов классификатор, ориентируемый на заданный медицинский риск. После чего, посредством ПАК с пациента снимаются необходимая информация, которая поступает в МФИП, где адаптируется к выбранному классификатору. После этого классификатор определяет функциональное состояние организма.

Во втором режиме ИСПМР позволяет ЛПР формировать базу данных для классификаторов определенных медицинских рисков. С этой целью ЛПР имеет возможность в базе данных формировать обучающие выборки для классификатора заданного медицинского риска. Параллельно проводятся биоимпедансные исследования соответствующих БАТ посредством ПАК, в результате чего МФИП формирует векторы информативных признаков, который (которые) записываются в базу данных обучающих выборок в виде таблицы экспериментальных данных (ТЭД) класс-признак. Также имеется возможность определить функциональное состояние организма человека известными методами, что позволяет создать обучаемые классификаторы в третьем режиме.

В третьем режиме ЛПР может формировать классификаторы различной конфигурации. Например, если классификатор выполнен в виде нейронной сети, то ЛПР задает там структуру нейронной сети, а затем выполняет ее обучение посредством формирования из базы данных, созданных во втором режиме, обучающих и контрольных выборок. Кроме того в этом режиме ЛПР может агрегировать классификаторы используя множество БАТ или различные признаковые пространства.

Экспериментальные исследования интеллектуальной системы прогнозирования медицинского риска на примере задачи прогнозирования риска послеоперационных осложнений при хирургическом лечении

гиперплазии предстательной железы показали, что при решении этой задачи диагностическая эффективность на контрольных выборках достигает 90%.

1. Суржикова С.Е. Исследование проводимости биоматериалов в биоактивных точках при циклических воздействиях токами различной полярности./ С.Е. Суржикова, Ю.Б. Мухатаев, О.В. Шаталова и др. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. Вып.9. С.32-36.
2. Суржикова С.Е. Программно-аппаратный комплекс диагностики социально значимых заболеваний. / С.Е. Суржикова, О.В. Шаталова, В.В. Федянин //Известия ЮЗГУ. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 2(15) С.79-87.

Технологии мета-анализа в задачах доказательной медицины

Д.Ю. Савинов, Е.С. Шкатова

(Курск)

В настоящее время использование того или иного лекарственного препарата или плана терапевтических процедур нуждается в подтверждении эффективности в соответствии с принципами доказательной медицины. Цель мета-анализа — выявление, изучение и объяснение различий (вследствие наличия статистической неоднородности, или гетерогенности) в результатах исследований [1].

Мета-анализ выполняется обычно в несколько этапов, среди которых важнейшими являются: выработка критериев включения оригинальных исследований в мета-анализ; оценка гетерогенности (статистической неоднородности) результатов оригинальных исследований; проведение собственно мета-анализа (получение обобщенной оценки величины эффекта); анализ чувствительности выводов.

Новая технология мета-анализа заключается в возможности интегрировать результаты экспериментальных исследований по эффективности

лекарственных назначений по группе удаленных пользователей. Программное обеспечение мета-анализа позволяет использовать группу методов доказательства эффективности лекарственных назначений или наличие побочных реакций с последующей агрегацией решений, полученных разными методами [2].

Основным понятием новой технологии мета-анализа является интерьер. Интерьер – это группа шаблонов для проведения исследований, позволяющий объединить в систему множество автономных исследований, направленных на достижение одних и тех же целей. Каждый исследователь, входящий в интерьер (систему), проводит однотипные исследования со своей экспериментальной группой по шаблону (плану), одинаковому для всех исследователей, входящих в данный интерьер. Объединить результаты исследований можно на основе базы данных, которая является системообразующим фактором интерьера. База данных формируется всеми исследователями, входящими в данный интерьер, и является доступной для всех исследователей.

Интерьер определяет шаблон медицинских назначений и измерений параметров фармацевтических эффектов и состояния органов-мишеней на временной оси (в реперных точках). Шаблоны медицинских назначений лекарств и шаблоны измерений параметров фармэффектов и состояния органов-мишеней связаны между собой временной осью в виде поля, содержащего количество дней от начала лечения, и в совокупности представляют собой план лечения пациента.

Реализация интерьеров осуществляется посредством Веб-сервиса, предоставляющего соответствующие услуги удаленному пользователю. Веб-сервис наращивает собственную базу данных, которая используется как для получения (обучения) решающих модулей собственного программного обеспечения, так и для оказания услуг по обучению классифицирующих или диагностических моделей удаленного пользователя. Используя возможности работы с удаленными пользователями, веб-сервис позволяет получить для базы

данных интерьеров информацию о влиянии лекарственного воздействия на величину суррогатных маркеров, вовлеченные в развитие патологических состояний.

1. Филист, С.А. Структурно-функциональная модель мета-анализа медико-экологических данных/ / С.А. Филист, А.Н. Шуткин, В.В. Уварова //Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика. сб. научных трудов международной науч.-практ. конф. Воронеж: ВГЛТУ. 2015. С.364-367.
2. Филист, С.А. Структурно-функциональная модель мета-анализа медико-экологических данных / С.А. Филист, В.В. Уварова, А.Н. Шуткин // Вопросы радиоэлектроники. Серия «Общетехническая». 2015. Вып. 7. С.102-110.

Метод прогнозирования медицинского риска водителей экстремальных служб

Е.А. Старцев

(Курск)

Анализ профессиональных заболеваний водителей экстренных служб показал, что к одним из распространенных для них относятся болезни органов дыхания (БОД) и мочеполовых органов (БМПО). С участием высококвалифицированных экспертов (гигиенисты и профпатологи) было выделено четыре сегмента (блока) информативных признаков: социально-экономический сегмент, микроклимат, производственно-поведенческий сегмент, сегмент индивидуальных факторов риска. По каждому из выбранных классов заболеваний и сегментам признаков эксперты определили списки признаков, для которых на следующем этапе исследований проверялась их информативность.

Для прогнозирования БОД в социально-экономическом сегменте выбраны следующий словарь признаков: x_1 – образование, x_2 – жилищные условия, x_3 –

заработная плата, x_4 – социальное положение. В сегменте микроклимат: x_5 – характеристика пыли, x_6 – температура воздуха, x_7 – загазованность, x_8 – наличие микроорганизмов. Производственно-поведенческий сегмент: x_9 – хроническое физическое утомление, x_{10} – психоэмоциональное напряжение. Сегмент индивидуальных факторов риска: x_{11} – в анамнезе бронхит и другие заболевания легких, x_{12} – в анамнезе заболевания верхних дыхательных путей, x_{13} – общее самочувствие, x_{14} , x_{15} – характеристики кашля; x_{16} – одышка, x_{17} , x_{18} – характер курения; x_{19} – наследственность по заболеванию системы дыхания [1].

Для прогнозирования БМПО социально-экономический сегмент, производственно-поведенческий сегмент и сегмент микроклимат представлены теми же признаками, что и для БОД. В сегмент индивидуальных признаков риска включены: x_{20} – в анамнезе заболевания мочеполовой системы, x_{21} – наследственность по заболеваниям мочеполовой системы, x_{22} – употребления алкоголя. Полученные информативные признаки были использованы для синтеза соответствующих продукционных решающих правил (ПП). Сгруппированные по сегментам информативные признаки могут в каждом из сегментов решать практические задачи. Для агрегирования этих решений предлагается метод прогнозирования профессиональных заболеваний водителей экстренных служб, состоящий из следующих основных этапов [2].

1. Формируется группа высококвалифицированных экспертов с проверкой согласованности их действий по коэффициенту конкордации, которая осуществляет выбор информативных признаков.
2. Синтезируются наборы «слабых» классификаторов, работающих по схеме ПП.
3. По схеме Е. Шортлифа «слабые» классификаторы агрегируются в «сильные» классификаторы, «собирая» признаки и ПП одного сегмента.
4. «Сильные» классификаторы агрегируются нечеткой нейронной сетью, обучаемой на репрезентативной контрольной выборке, формируемой по

заболеваниям, характерным для работников ЖК. На выходе этой нейронной сети имеем финальное решение по прогнозу профессионального заболевания.

1. Позин, А.О. Тестирующие гибридные системы с дополнительным пространством информативных признаков. / А.О. Позин, С.А. Филист, А.Н. Шуткин // Современные информационные технологии в управлении качеством: сборник статей V Международной научно-прикладной конференции. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2016. С.46-50.
2. Позин, А.О. Метод синтеза трехуровневой нечеткой сети прогнозирования профессиональных заболеваний работников животноводческого комплекса. / А.О. Позин//IV Международная научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Энергосбережение и эффективность в технических системах». Тамбов, 2017. С. 51-54.

Динамические модели для прогнозирования профессиональных заболеваний

И.А. Комлев, О.В. Шаталова

(Курск)

В [1] получены модели, связывающие экзогенные и эндогенные параметры с риском профессионального заболевания. При этом не принималось в расчет, что рассматриваемые факторы риска, представляемые в виде вектора информативных признаков, являются временными рядами, что требует учета в модели не только факторов текущего «среза», но и факторов, присутствующих в предшествующих временных «срезах».

Очень часто возникают ситуации, когда значение лаговой переменной, например, с запаздыванием на 2 или 3 периода оказывает на зависимую переменную более сильное влияние, чем предшествующее значение. Для моделирования таких ситуаций достаточно гибким инструментом является аппарат распределенных лагов Алмон [2].

Формальным представлением запаздываний во взаимодействии медико-биологических и экзогенных факторов является линейная модель

$$y_t = a_0 + b_{01}x_{1t} + b_{11}x_{1(t-1)} + b_{21}x_{1(t-2)} + b_{31}x_{1(t-3)} + b_{12}x_{2(t-1)} + b_{22}x_{2(t-2)} + b_{32}x_{2(t-3)} + \dots + b_{1M}x_{M(t-1)} + b_{2M}x_{M(t-2)} + b_{3M}x_{M(t-3)} + \varepsilon(t), \quad (1)$$

где y_t – величина, характеризующая риск заболевания на шаге t , $\varepsilon(t)$ – случайная величина.

Уравнение (1) записано в предположении, что имеется только один экзогенный фактор x_1 , для которого существует краткосрочный мультипликатор, все остальные $M-1$ факторов – эндогенные и не имеют краткосрочного мультипликатора.

Значения коэффициентов b_j аппроксимируются полиномами соответствующей степени от величины лага j , т.е.

$$b_j = c_0 + c_1j + c_2j^2 + \dots + c_kj^k. \quad (2)$$

Модель с распределёнными лагами после соответствующих преобразований может быть представлена в виде регрессионной модели

$$y_t = a_0 + c_0z_0 + c_1z_1 + c_2z_2 + \dots + c_Kz_K + \varepsilon_1, \quad (3)$$

коэффициенты которой определяются с помощью метода наименьших квадратов.

Каждое подмножество моделей $\{z_j\}_i, j=1\dots K_i$, где K_i – число МГУ - моделей для i -го фактора, полученных на основе моделирования методом группового учета аргументов, посредством которых описывается взаимное влияние эндогенных факторов в системе простых комбинаций эндогенных и экзогенных факторов.

Все проведённые рассуждения и преобразования имеют смысл, если известна величина максимального лага ℓ и определён порядок полинома, описывающего структуру лага. В практических ситуациях величину лага ℓ и порядок полинома K определяют в ходе построения модели.

В практических расчетах обычно ограничиваются построением моделей,

структура лага которых задаётся полиномом степени не выше трёх. Выбирается та модель, которая тестируется как наиболее адекватная.

1. Протасова В.В. Модель с динамической структурой для мониторинга и управления состоянием сложных систем. / В.В. Протасова, В.В. Федянин, С.А. Филист // Современные концепции научных исследований. Сборник научных работ XI Международной научно-практической конференции. №2 (11). Часть 4. М: ЕСУ, 2015. С.142-145.
2. Позин А.О. Метод синтеза трехуровневой нечеткой сети прогнозирования профессиональных заболеваний работников животноводческого комплекса. / А.О. Позин //IV Международная научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Энергосбережение и эффективность в технических системах». Тамбов, 2017. С. 51-54.

Анализ и обработка больших данных для морских судов

Н.А. Полковникова

(Новороссийск)

Деятельность современных судовых компаний и организаций связана с обработкой больших объёмов неструктурированных данных в распределённых информационных системах. Под специальным термином «большие данные» («big data») подразумевают наборы данных объёмом от терабайт до сотен петабайт. Получение необходимой информации из разнородных источников данных и исследование их по разным параметрам в реальном времени позволяет более эффективно выстраивать бизнес-стратегии и решения, развивать персонализированный клиентский подход, оптимизировать расходы, строить прогнозные модели, повысить эффективность эксплуатации флота, увеличивать объёмы продаж, и таким образом развивать конкурентные преимущества даже в условиях экономического кризиса. Непрерывный процесс комплексной автоматизации и увеличения объёма контролируемых параметров,

применения систем централизованного контроля и управления, тенденции к сокращению судового экипажа, ужесточение требований по обеспечению надёжной и эффективной работы сложных судовых систем автоматики и управления, приводит к тому, что оператор испытывает всё большие трудности при анализе поступающей информации. В этой связи особую актуальность приобретает использование технологий анализа и обработки больших данных с результатами мониторинга судовых систем для информационной поддержки оператора в принятии решений, управления и автоматизации процедур решения эксплуатационных задач. Анализ и обработка больших данных для морских судов применяется с целью: управления современным техническим менеджментом судоходной компании; обеспечения необходимой информацией о техническом состоянии судна; предотвращения внезапных отказов; прогнозирования технического состояния судового оборудования; поддержки оператора в принятии оптимальных решений; сокращения эксплуатационных затрат; контроля вредных выбросов в атмосферу. В судоходных компаниях источниками больших данных являются и компьютеризированные информационные системы технического менеджмента, которые позволяют вести учёт фактического расхода топлива и масла, а также оформлять заявки на приобретение запасных частей и материалов. На судах применение получила система «CoCoS» (Computer Controlled Surveillance), которая позволяет повысить надёжность главных и вспомогательных дизелей за счёт контроля технического состояния и снизить эксплуатационные расходы за счёт своевременного выявления неисправностей. В 2015 г компания «Caterpillar Marine» применила систему анализа показателей судового оборудования на базе аналитической платформы «Pentaho Data Integration» для работы с большими данными. Такие компании как «Kongsberg», «Transas», «Rolls-Royce», «Hyundai» ведут научно-исследовательские разработки технологии «умных судов» («smart connected ships») или «безэкипажных судов» («unmanned ships»). Такая тенденция обусловлена стремлением исключить

«человеческий фактор», поскольку, как показывает статистика, наибольшее число аварий происходит из-за ошибок судовых специалистов.

Поэтому важным и перспективным направлением является разработка системы поддержки принятия решений с применением алгоритмов обработки больших данных, моделей развития аварийных ситуаций, оценок и рисков, прогнозных моделей, алгоритмов интеллектуального анализа для поиска скрытых закономерностей из исходных данных, получаемых с судов и анализируемых береговыми информационными центрами для эксплуатации транспортного флота.

1. Астреин В.В., Кондратьев С.И., Хекерт Е.В. Алгоритм самоорганизации групп судов для предупреждения столкновений. // Эксплуатация морского транспорта. 2016. № 2(79). С. 45-50.
2. Сирота А.А. Методы и алгоритмы анализа данных и их моделирование в MATLAB: учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 384 с.
3. Bunnik A. et al. Big data challenges: society, security, innovation and ethics. Springer, 2016. – 138 p.

Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений для главных судовых дизелей

Н.А. Полковникова, А.К. Полковников

(Новороссийск)

В связи с возрастающей сложностью судовых энергетических установок и процессов управления, особую важность и актуальность приобретает разработка и внедрение интеллектуальных систем поддержки принятия решений, которые позволяют эффективно использовать результаты мониторинга, оптимизировать объём информации для оператора в условиях достаточно жёстких временных ограничений, и автоматизировать процедуры решения эксплуатационных задач с выдачей рекомендаций обслуживающему

персоналу. В связи с этим настоящая работа посвящена актуальной и важной научно-технической проблеме: разработке и исследованию интеллектуальной системы поддержки принятия решений для главных судовых дизелей с реализацией новых моделей, методов и алгоритмов решения задач системного анализа, обработки информации и оптимизации. Условия эксплуатации главных судовых дизелей характеризуются нестабильностью: переменные нагрузочные режимы, изменение внешних условий плавания, переход на разные сорта топлив, влияние «человеческого фактора». Поэтому учитывая объективно существующую неопределенность, неполноту и нечёткость информации о главном двигателе целесообразно использовать аппарат нечеткой логики при разработке базы знаний и механизмов вывода для определения технического состояния двигателя.

В последние годы проблема снижения выбросов оксидов азота (NO_x) становится актуальной как для дизелестроительных фирм, так и для судовладельцев. Жёсткая конкуренция на современном фрахтовом рынке предъявляет высокие требования к рентабельности судов, которая прямо зависит от оптимизации использования топлива для главных судовых малооборотных дизелей. Системы управления главными судовыми двигателями нового поколения серий ME-C («MAN») и RT-flex («Wartsila») без распределительного вала с микропроцессорным управлением позволяют обеспечить не только выбор закона подачи топлива, но и точное регулирование (задание) фаз топливоподачи. Для организации рабочего процесса в двигателях получили применение оптимизационные методы на основе генетических алгоритмов для определения параметров топливоподачи, влияющих на расход топлива и содержание токсичных составляющих в выхлопных газах. Такая задача рассмотрена как многокритериальная для определения Парето-оптимального фронта с помощью модифицированного эволюционного алгоритма с целью минимизации двух целевых функций: удельного эффективного расхода топлива и содержания выбросов оксидов азота в

выпускных газах.

Разработана система поддержки принятия решений с применением нечёткой логики, нейросетевых технологий, генетических алгоритмов и алгоритмов интеллектуального анализа данных для информационной поддержки оператора в следующих задачах технической эксплуатации главных судовых дизелей: оценка технического состояния и идентификация неисправностей, определение оптимального режима с учётом конкретных условий эксплуатации. Технико-экономическая эффективность разработанной интеллектуальной системы поддержки принятия решений обуславливается: 1) снижением затрат на техническое обслуживание благодаря уменьшению числа разборок и вскрытий главного двигателя при переходе от планово-предупредительных норм обслуживания и ремонта к обслуживанию и ремонту по фактическому состоянию; 2) снижением затрат на ремонт за счёт выявления потенциальных отказов на ранней стадии их возникновения; 3) сокращением расхода топлива путём своевременного регулирования топливной аппаратуры главного двигателя.

1. Тиханычев О.В. О некоторых проблемах предметной области поддержки принятия решений. // Программные продукты и системы. 2016. т.29. №3. С. 24-28.
2. Курейчик В.М. Особенности построения систем поддержки принятия решений. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. №7. С. 92-98.
3. Patrick C. K. Hung. Big data applications and use cases. Springer, 2016.—214 p.

Пунктиротерапия

О.В. Звёздная

(Санкт-Петербург)

Пунктиротерапия, как скорая помощь в полевых условиях при разных заболеваниях. Пунктиротерапия, как источник энергии, посредством

восстановления микроциркуляции, восстановления периферического кровообращения.

Русская рефлексотерапия или пунктиротерапия имеет преимущество перед другими методами лечения, где требуются батарейки или источник тока. При сердечном приступе можно по определенной схеме проработать пунктиром и значительно улучшить состояние пациента. При травматизации нижней конечности в походе работа пунктиром не допускает отек и дает возможность человеку далее двигаться. При дисфункциях кишечника пунктиротерапия восстановит стул, устранятся колика и явление метеоризма. При миалгиях, невралгиях, приступе радикулита пунктиротерапией снимется боль.

Пунктиротерапия как источник энергии. В Санкт-Петербурге была проведена работа с пациентами от 65 до 76 лет.

Группа прошла курс восстановительных процедур. Десять сеансов. Результаты опроса после длительного промежутка времени после окончания сеансов были таковы. Пациенты почувствовали эффект омоложения. Прилив сил. Возможности продуктивного исполнения запланированных дел. Самое главное, улучшилось качество жизни. Восприятие жизни стало более полным. Ощущение себя более уверенным. Эффект лечения сохранился надолго. Пожелания пациентов группы были, чтобы проходить раз-два в год пунктиротерапию и это являлось бы профилактикой различных заболеваний, восстановлением сил, омоложением.

В спорте пунктиротерапия подготавливает состояние центральной нервной системы спортсмена перед соревнованием, соответственно физическую собранность. После соревнования восстанавливает модуляцию внутренних сил.

О теоремах существования обобщенных решений в случае обобщенного собственного спектра бигармонического оператора

Е.В. Колпакова, Е.А. Кривонос

(Новороссийск)

При изучении колебаний полой оболочки, проектирующейся на плоскую ограниченную область Ω с границей $\Gamma \in C^1$, с малой инерцией продольных перемещений срединной поверхности с шарнирным закреплением края возникает следующая начально-краевая задача [1]. Поперечное перемещение w точек срединной поверхности оболочки удовлетворяет уравнению

$$\rho h w_{tt} - \gamma \Delta w_{tt} + D \Delta^2 w + \delta \Delta^2 w_t = Z + (N_1 w_{x_1})_{x_1} + (N_2 w_{x_2})_{x_2} + (N_{12} w_{x_1})_{x_2} + (N_{12} w_{x_2})_{x_1} - N_1 k_1 - N_2 k_2$$

с краевыми условиями шарнирного закрепления

$$w|_{\Gamma} = \left(\frac{d^2 w}{dn^2} - \mu \chi \frac{dw}{dn} \right) \Big|_{\Gamma}.$$

Продольные перемещения u и v точек срединной поверхности оболочки удовлетворяют краевой задаче

$$-\Delta u - \frac{1+\mu}{1-\mu} \theta_{x_1} = \frac{2}{1-\mu} \left[(k_1 w)_{x_1} + w_{x_1 x_1} w_{x_1} + \mu (k_2 w)_{x_1} + \mu w_{x_1 x_2} w_{x_2} \right] + w_{x_1 x_2} w_{x_2} + w_{x_1} w_{x_2 x_2} + X$$

$$-\Delta v - \frac{1+\mu}{1-\mu} \theta_{x_2} = \frac{2}{1+\mu} \left[(k_2 w)_{x_2} + w_{x_2 x_2} w_{x_2} + \mu (k_1 w)_{x_2} + \mu w_{x_1 x_2} w_{x_1} \right] + w_{x_1 x_2} w_{x_1} + w_{x_2} w_{x_1 x_1} + Y,$$

$$u|_{\Gamma} = v|_{\Gamma} = 0.$$

Начальные условия имеют следующий вид

$$w(x, 0) = w_0(x), \quad w_t(x, 0) = w_1(x), \quad x \in \Omega.$$

Для доказательства существования обобщенных решений применяется абстрактная схема, предложенная И.И. Воровичем в [2] на основе метода Бубнова-Галеркина. В [3] качестве полной ортонормированной системы используются собственные функции бигармонического оператора. Одним из условий существования собственного спектра бигармонического оператора является достаточно сильное условие существования ограниченных четвертых производных границы $\Gamma \in C^3$ области Ω . Существенное ослабление этого

условия стало возможным с применением обобщенных собственных функций [4], при этом теперь граница области $\Omega \in C^2$.

При этом было детально проработано доказательство существования обобщенных решений исходной начально-краевой задачи, которое существенно не изменилось при обобщенном собственном спектре бигармонического оператора.

Авторы посвящают данный результат памяти доктора физико-математических наук профессора Седенко Василия Игоревича, предложившего эту идею.

1. Колпакова Е.В. Существование обобщенных решений моделей Маргерра-Власова колебаний пологих оболочек с шарнирным закреплением края в неограниченной области // Вестник ИжГТУ. 2010. № 1(45). С. 144-146.
2. Ворович И.И. О некоторых прямых методах в нелинейной теории колебаний пологих оболочек. //Изв. АН СССР. Сер. мат. 1957. Т.21. №6. С. 747–484.
3. 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. Т. 3. С. 13-15.
4. Колпакова Е.В., Седенко В.И. Обобщенный спектр бигармонического оператора в задаче с краевыми условиями шарнирного закрепления. //Вестник СевКав ГТИ. 2012. С. 29-32.

Обработка изображений и решение частных задач в области распознавания транспортных средств в режиме реального времени

Ю. Ю. Петрова, Т. М. Сухов, Е. Г. Чернякевич

(Санкт-Петербург)

В данной работе представлены предварительные результаты разработки перспективного алгоритма распознавания транспортного средства (ТС) в потоке

видеоинформации, полученной в режиме реального времени с видеокамеры.

Разработан первый блок алгоритма, отвечающий за обработку изображений видеопотока с целью подавления шумовых составляющих и устранения дефектов для последующего этапа – выделения полезной информации. В основу разработки положен подход, выявленный путем проведения анализа существующих алгоритмов обработки и выделения объектов на изображениях, который включает в себя такие этапы как: предварительная обработка изображения, сегментация изображения, представление и описание изображения, и его анализ [1]. На каждом этапе ставится конкретная задача, которая решается путем подбора нескольких подходящих методов с последующим анализом и выбором эффективного фильтра по поставленным критериям.

В частности, при решении поставленной задачи на этапе предобработки изображения был выбран билатеральный фильтр с ядром размерностью 10×10 , который позволяет эффективно устранять шумовые составляющие и выделять границы изображения. Выбранный фильтр не требует больших вычислительных ресурсов, тем самым обеспечивает возможность работы алгоритма в режиме реального времени.

На этапе сегментации был выбран фильтр Кэнни (Canny), позволивший выделить на изображении характерные элементы. Для решения следующей задачи представления и описания был выбран цепной код Фримена [2]. Основным этапом – анализ изображения, являющийся ключевым в задачах распознавания. Для разработки универсального алгоритма распознавания предполагалось разбить этап анализа изображений на множество подзадач. В рамках данной работы решалась частная задача распознавания ТС, а именно определение объекта с точки зрения расположения видеокамеры – вид встречного и вид впереди движущегося автомобиля. Главным критерием решения поставленной задачи – распознавание контура регистрационного знака ТС, который имеет заранее определенные пропорции. Распознавание регистрационного знака ТС позволяет определить масштаб объекта и его координаты в плоскости изображения. В задаче распознавания контура регистрационного знака ТС возникает проблема его ошибочного определения, которая решается использованием временного фильтра, устраняющего ложные распознавания.

Реализация алгоритма осуществлялась на базе кроссплатформенных

библиотек Qt и OpenCV. Тестирование программного кода проводилось на потоке видеоинформации городского трафика, полученной с автомобильного видеорежистратора.

В результате тестирования алгоритма были получены вероятностные оценки. Вероятность обнаружения автомобиля на каждый кадр составляет 70%. На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что ряд подобранных фильтров имеет высокую вероятность распознавания ТС и не значительно влияет на скорость обработки видеоинформации. Алгоритм обеспечивает корректную работу, удовлетворяющую поставленным требованиям.

1. Нгуен К.М. Методы и алгоритмы обработки изображений в системах технического зрения промышленных робототехнических комплексов. Дисс... кандидата технических наук. Москва, 2015. 136 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1070 с.

Эффективность накачки активной среды лазеров на парах металлов в режиме “пониженных” энергозатрат

А.Н. Солдатов, Ю.П. Полунин, И.Э. Размахнин, Н.А. Юдин, Н.Н. Юдин

(Томск)

Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов (ЛСПМ) являются одним из наиболее эффективных источников когерентного излучения в видимой области спектра среди газовых лазеров с прогнозируемой для лазера на парах меди эффективностью $\sim 10\%$, что на порядок выше реализованных к настоящему времени значений практического КПД. Максимальное значение эффективности накачки $\sim 9\%$ (лазера на парах меди) реализовано в режиме “отсечки” энергозатрата в активную среду после импульса генерации [1].

Целью настоящей работы являлось исследование электрофизических процессов в разрядном контуре лазера, определяющих возможность формирования режима “отсечки” и установление границ применимости данного режима для создания эффективных источников когерентного

излучения.

В докладе представлены результаты проведенного анализа электрофизических процессов в разрядном контуре ЛСПМ с газоразрядной трубкой (ГРТ), у которой электроды расположены в холодных буферных зонах. Показано, что можно реализовать эффективную генерацию при условии полной рекомбинации плазмы в холодных буферных зонах ГРТ с параметрами накачки, при которых ток через коммутатор упадет до нуля после зарядки емкостных составляющих от накопительного конденсатора. В этих условиях накачка активной среды определяется энерго вкладом от обостряющей емкости и, соответственно, можно на порядок повысить эффективность накачки, если “отсечь” энерго вклад от накопительного конденсатора в активную среду после зарядки емкостных составляющих используя управляемый коммутатор. Экспериментально реализован в лазере на парах меди КПД $\sim 2,8\%$ и в лазере на парах золота $\sim 1,3\%$ относительно энергии запасаемой в обостряющей емкости. Показано, что в режиме “отсечки” энерго вклада можно реализовать в лазере на парах меди КПД $\sim 9-11\%$ и в лазере на парах золота $\sim 5-6\%$.

Проведенные экспериментальные исследования раскрывают механизм формирования “отсечки” энерго вклада в активную среду ЛСПМ после импульса генерации [1] и демонстрируют возможность реализации в этом режиме прогнозируемой эффективности накачки. Тем не менее, при всей привлекательности анализируемого способа накачки, очевидны границы его применимости для реализации прогнозируемой эффективности, которые определяются условием полной рекомбинации плазмы в холодных буферных зонах ГРТ и, соответственно, являются фактором ограничения частоты следования импульсов и средней мощности генерации. Расширить границы применимости данного способа накачки возможно за счет повышения эффективности рекомбинационного процесса в холодных буферных зонах, например, за счет прокачки буферного газа.

Результаты данных экспериментальных исследований можно также

рассматривать как подтверждение возможности существования принципиально иного подхода реализации эффективной накачки активной среды ЛСПМ за счет устранения подготовительного этапа в накачке [2] при введении электродов ГРТ в горячую зону разрядного канала. В этом случае можно использовать непосредственно обостряющую емкость в качестве накопительного конденсатора.

1. Солдатов А.Н., Федоров В.Ф., Юдин Н.А. // Квантовая электроника. 1994. Т.21(8). С. 733-734.

2. Юдин Н.А., Юдин Н.Н. // Известия вузов: Физика. 2016. Т. 59(6). С. 49-56.

8-канальный генератор для формирования ультразвукового закрученного пучка

Андреев В.Г., Вальшин А.М., Соловьев С.И.

(Москва, Уфа)

В докладе описывается 8-канальный генератор, работающий в диапазоне частот 0.9 - 1.5 МГц, который используется для возбуждения ультразвуковой антенной решетки. Генератор является ключевым элементом устройства, которое называется акустическим пинцетом. При определенных условиях возможно создание акустического поля с такой конфигурацией в пространстве, когда радиационная сила, действующая на частицы в поле, позволяет захватывать и удерживать их в определенных положениях. В работе для захвата и перемещения микрочастиц в пространстве предлагается создавать закрученный акустический пучок, на оси которого образуется минимум акустического давления. Для создания такого пучка излучающие элементы располагаются на конической поверхности по кругу симметрично относительно центра, и акустические волны, излучаемые соседними элементами сдвинуты по фазе на фиксированный угол. Радиус основания конуса, на котором расположены преобразователи 40 мм, высота конуса 23 мм, диаметр каждого

преобразователя 14 мм, толщина – 2мм. Частота излучения 1.07 МГц выбиралась вблизи резонансов отдельных пьезопреобразователей. Генератор позволял создавать фиксированные фазовые сдвиги, кратные 45 градусам. Выходная мощность на выходе каждого канала на нагрузке 100 Ом достигала 20 Вт. Регулировка выходной мощности позволяла выровнять амплитуды акустических волн, излучаемых отдельными преобразователями. Генератор имеет компактный дизайн.

В работе приводятся результаты численного моделирования структуры акустического поля, создаваемого 8-элементным излучателем при сдвиге фаз напряжения на соседних элементах 45 градусов. Показано, что в поле излучателя имеет такую конфигурацию, при которой возможно захватить и удерживать микрочастицы размером 170 мкм.

Безэлектродная высокочастотная емкостная накачка газоразрядных источников света

А.М. Вальшин, С.М. Першин, Р.В. Борисова

(Уфа)

Люминесцентные лампы (ЛЛ) с внутренними электродами являются одним из самых эффективных и широко применяемых источников света. Трубчатые прямые ЛЛ, работающие на переменном токе частотой от 50 Гц до 50 кГц и на мощностях от 13 до 80 Вт, имеют хорошие цветовые характеристики и высокие световые отдачи до 100 лм/Вт. При переходе на высокие частоты появляются существенные особенности. Так, при высокочастотной электродной накачке ЛЛ с повышением частоты накачки до 1МГц КПД увеличивается на (30-50)% в зависимости от диаметра лампы. Установлено, что обнаруженное повышение КПД обусловлено увеличением эффективного сечения канала разряда и уменьшением потерь на переизлучение [1]. А в режиме безэлектродной высокочастотной индукционной накачки стандартных цилиндрических

люминесцентных ламп путем намотки на лампу определенного количества витков также выявлен эффективный ввод энергии в плазму разряда и повышение КПД светоотдачи. Обсуждается физика обнаруженного явления и область применения энергосберегающей технологии безэлектродной накачки люминесцентных ламп с повышенным ресурсом работы [2].

Известно, при высокочастотном разряде пространственные заряды не успевают перестраиваться при перемене направления поля, а плазма не успевает деионизоваться и в этих разрядах процессы на катоде, как правило, не играют существенной роли. В этом случае электроды можно поместить не внутри трубки, а извне, сделав их, например, в виде охватывающих концы трубки металлических колец или просто поместив трубку с разреженным газом между обкладками конденсатора. В таком случае отпадает необходимость электродов, существенно уменьшающих срок службы ламп из-за испарения электродов в процессе эксплуатации. Отсутствие прямого контакта электродов с газовой плазмой позволяет назвать лампу безэлектродной. Отсутствие металлических электродов внутри колбы с газом значительно увеличивает срок службы и улучшает стабильность параметров.

Целью данной работы является высокочастотная емкостная накачка трубчатых стандартных ЛЛ. В качестве лампы используется стандартная, выпускаемая промышленностью, обычная люминесцентная лампа диаметров от 16 до 38 мм и длиной 500 мм. В качестве электродов используется алюминиевая фольга. Для питания электродов из фольги используется высокочастотный генератор электрических колебаний перестраиваемой частоты. В нашем случае фольга шириной 50 мм была намотана на поверхность трубки на расстоянии 30 мм от конца, т.е. электроды не использовались в процессе эксперимента. При подаче на фольгу ВЧ колебания на частотах $(1\div 6)$ МГц зажигается емкостной разряд. Для уменьшения влияния стекла на эффективность емкостной накачки нами были проведены эксперименты на разных частотах с целью уменьшения температуры нагрева стекла под фольгой.

Оказалось, при накачке с частотой от 1 МГц до 5 МГц температура стекла под фольгой уменьшилась от 70 до 35 градусов.

Таким образом, нам удалось осуществить высокочастотную емкостную накачку в стандартных люминесцентных лампах, с минимальными потерями на тепло в местах подключения электродов из фольги. Проводятся оптимизация параметров накачки и характеристик излучения с точки зрения получения максимального КПД.

1. А.М.Вальшин, Р.Ф. Тавлыкаев, Г.М. Михеев, С.М. Першин. Управление параметрами газоразрядной плазмы низкого давления при высокочастотной накачке. Инженерная физика. 2015. №3. С.42–49.
2. А.М.Вальшин, С. М. Першин, Г. М. Михеев. Эффективный ввод энергии в плазму разряда люминесцентной лампы с повышением светоотдачи при резонансной индуктивной накачке. Инженерная физика. 2017. № 2. С. 37-41.

Высокочастотная индуктивная накачка безртутных газоразрядных источников света на инертном газе Ne

А.М. Вальшин, С.М. Першин, А.З. Файзуллина

(Уфа)

Актуальной проблемой современной светотехники, возникающей при использовании источников света высокой интенсивности, являются низкий ресурс работы мощных ламп, а также создание экологически чистых, безртутных источников света. Эффективным способом решения проблемы становится переход к принципиально новой, безэлектродной технологии генерации газового разряда.

С точки зрения современного понимания природы безэлектродного высокочастотного разряда физическая суть происходящих явлений состоит в следующем. "Зажигание" безэлектродного разряда всегда происходит за счет электрического поля индуктора, это поле создает первоначальную ионизацию

газа, которая по мере увеличения амплитуды высокочастотных колебаний растет, повышая проводимость разряда.

Известно, что тела с малой проводимостью "прозрачны" для магнитного поля индуктора. До тех пор пока проводимость газа мала, разряд "прозрачен" для H-поля и переменное магнитное поле индуктора не в состоянии передавать разряду свою энергию. Однако, как только проводимость под влиянием увеличения E-поля достигает некоторой критической величины, "магнитная энергия" индуктора начинает выделяться, в разряде появляется кольцевой ток и наступает H-форма безэлектродного разряда. При этом напряжение на индукторе резко падает и E-разряд гаснет.

В нашей работе [1] показаны результаты исследований режима безэлектродной высокочастотной индукционной накачки стандартных цилиндрических люминесцентных ламп путем намотки на лампу определенного количества витков. Выявлен эффективный ввод энергии в плазму разряда и повышение КПД светоотдачи. Обсуждается физика обнаруженного явления и область применения энергосберегающей технологии безэлектродной накачки люминесцентных ламп с повышенным ресурсом работы.

В данной работе описаны экспериментальные исследования индукционного высокочастотного разряда в газоразрядной плазме низкого давления на инертном газе Ne. В процессе эксперимента использовали генератор перестраиваемой ВЧ частоты собственной разработки. Частота перестройки составляла от 1 МГц до 7,7 МГц, стабильность частоты около 0,3 %. Выходное сопротивление составляло менее 5 Ом. Ввиду малости выходного сопротивления нет необходимости в использовании согласующего устройства, поэтому выход непосредственно соединен в последовательный колебательный контур. В качестве индуктивности используется индуктор, который представляет собой соленоид, намотанный на трубку, наполненную инертным газом Ne, а в качестве емкости используются высокочастотные высоковольтные

керамические конденсаторы. В процессе предварительных экспериментов мы наблюдали "зажигание" безэлектродного разряда за счет электрического поля индуктора, а также индукционного разряда, когда возникает яркий кольцевой разряд.

Таким образом, нам удалось осуществить высокочастотную индуктивную накачку в газоразрядном источнике света на инертном газе Ne. Проводятся оптимизация параметров накачки и характеристик излучения с точки зрения получения максимального КПД.

1. А.М.Вальшин, С. М. Першин, Г. М. Михеев. Эффективный ввод энергии в плазму разряда люминесцентной лампы с повышением светоотдачи при резонансной индуктивной накачке. Инженерная физика. 2017. № 2. С. 37-41.

Исследование порога зажигания разряда в импульсных лампах от частоты накачки и охлаждающей жидкости

А.М. Вальшин, С.М. Першин, Г.М. Михеев

(Уфа, Москва, Ижевск)

Известно, что эффективность и стабильность энергетических и пространственных характеристик твердотельных лазеров с оптической накачкой во многом определяется системой накачки активной среды лазера излучением газового разряда импульсных ламп.

Для зажигания в импульсной лампе накачки самостоятельного разряда (пробоя газоразрядного промежутка) к электродам импульсной лампы необходимо приложить некоторое предельное напряжение. Таким предельным напряжением считается статическое пробивное напряжение. Также к электродам можно приложить импульсное напряжения.

Целью данной работы является исследование порога зажигания разряда в импульсных лампах как постоянным током, так и высокочастотным переменным током. Ранее нами было показано заметное увеличение

светоотдачи канала плазмы в газоразрядных лампах низкого давления при переходе от накачки частотой 50 Гц к высокочастотной накачке несколько мегогерц. Так, при высокочастотной электродной накачке ЛЛ с повышением частоты накачки до 1МГц КПД увеличивается на (30-50)% в зависимости от диаметра лампы. Установлено, что обнаруженное повышение КПД обусловлено увеличением эффективного сечения канала разряда и уменьшением потерь на переизлучение [1].

Это позволило нам применить данный подход к изучению оптимального режима зажигания разряда импульсных ламп для накачки лазеров высокочастотным током. Далее проводились измерения напряжения зажигания разряда в воздухе, воде, конденсаторном масле, спирте, ацетоне и глицерине, как при постоянном токе, так и на разных частотах.

Экспериментальная установка состояла из нескольких ВЧ генераторов собственной разработки, позволяющая перекрыть диапазон частот от 20 кГц до 3 МГц, при этом для получения высоких напряжений выход ВЧ генератора подключали к резонансному колебательному контуру. В случае зажигания импульсной лампы постоянным током, высокое выходное переменное напряжение выпрямляли ВЧ диодным мостом и далее подавали на лампу. Амплитуду измеряли киловольтметром. При этом точность измерения составляла ± 1 кV. В случае зажигания переменным током выходное переменное напряжение непосредственно подавалась на лампу. При этом измеряли амплитудные значения переменного напряжения, точность измерения составляла $\pm 10\%$. В качестве импульсной лампы использовали две разные лампы, выпускаемые промышленностью, наполненные инертным газом Хе. Так, в лампе №1 напряжение зажигания в воздухе при переходе от постоянного тока к ВЧ частоте (400кГц) падает с 7 кВ до 4,5 кВ, а при заполнении водой падает до 1,5 кВ.

Частотные зависимости напряжений зажигания разряда в воде и конденсаторном масле имеют одинаковый характер, высокие напряжения

зажигания при постоянном токе около 6-7 кВ и резкое падение напряжения до 1,5 – 2 кВ на частотах, начиная с 19 кГц. Проводятся сравнительные исследования напряжения зажигания разряда в воздухе, воде, конденсаторном масле, спирте, ацетоне и глицерине, как при постоянном токе, так и на разных частотах.

Показано, что при применении ВЧ накачки напряжения зажигания при переходе от постоянного тока к ВЧ частоте (19кГц-3 МГц) падает с 7 кВ до 1 кВ во всех исследованных жидкостях.

1. А.М.Вальшин, Р.Ф. Тавлыкаев, Г.М. Михеев, С.М. Першин. Управление параметрами газоразрядной плазмы низкого давления при высокочастотной накачке. Инженерная физика. 2015. №3.С.42– 49.

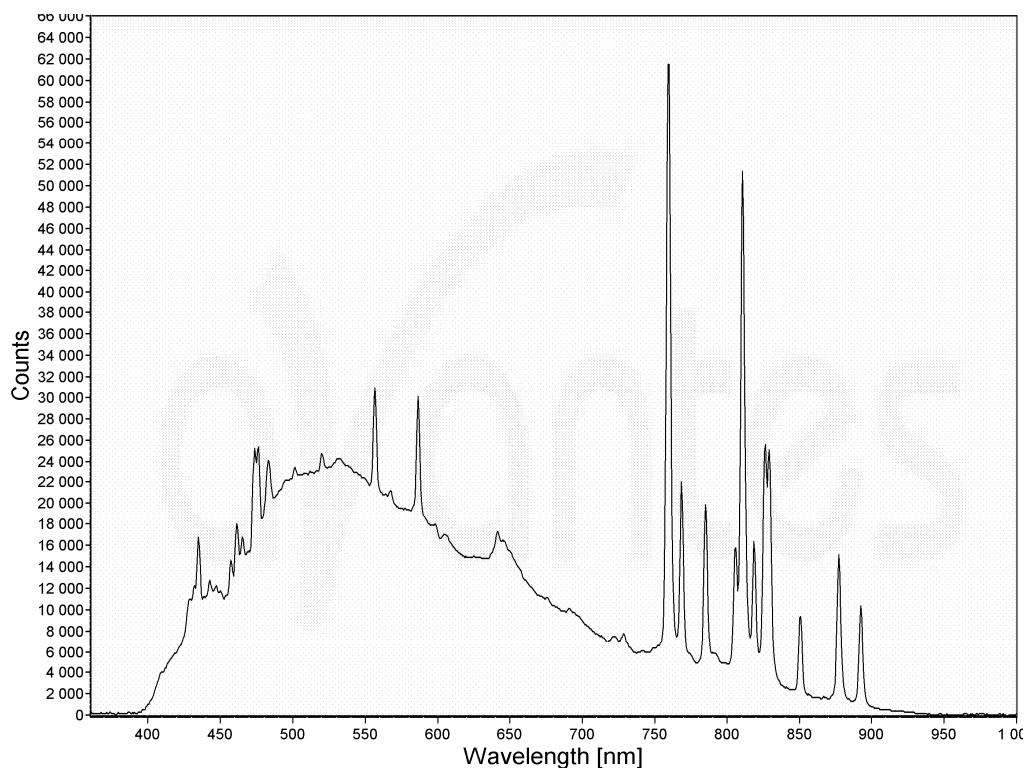
Спектральные характеристики различных импульсных ламп для накачки твердотельных лазеров

А.М. Вальшин, С.М. Першин, Р.Р.Акбалин

(Уфа)

Система накачки твердотельных лазеров во многом определяет стабильность энергетических и пространственных характеристик излучения твердотельных лазеров. На сегодня существуют два типа источников питания для твердотельных лазеров, это диодная накачка на резонансной частоте поглощения активного элемента и традиционная емкостная накачка импульсных ламп для накачки твердотельных лазеров. Если диодная накачка имеет КПД десятки процентов, то емкостная накачка обладает существенно меньшим КПД.

В данной работе нами проводились экспериментальные исследования спектральных характеристик различных импульсных ламп для накачки твердотельных лазеров с целью выяснения увеличения КПД.



В качестве ламп были испытаны различные модификации типов ламп ИНП, ИФП и ДНП. Выше приведена спектральная характеристика, которая соответствует спектру излучения этих ламп. Как видно из рисунка, наряду с узкими линиями излучения инертного газа присутствует плато, состоящее из сплошного спектра, простирающегося от ультрафиолетового диапазона до инфракрасного. Согласно работе [1], эта область спектра появляется из-за подъема температуры канала разряда в процессе импульсной накачки.

В дальнейшем планируется провести оптимизацию параметров накачки и характеристик излучения с точки зрения повышения КПД.

1. Импульсные источники света/[Маршак И.С. и др.]; М. :Энергия, 1978.- 472с.

СЕКЦИЯ Г-4 – ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Бесконтактные методы мониторинга состояния окружающей среды

Мязин Н.С., Рукин Е.В., Давыдов В.В., Мазинг М.С.

(Санкт-Петербург)

В настоящее время проблема загрязнения окружающей среды особенно актуальна. Сейчас для контроля загрязнений используется множество различных методов, позволяющих в течение короткого периода времени анализировать большую площадь поверхности объектов, но у каждого из них имеются свои преимущества и недостатки. Кроме того, многие местанедоступны для удаленного контроля из-за густой растительности, а чаще всего именно туда прибывает основное загрязнение, а также сливаются опасные отходы.

Наиболее эффективным в таких условиях оказывается забор проб вручную. Тем не менее, возможности такого подхода сильно ограничены количеством взятых проб и их дальнейшей логистикой. Помимо этого, дальнейший полный анализ взятых проб должен проводиться в стационарной лаборатории. Но производительность стационарной лаборатории также зачастую ограничена, количество поступающих заявок на проверку велико, а цена таких исследований может быть высока. Поэтому желательно, чтобы отправленные образцы гарантированно содержали загрязнения.

Получается, что уже на месте взять пробы желательно получать информацию о состоянии исследуемых сред, это называется контроль в экспресс - режиме. Для этого, как правило, используются химические и оптические методы, но они имеют свои недостатки. Например, химические методы вызывают необратимые изменения в среде, а для определения различных загрязнений исследователям нужны различные реагенты. Оптические методы накладывают ограничения на мутность среды и на размер растворенных частиц.

Поэтому существует необходимость в разработке надёжных портативных устройств, учитывающих все вышеперечисленные недостатки. Одним из возможных решений этой проблемы является разработанный в нашей лаборатории малогабаритный ядерно-магнитный релаксометр.

Большим преимуществом контроля состояния среды с помощью ЯМР

является то, что даже при работе в экспресс-режиме он проводит неразрушающие измерения — то есть не изменяет химический состав и физическую структуру.

Принцип определения состояния среды с помощью данного прибора состоит в измерении времён продольной и поперечной релаксации, а по этим данным можно однозначно определить отклонение состояния исследуемой среды от стандартного с учетом температуры окружающей среды.

Лучше всего регистрировать сигнал на ядрах водорода, так как они обладают наибольшей чувствительностью. Наблюдать сигнал можно и на ядрах фтора, лития или фосфора, так как они также обладают большой чувствительностью, но сигнал от них даст ту же информацию, что мы можем получить на ядрах водорода, без дополнительных данных. В этом случае целесообразно измерять времена релаксации только по ядрам водорода, за исключением редких случаев, когда сигнал от других элементов может оказаться сильнее. Нужно отметить, что, хотя бы один из перечисленных элементов практически всегда есть в исследуемых средах.

Кроме того, мы разработали метод, который позволяет получать информацию об относительных концентрациях компонентов в исследуемой смеси, при этом не требуется изменений в конструкцию прибора, а только лишь дополнительная обработка полученного сигнала.

Для этой цели предлагается использовать математическую модель на основе решения феноменологических уравнений Блоха для обработки сигналов ЯМР. ЯМР-сигнал из смеси представляет собой суммарный сигнал от каждого компонента этой смеси. С помощью разработанной математической модели можно разделить эти компоненты и найти относительные концентрации компонентов. Это позволяет обнаруживать отклонение от стандартного состояния исследуемой среды на месте отбора проб и во многих случаях принимать решения без дополнительного исследования в стационарной лаборатории, что делает контроль в экспресс-режиме более эффективным.

Широкополосный лидар ближнего/среднего ИК диапазонов для газоанализа атмосферы

О.А. Романовский, С.А. Садовников, О.В. Харченко, С.В. Яковлев

(Томск)

Представлены результаты измерений энергетических характеристик выходного тракта экспериментальной установки для лидарного газоанализа на основе параметрической генерации света с использованием нелинейных кристаллов КТР, КТА в диапазонах спектра 1.8–2.5 мкм, 3–4 мкм. Проведено моделирование лидарных измерений газовых компонент атмосферы в спектральном диапазоне 1.8–2.5 мкм. Экспериментально зарегистрированы эхо-сигналы широкополосного лидара в диапазонах длин волн 1.8–2.5, 3–4 мкм.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Грант № 16-45-700722 в части проведения численного моделирования лидарных сигналов при зондировании МГС атмосферы в диапазоне 1.8–2.5 мкм), финансовой поддержке гранта Президента РФ для поддержки молодых российских учёных (Грант № МК-1367.2017.5 в части проведения экспериментов по регистрации лидарных эхо-сигналов широкополосного лидара среднего ИК-диапазона) и финансовой поддержке Российского научного фонда (Соглашение № 15-17-10001 в части проведения экспериментов по регистрации лидарных эхо-сигналов широкополосного лидара ближнего ИК-диапазона).

Анализ функций, реализующих корреляционную обработку для измерения дальности по цифровым изображениям

В.Л. Козлов, Н.В. Козлова

(Минск)

Широкое использование цифровой фотосъемки обусловило значительный прогресс в развитии теории и методов восстановления трехмерной картины

пространства по двумерным цифровым изображениям (с использованием стереопары). Ядром системы стереозрения является построение карты диспаратетов (disparity map), т.е. разницы в значении абсциссы координаты измеряемого объекта на левом и правом изображении. От точности работы алгоритмов поиска в значительной степени зависят возможности применения системы в целом. Для решения указанной задачи применяют корреляционные методы анализа сходства фрагментов [1]. Корреляционные методы – это методы нахождения пиксельных соответствий путем сравнения профилей яркости в окрестности потенциально соответствующих точек разных изображений объекта. Обработка оптических изображений осуществляется с помощью различных функций, реализующих корреляционный анализ [2].

В предлагаемой работе решается задача анализа возможностей и областей применения функций, реализующих корреляционную обработку цифровых оптических изображений, для решения задачи измерения расстояний до объектов и построения карты глубины в случае, если одно из изображений стереопары подвергается влиянию шумов или монотонному амплитудному сдвигу. Исследования проводились для следующих функций: нормированная кросскорреляционная функция (англ. NCC) хорошо показывает себя при перепадах яркости и смещении цвета на фрагментах поиска; сумма квадратов разностей (англ. SSD) более простая, с математической точки зрения, функция; сумма абсолютных значений разностей (англ. SAD) аналог SSD, часто используется для снижения вычислительных затрат; нормированная сумма квадратов разностей (англ. NSSD). Функции, реализующие корреляционную обработку, ZSAD и ZSSD являются модификациями функций SAD и SSD, при этом в вычислениях учитываются средние интенсивности опорных областей правого и левого изображения [2]. Функция ранговой оценки (англ. Rank) подобна функции SAD, однако вместо сравнения значений цветовой интенсивности производится сравнение порядковых номеров интенсивности пикселей.

Для проведения исследований было разработано программное приложение, реализующее корреляционную обработку изображений с применением упомянутых функций. Результаты показали, что для функции NCC даже при отношении сигнал/шум (с/ш) = 1, значение корреляционной функции (КФ) является близким к 0,9, а при отношении (с/ш) = 0,11 – составляет 0,3. При этом система во всех случаях правильно обнаруживает анализируемый объект на зашумленном изображении и определяет его координаты. Результаты исследования для функций SSD и SAD показали, что с уменьшением отношения сигнал/шум значение КФ ухудшается значительно быстрее, при этом при отношении сигнал/шум $\leq 0,3$ объект не распознается на зашумленном изображении. Функция NSSD показала, что с уменьшением отношения сигнал/шум значение функции ухудшается значительно быстрее, чем для функции NCC. При этом система во всех случаях правильно обнаруживала анализируемый объект на зашумленном изображении. Добавление на одно из изображений шума по гауссу (с/ш = 0,5) существенно снижает точность RANK-метода.

Таким образом, в результате проведенных исследований получено, что наиболее эффективной для практического применения в системах измерения расстояний и построения карты глубины по цифровому стереоизображению является функция NCC, как наиболее надежная и устойчивая к воздействию шумов и искажений.

1. Szeliski R. Computer vision: algorithms and applications. Springer, 2011. – 997 p
2. Brown, M.Z. Advances in computational stereo. // IEEE transactions on PAMI. 2003. Vol. 25, № 8 P. 993–1008.

Использование регрессионных соотношений между концентрацией газов и измеряемыми оптическими сигналами

В.М. Белкин, Д.А. Смунев, М.М. Кугейко

(Минск)

Любое химическое соединение имеет свой спектр излучения или поглощения и по виду полученных спектров можно определить его состав, т. е. провести качественный анализ. Из оптических методов наиболее точным является дифференциальный метод, основанный на измерении поглощения на двух длинах волн λ_0 и λ_1 путем последовательного или одновременного пропускания через анализируемую среду зондирующего излучения $I(\lambda_0)$, совпадающего с максимумом поглощения $k(\lambda_0)$ полосы определяемого компонента, и $I(\lambda_1)$ - с минимумом поглощения $k(\lambda_1)$. К дестабилизирующим факторам, которые формируют погрешности измерений данного метода, необходимо отнести: нестабильность аппаратных констант приемо-излучающих устройств, вариации содержания сопутствующих компонент в контролируемой аэродисперсной среде и изменения атмосферного давления и температуры прокачиваемого через кювету газа.

Новый подход к решению обратной задачи оптического зондирования на основе установления регрессионных соотношений между определяемыми параметрами и измеряемыми оптическими характеристиками предложен в [1]. В докладе рассматривается возможности использования данного подхода для определения концентраций водяного пара и углекислого газа в атмосфере по спектральным измерениям в диапазоне 2650-2850 нм, в котором наиболее сильно перекрываются их линии поглощения.

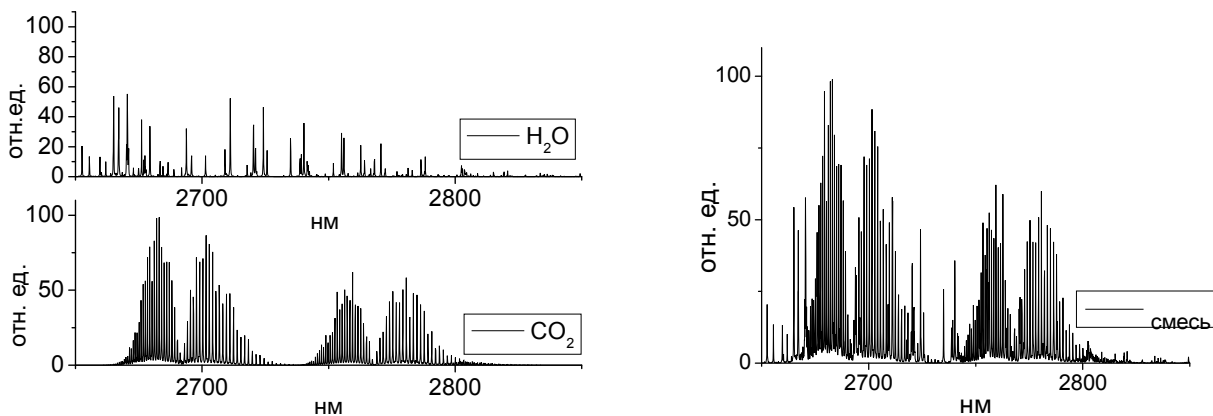
Регрессионный метод решения обратных задач предполагает, что искомые параметры среды (в частности концентрация газовых компонент) могут быть найдены при помощи некоторой статистической функции от измеряемых оптических характеристик. В настоящей работе в качестве функциональной связи между процентной концентрацией M паров воды и углекислого газа

газовых и главными компонентами ζ_i , выделенными из спектральных значений их коэффициентов поглощения $\varepsilon(\lambda_i)$, использовались линейные множественные регрессии:

$$M = a + \sum_{i=1}^N b_i \zeta_i \quad (1)$$

где N – количество главных компонент (ГК), a и b_i – коэффициенты регрессии, вычисляемые на основе выборки с использованием метода наименьших квадратов. Приведённые в работе результаты получены для двух ГК.

Для решения задачи было проведено: моделирование спектра поглощения паров воды и углекислого газа (для диапазона вариаций их концентрации соответственно 0.2%÷1% и 0.5%÷2%) используя базу данных HITRAN (рис.1); расчёт статистических выборок - модельной (обучающей, 250 состояний) и тестовой (500 состояний) - для построения регрессионных соотношений, связывающих процентное содержание газа в смеси и коэффициент поглощения; выделение главных компонент.



Влияние погрешностей оптических измерений на результат восстановления искомым характеристикам оценивалось на тестовой выборке. При наложении на коэффициенты поглощения погрешности 5% расчетные погрешности определения концентрации паров воды и углекислого газа были менее 1%.

1. Кугейко М. М., Лысенко С.А. Лазерная спектрофелометрия аэродисперсных сред. Минск: БГУ, 2012. 246 с.

Применение лидаров в промысловой океанографии

В. С. Горяинов, В. И. Черноок, А. А. Бузников

(Санкт-Петербург)

Лидары, или оптические локаторы, представляют мощный инструмент для исследования гидрооптических характеристик природных водоемов, оценки их экологического состояния и биологической продуктивности. Зондирование водной среды короткими лазерными импульсами позволило получать распределения прозрачности воды по глубине, находить слои повышенного рассеяния, в том числе образованные фитопланктоном и напрямую связанные с интересами промыслового рыболовства [1].

Авторы данного доклада участвовали в разработке, постройке и эксплуатации ряда лидаров для морских гидрооптических исследований.

Лидар «Макрель» был создан Институтом оптики СО АН и устанавливался на двух самолетах-лабораториях Ил–18. С его помощью проводились исследования в 1985 – 1991 гг. в Баренцевом, Норвежском, Охотском морях [2].

Лидар ПАЛ-1М (Поляризационный Авиационный Лидар) был разработан ООО «Мультитех» специально для промыслового и океанографического мониторинга морских акваторий [3] с борта самолета-лаборатории Ан–26 «Арктика». В 2001 – 2005 годах с его использованием выполнялись регулярные съемки акваторий Баренцева и Норвежского морей в интересах задач промысловой океанологии.

Лидар АПЛ (Авиационный Поляризационный Лидар) создан Институтом Океанологии РАН для использования на небольших самолетах-лабораториях Л–410 «Норд» и Ан–38 «Восток». Лидар имеет малые габариты, вес и низкий уровень энергопотребления, позволяет измерять ряд оптических характеристик воды и обнаруживать рыбные скопления. Исследования с этих самолетов выполнялись в Белом, Баренцевом и Охотском морях в 2008 и 2009 гг. [4].

Судовой Лидар «Гидробионт» был создан в 2014 году АО «Гипрорыбфлот» совместно с Институтом Океанологии им. П. П. Ширшова.

Основная особенность конструкции СЛГ – совмещение в ней поляризационного и спектрального измерительных каналов. Лидар подтвердил свою пригодность для мониторинга водной среды в ходе морских испытаний [5] на Черном море. Исследовано влияние высоты расположения лидара над поверхностью воды, угла зондирования и начальной расходимости зондирующего лазерного пучка на результаты зондирования.

Велико также значение алгоритмов и методик обработки данных лидарного зондирования. Был предложен метод разделения эхо-сигналов по вероятной информативности, основанный на их аппроксимации суммой гауссовых функций [6]. Для определения вертикального профиля прозрачности воды применяется метод базового сигнала. Авторами предложена его модификация, в которой аппроксимирующая функция является кусочно-заданной асимметричной гауссовой кривой [7]. Показана связь параметров данной функции с коэффициентом диффузного ослабления среды.

- 1 Букин О. А., Павлов А. Н., Салюк П. А. и др. Лазерные технологии исследования океана // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 10. С. 926 – 934.
- 2 Пономарев Я. И., Черноок В. И. Рекомендации по проведению лидарной авиасъемки Баренцева моря с самолета-лаборатории ИЛ-18 ДОРР. Мурманск: ПИНРО, 1988. 48 с.
- 3 Goldin Y. A., Vasilev A. N., Lisovskiy A. S., et al. Results of Barents Sea airborne lidar survey // Proc. SPIE. 2007. V. 6615. 66150E.
- 4 Черноок В. И., Гольдин Ю. А., Болтнев А. И и др. Результаты лидарной авиасъемки прибрежных акваторий Сахалина (июль 2009 г.) // Труды X Всероссийской конференции "Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики". СПб.: Наука, 2010. С. 298 – 301.
- 5 Горяинов В. С., Бузников А. А., Черноок В. И. Морские испытания судового лидара «Гидробионт». // 67-я Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Санкт-

Петербург, 2014. С. 75–78.

6 Горяинов В. С., Черноок В. И., Бузников А. А. Алгоритм сортировки лидарных эхо-сигналов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. № 10. С. 3–7.

7 Горяинов В. С., Черноок В. И., Бузников А. А. Модификация метода базового сигнала. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Принята к печати.

Детектирование атмосферных газовых примесей методом ДООС

П.П. Гейко, И.В. Самохвалов С.С. Смирнов

(НИ ТГУ; ИМКЭС СО РАН, Томск)

С использованием метода дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии разработан газоанализатор для контроля интегральных по трассе концентраций. Апробация проводилась на трассах длиной от 100 до 200 м. в районе академгородка (г. Томск). Удалось зарегистрировать присутствие бензола и толуола и других соединений. Газоанализатор включает в себя два ультрафиолетовых светодиода, излучающих в области 265 и 275 нм., систему световодов, приемо-передающий телескоп, спектрометр и систему обработки.

Световой пучок формируется с помощью коаксиального телескопа и направляется на открытую трассу длиной от десятков до сотен метров, отражается уголковым кварцевым отражателем и поступает в приемный канал телескопа. Плавно изменяющиеся с длиной волны изменения в спектре, вызванные поглощением и рассеянием излучения атмосферным аэрозолем, а также молекулярным рассеянием света атмосферными газами исключаются из рассмотрения и не влияют на результаты измерений. Используя соответствующие алгоритмы математической обработки и, опираясь на базу спектральных данных, удается восстановить их интегральную по трассе концентрацию. В качестве детектора использовался линейный датчик изображения Toshiba TCD 1205, имеющий 2048 пикселей с размером пикселя $0,014 \times 0,2 \text{ мм}^2$. Длина светочувствительной зоны детектора составляет 28,6 мм,

при этом, регистрируемый спектральный диапазон 190-500 нм определяется используемой дифракционной решеткой.

Спектральные характеристики исследуемых газов является одним из ключевых компонентов программного обеспечения метода ДООС. Адаптация данных спектральных параметров атмосферных газов проводилась путем свертки спектров высокого разрешения с аппаратной функции нашего прибора.

Для оценки возможностей газоанализатора проводились оценки минимально детектируемых концентраций (МДК), в режиме реального времени.

Для ряда соединений МДК (мкг/м^3) составляет: $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$ (фенол) - 0,7; C_9H_{12} (триметилбензол) - 20; $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{O}$ (триметилфенол) - 30; $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$ (толуилальдегид) - 4; $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}$ (диметилфенол) - 7; $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$ (крезол) - 4; C_8H_{10} (ксилол) - 20.

В качестве примера на рисунках 1 и 2 представлены измеренные дневные вариации значений концентраций бензальдегида и метиламина.

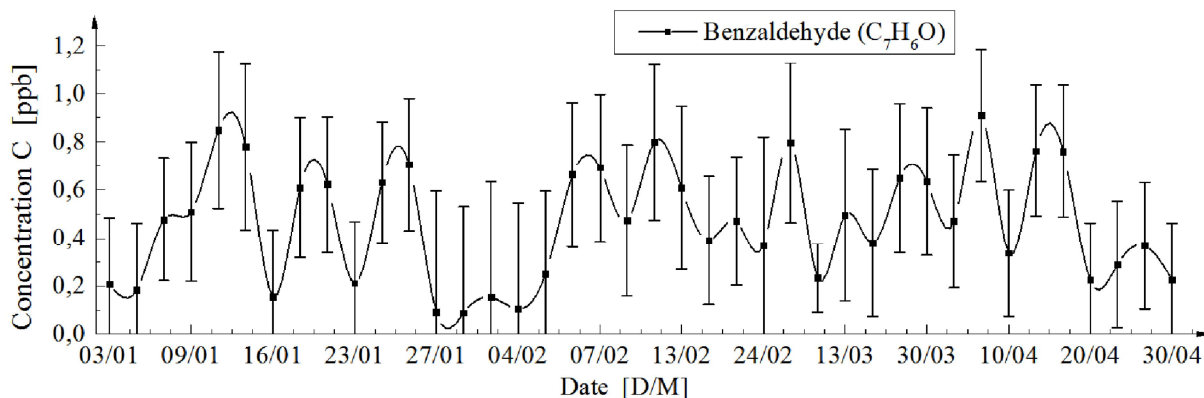


Рис. 1. Дневные вариации концентраций бензальдегида

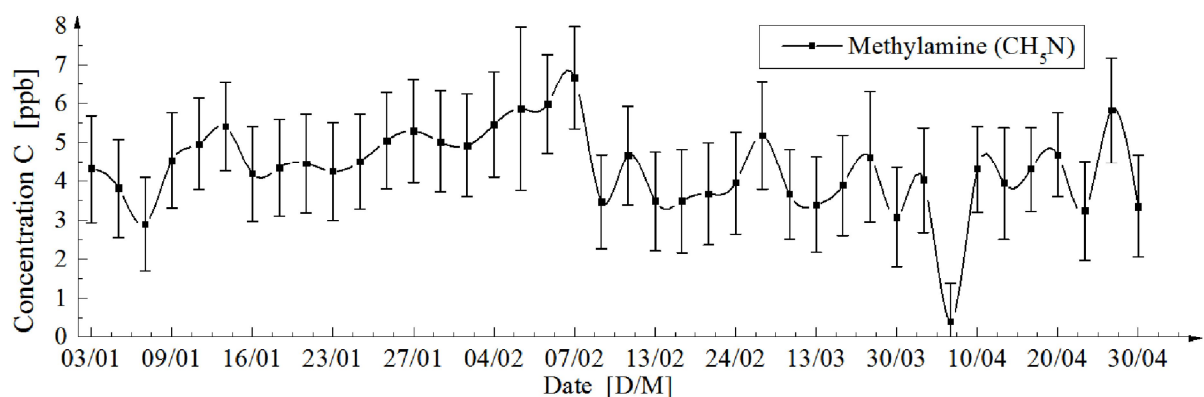


Рис. 2. Дневные вариации концентраций метиламина

Концентрация вредных веществ воздуха в значительной степени зависит

от времени и места наблюдения и связаны с источниками загрязняющих воздух выбросов, влиянием метеорологических и топографических факторов. Например, влажность способна существенно изменить количество и качественный состав загрязнений, особенно в присутствии гигроскопичных аэрозолей. С помощью ультразвуковой метеостанции АМК-3 имелась возможность учитывать метеоданные при интерпретации результатов измерений. Работа выполнена при поддержке программы РАН IX.138 и Программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

Особенности работы ртутной капиллярной лампы с естественным изотопным составом в переносном анализаторе паров ртути

В.В. Татур, А.А. Тихомиров

(Томск)

В анализаторах паров ртути РА-915+ [1] и РГА-11 [2] в качестве источника излучения использовалась дорогостоящая изотопная (^{204}Hg) капиллярная лампа (РКЛ) при продольном эффекте Зеемана. Получение двух длин волн излучения – поглощаемой исследуемым веществом и находящейся вне линии поглощения достигалось за счет расщепления резонансной линии ртути $\lambda_0 = 253,7$ нм в магнитном поле. Эти приборы имеют ряд существенных недостатков, поэтому нами был создан образец анализатора ДОГ-05, в котором использованы все три компоненты расщепления линии $\lambda_0 = 253,7$ нм в поперечном эффекте Зеемана: π , σ^+ и σ^- [3].

С учетом полученного опыта в ИМКЭС СО РАН был разработан экспериментальный образец анализатора паров ртути с использованием в качестве источника излучения РКЛ низкого давления с естественным изотопным составом ртути в поперечном эффекте Зеемана [4]. Такая лампа является достаточно дешевой, что снижает стоимость анализатора.

Лабораторные испытания прибора выявили ряд особенностей работы РКЛ

с естественным изотопным составом в магнитном поле. В докладе представлены результаты исследования влияния различных факторов на интенсивности π - и суммы σ -компонент излучения РКЛ. Проведено измерение соотношения интенсивностей излучения P_π и суммарной интенсивности P_σ для двух значений магнитной индукции, равной 0,1 и 0,92 Тл, в интервале температур от 15 до 45°C при различных напряжениях возбуждающего разряда. Исследовалось излучение двух типов РКЛ, имеющих наружный диаметр 3 мм и отличающихся диаметром внутреннего капилляра $\varnothing_{\text{внутр}}$ (1 и 2 мм). Возбуждение осуществлялось высокочастотным разрядом (частота – 200 МГц, амплитуда возбуждающего напряжения менялась от 7 до 10 В). Давление буферного газа (криптона) в лампе было 1,5 мм рт. ст.

Результаты измерений показали, что значения интенсивностей π - и σ -компонент зависят от диаметра внутреннего капилляра лампы и практически не зависят от индукции магнитного поля в диапазоне 0,1 ... 0,92 Тл. Установлено также, что при меньших значениях $\varnothing_{\text{внутр}}$ величина P_π уменьшается. При изменении температуры окружающей среды в интервале от 15 до 45°C была выявлена зависимость изменения соотношения долей интенсивностей P_σ и P_π в общей интенсивности P_Σ , излучаемой лампой.

Дополнительно проведено исследование интенсивностей P_π и P_σ в разных участках РКЛ (в поперечном и продольном сечениях капилляра), помещенной в магнитное поле. Измерение интенсивностей P_π и P_σ в поперечном сечении показало, что вблизи центра капилляра (в пределах $\pm 0,3$ мм от его оси), наблюдается относительно равномерный участок, а к краям капилляра разница между интенсивностями P_σ и P_π уменьшается. Исследована также зависимость $\delta = (P_\sigma - P_\pi) / P_\Sigma$, %, вдоль оси изображения капилляра.

Дано объяснение наблюдаемым явлениям и предложены рекомендации по формированию оптических путей опорного и измерительного каналов прибора при конструировании анализатора паров ртути для учета различия в интенсивностях излучения P_σ и P_π в разных участках капилляра РКЛ.

1. Ганеев А.А., Шолупов С.Е., Пупышев А.А., и др. Атомно-абсорбционный анализ: Учебное пособие. СПб.: Изд-во «Лань», 2011.
2. Антипов А.Б., Генина Е.Ю., Кашкан Г.В., Мельников Н.Г. Ртутный мониторинг // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. № 11-12. С. 1630–1635.
3. Булдаков М.А., Матросов И.И., Тихомиров А.А., Королев Б.В. Портативный оптический анализатор паров ртути в атмосферном воздухе ДОГ-05 // Безопасность в техносфере. 2011. № 1. С. 11–15.
4. Abramochkin A.I., Korolkov V.A., Mutnitsky N.G., Tatur V.V., Tikhomirov A.A. Portable mercury gas analyzer with a lamp filled with natural mercury isotope mixture // Proc. of SPIE. 2015. V. 9680. P. 96803D-1÷96803D-4.

Помехи в оптическом канале лазерного дисдрометра.

Проблема и ее решение

В.В. Кальчихин, А.А. Кобзев, И.М. Краснолобов, А.А. Тихомиров

(Томск)

Приборы для измерения интегральных характеристик атмосферных осадков: суммы (мм) и интенсивности (мм/час) непрерывно развиваются [1]. Среди них необходимо отметить оптические дисдрометры [1, 2]. Помимо возможностей автоматической и автономной работы, такой прибор способен определять параметры микроструктуры осадков (распределение частиц по размерам и по скоростям падения), что служит основой для оценки суммы, интенсивности, водности, радиолокационной отражаемости и кинетической энергии выпадающих осадков. Кроме того, дисдрометр способен эффективно выполнять функцию датчика начала и окончания осадков, определять их вид на основании анализа микроструктурных характеристик осадков. Конструкция такого прибора, как правило, лишена подвижных узлов, прибор прост в установке и обслуживании.

В дисдрометре, разработанном в ИМКЭС СО РАН [3], применяется метод

получения и анализа теневых изображений частиц атмосферных осадков. При проведении натурных испытаний прибора обнаружился ряд особенностей применения оптических методов для решения задачи определения характеристик осадков. Наиболее существенные из них связаны с регистрацией объектов, не относящихся к падающим частицам осадков: загрязнение, насекомые, наличие влаги на оптических окнах источника и приемника (брызги, запотевание-роса, изморозь-иней). Эти факторы вызывают помехи в измерительном канале и ошибочные результаты, а в ряде случаев приводят к сбоям в работе прибора. Влияние первых двух факторов исключается применением фильтрации измерительных данных путем проверки соответствия характеристик регистрируемых объектов ряду условий. Исключение капель в результате разбрызгивания достигается установкой брызгозащиты.

Появление на оптических окнах прибора влаги в результате конденсации связано с резким изменением метеорологических условий. В теплое время года влага на внешней поверхности оптических окон прибора образуется при выпадении росы, а на внутренней поверхности – в случае попадания влаги внутрь корпуса излучателя и/или приемника прибора. В холодное время года при резком падении температуры на окнах также образуется пленка воды, которая, замерзая, превращается в непрозрачное ледяное покрытие.

После натурных испытаний нами реализовано решение данной проблемы, которое основано на применении электрической системы подогрева оптических окон, управляемой по специально разработанному алгоритму.

В докладе представлены пути устранения помех в измерительном канале лазерного дисдрометра, вызванных конденсацией влаги и образованием ледяного покрытия на оптических окнах прибора. Схема обогрева и управляющий алгоритм позволяют осуществлять самодиагностику и автоматическое устранение неисправности. Это существенно повышает автономность работы с увеличением интервала необходимого обслуживания.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента

Российской Федерации (МК-3298.2015.5).

- 1 Michaelides S.C. Precipitation: Advances in Measurement, Estimation and Prediction. – Springer-Verlag: Berlin Heidelberg, 2008. 552 p.
- 2 Кальчихин В.В., Кобзев А.А., Корольков В.А., Тихомиров А.А. Приборное обеспечение измерения параметров атмосферных осадков. Современное состояние // Изв. вузов. Физика. 2009. № 12. С. 89. (Деп. в ВИНТИ 16.12.09, № 802-В2009. 11 с.).
- 3 Кальчихин В.В., Кобзев А.А., Корольков В.А., Тихомиров А.А. К выбору размеров измерительной площади двухканального оптического осадкомера. // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 2. С. 155-159.

**Лидарные измерения озона в верхней тропосфере – стратосфере
над г. Томск**

А.А. Невзоров, С.И. Долгий, А.В. Невзоров, Ю.В. Гриднев, О.А. Романовский
(Томск)

После модернизации озонового лидара в 2016 году возобновились измерения вертикального распределения озона (ВРО) на Сибирской лидарной станции (56,5° с.ш., 85,0° в.д.), которые проводятся с 1988 г. В докладе представлены последние результаты измерений ВРО. Для зондирования озона верхней тропосферы - нижней стратосферы используется пара длин волн 299/341 нм. Для измерения стратосферного озона применяется пара длин волн 308/353 нм. Результаты лидарного зондирования озона, проводимые по методу дифференциального поглощения и рассеяния, приведены в сравнении с данными спутников IASI/MetOp и AURA, а также с среднеширотной моделью Крюгера. Отличие лидарных профилей ВРО от модельных являются естественными для динамики озонового слоя в различные дни наблюдений. Различия в значениях ВРО лидара и AURA можно объяснить погрешностью

приборов и пространственно-временным разнесением измерений. Большие различия в значениях ВРО по данным лидара и спутника MetOp на высотах стратосферы объясняются необходимостью коррекции априорной модели в алгоритме восстановления спутниковых данных.

**Анализ эффективности конструктивных решений оборудования
высокоскоростной оптической беспроводной связи с учетом воздействия
турбулентной атмосферы**

*М. Ю. Керносков, С. Н. Кузнецов, Б. И. Огнев, С. Ю. Поляков, С. Е. Широбакин
(Рязань)*

Одной из основных проблем развития линий атмосферной оптической связи (Free Space Optics, FSO-технологии), является искажение структуры лазерного излучения в приземном слое атмосферы, приводящее к колебаниям уровня приемного сигнала и, как следствие, к ошибкам в канале связи. Особенно актуально это для высокоскоростного (с передачей более 10 Гбит/с) FSO оборудования из-за уменьшения динамического диапазона приемников сигнала с ростом скорости передачи, что снижает устойчивость канала связи к колебаниям приемного сигнала. В большей степени указанные искажения обусловлены неустойчивостью процессов развития мелкомасштабной турбулентности атмосферы. Реальные трассы FSO систем чаще всего проходят в городах и промышленных зонах, над дорогами, водоемами, домами, цехами и другими объектами. Уровень турбулентности, ее динамика и неопределенность накладывают жесткие требования на архитектуру FSO системы.

В данной работе приведены результаты исследования влияния конструктивных факторов оптического тракта FSO оборудования с моноапертурной оптической системой, на стабильность принимаемого сигнала.

В качестве основного критерия оценки влияния турбулентности атмосферы на беспроводной оптический канал связи выбрана относительная дисперсия флуктуаций приемного сигнала. Проведены три серии

экспериментов, посвященные влиянию на нестабильность приемного сигнала таких факторов, как размер приемной апертуры, расходимость излучения, а также его спектральный и модовый состав. В качестве экспериментальной базы использовались две работающие параллельно линии, построенные на серийно выпускаемом FSO оборудовании Artolink M1-10GE, одна из которых была «эталонном», а на другой проводились экспериментальные модификации.

Анализ экспериментальных данных показал, что существенным параметром, влияющим на величину флуктуаций принимаемой мощности, является пространственная когерентность излучения передатчика. Определено, что ее уменьшение значительно больше снижает нестабильность приемного сигнала, чем уширение спектра излучения передатчика. При этом показано, что увеличение отношения диаметра пятна излучения в плоскости приема к диаметру приемной апертуры существенно ухудшает стабильность принимаемого сигнала. Данный параметр позволяет для заданного предельного уровня дисперсии флуктуаций приемного сигнала и расходимости определить предельную рабочую дистанцию FSO оборудования. Также показано, что уменьшение расходимости излучения значительно лучше влияет на дисперсию флуктуаций, чем уширение спектра излучения передатчика (снижение временной когерентности).

Для используемых в высокоскоростном FSO-оборудовании приемников с малым динамическим диапазоном снижение пространственной когерентности может увеличить дальность связи, по меньшей мере, в 2 раза без применения других специальных мер.

Показано, что конфигурация моноапертурной оптики с реализацией вывода узкополосного излучения через торец многомодового волокна является лучшим решением по организации беспроводного оптического канала в атмосфере по сравнению с применением одномодового волокна. Данное решение позволяет достичь одновременно две цели: обеспечить широкую полосу канала (поскольку волокно - это фильтр низких частот) и свести дисперсию

флуктуаций к приемлемому уровню. Кроме того, такая конфигурация позволяет использовать технологию WDM для многократного увеличения емкости беспроводного канала.

Полученные в данной работе результаты были реализованы в экспериментальном образце оборудования с возможностью передачи через беспроводный оптический канал потока 40 Гбит/с за счет волнового мультиплексирования четырех потоков 10 Гбит/с.

Беспроводный канал передачи информации со скоростью 40 Гбит/с

А. А. Боев, М. Ю. Керносов, С. Н. Кузнецов, Б. И. Огнев, А. А. Паршин

(Рязань)

Работа посвящена созданию оборудования беспроводной оптической связи для передачи информации со скоростью 40 Гбит/с. Показано, что в открытом атмосферном канале можно использовать мультиплексированные по длине волны каналы.

В работе применено выравнивание спектра за счет нелинейности передаточной функции усилителя и каскадного соединения объединяющих фильтров. В качестве дополнительных средств для выравнивания спектра были использованы хроматическая абберрация объектива и подбор номинальной выходной мощности передатчиков SFP+ модулей. Такой способ обеспечивает лучшую энергетическую эффективность, что важно для беспроводных оптических каналов с заведомо большим уровнем потерь, чем в волоконно-оптических линиях связи.

Канал передачи был организован на базе серийно выпускаемой модели M1-10GE в исходной конфигурации обеспечивающей скорость передачи 10 Гбит/с на одной длине волны. Предложенное решение по выравниванию спектра позволило получить неоднородность сигналов по рабочим каналам не более 1.5дБ.

Измеренный бюджет оборудования по усилению составил 23дБ, что практически совпадает с расчетным значением.

Измерения показали, что уровень цифровых ошибок при выбранной схеме передачи сигналов хорошо соответствует одноканальной системе. Также как и в одноканальных системах, основным эффектом, определяющим уровень цифровых ошибок является нестационарность среды распространения света (турбулентность атмосферы).

В заключении предложено решение по дальнейшему усовершенствованию оборудования путем автоматической регулировки мощности передатчиков SFP+ модулей непосредственно в процессе работы.

Оценка микроструктуры облаков верхнего яруса на основе базы данных по матрицам обратного рассеяния света

И.В. Самохвалов, И.Д. Брюханов

(Томск)

Разнообразные природные катаклизмы всё чаще вызывают существенные разрушения инфраструктуры и гибель земной флоры и фауны. Известно всё больше примеров, при которых изменения климата негативно влияют на жизнедеятельность человека. В частности, происходят природные явления, не свойственные той или местности. Ещё свежи воспоминания о шторме в Москве в мае 2017 г., в результате которого погибли люди, а также произошли значительные разрушения. В связи с указанными изменениями, важность существовавшей и ранее необходимости знания окружающей нас природы, её законов и протекающих в ней процессов теперь многократно возрастает. Вопросы изучения климата нашей планеты требуют, в том числе, детального исследования её атмосферы.

Широкий ряд вопросов физики атмосферы остаётся не разрешённым. Немалую важность имеют исследования микроструктуры облаков верхнего

яруса (ОВЯ). Их существенное влияние на радиационный баланс атмосферы Земли обусловлено большой горизонтальной протяжённостью, принимающей значения до тысячи километров, из-за чего ОВЯ могут покрывать до 30% земной поверхности [1]. Пропускание ими оптического излучения определяется преимущественной пространственной ориентацией несферических ледяных кристаллов в них. Непосредственное измерение этой характеристики невозможно в силу её нарушения при заборе проб. Однако оценить ориентацию частиц в облаках можно на основе анализа изменения состояния поляризации лазерного излучения при его взаимодействии с исследуемой средой. Эта идея положена в основу метода поляризационного лазерного зондирования атмосферы, реализованного в высотном поляризационном лидаре Национального исследовательского Томского государственного университета (НИ ТГУ) [2].

Массив данных кафедры оптико-электронных систем и дистанционного зондирования (ОЭСИДЗ) НИ ТГУ содержит результаты экспериментов по поляризационному лазерному зондированию атмосферы, выполняемых на указанном лидаре с 2009 г. Настоящий доклад посвящён разработке методики оценки микроструктуры ОВЯ на основе совместного анализа экспериментальных данных с теоретическими. Для этого формируется база данных, объединяющая полученные на лидаре оптические характеристики (матрица обратного рассеяния света (МОРС), оптическая толщина, отношение рассеяния) и геометрические характеристики ОВЯ (высота нижней границы и вертикальная протяжённость), а также соответствующие высотам их формирования метеопараметры (температура, влажность, давление, скорость ветра и т.д.), имеющие место во время экспериментов. Обработка экспериментальных данных и сбор данных метеостанций автоматизированы. Кроме того, формируется массив МОРС полидисперсных ансамблей ледяных кристаллов, полученных на основе теоретически рассчитанных матриц [3]. Формирование единой базы данных, объединяющей экспериментальные и

теоретические данные, и её дальнейший анализ позволит выявить условия формирования ОВЯ с теми или иными параметрами микроструктуры. В конечном итоге, это даст возможность повысить точность существующих микрофизических моделей атмосферы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Грант №16-05-00710) и, частично, при поддержке Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева НИ ТГУ».

1. Jensen E.J., Toon O.B., Selkirk H.B. *et. al.* // J. Geophys. Res. 1996. V. 101. P. 21361-21375.
2. Самохвалов И.В., Кауль Б.В., Насонов С.В. и др. // Опт. атм. и океана. 2012. Т. 25, № 5. С. 403–411.
3. Коношонкин А.В., Кустова Н.В., Шишко В.А. и др. // Опт. атм. и океана. 2016. Т. 29, № 1. С. 40–50.

**Степень деполяризации лидарного сигнала от облаков верхнего яруса:
влияние поляризации зондирующего излучения**

И.В. Самохвалов, И.Д. Брюханов

(Томск)

Меняющийся климат Земли, приводящий ко всё более заметным изменениям условий окружающей среды, обостряет необходимость знания законов природы и протекающих в ней процессов. К числу малоизученных факторов относится микроструктура облаков верхнего яруса (ОВЯ). Необходимость их исследования обусловлена существенным влиянием на радиационный баланс нашей планеты [1]. Отсутствие сколько-нибудь удовлетворительного решения задачи определения микроструктуры таких облаков приводит к отсутствию учёта ряда процессов в моделях атмосферы, используемых при построении прогнозов климата и погоды. В свою очередь, это влечёт за собой ошибки и неточности таких прогнозов.

Коллектив кафедры ОЭСидЗ и лаборатории НИЛ ЛЗ Национального исследовательского Томского государственного университета (НИ ТГУ) исследует микроструктуру ОВЯ на высотном поляризационном лидаре [2] с 2009 г. Накопленная база экспериментальных данных включает в себя высотные профили интенсивности лидарного сигнала для всех четырёх состояний поляризации обратно рассеянного излучения, соответствующих компонентам вектора Стокса излучения, при зондировании излучением с аналогичным набором четырёх поляризаций. В настоящее время методика обработки экспериментальных данных подразумевает получение из них матриц обратного рассеяния света (МОРС), отношения рассеяния, оптической толщины, высот нижней и верхней границ облаков и дальнейшее сопоставление перечисленных параметров с метеорологическими, имеющими место на высотах формирования ОВЯ во время экспериментов. Используя накопленную базу данных, можно получить статистически обоснованные данные о микроструктуре таких облаков.

МОРС облака может быть использована не только для оценки его микроструктуры, но и для анализа поляризационных характеристик лидарного сигнала. К их числу относится и степень линейной деполяризации, которой ряд авторов (например, [3, 4]) уделяет много внимания, стремясь к использованию её для оценки микроструктуры облаков. Определение этой характеристики добавлено в методику обработки данных, получаемых на лидаре НИ ТГУ, для трёх состояний поляризации зондирующего излучения, реализуемых на лидаре. В результате обработки результатов ряда экспериментов выявлена связь между преимущественной пространственной ориентацией несферических кристаллов льда (при её наличии) в ОВЯ с ориентацией плоскости поляризации зондирующего излучения. Настоящий доклад посвящён обсуждению таких результатов. Показано, что параметры микроструктуры облаков не всегда могут быть оценены из анализа высотного профиля степени линейной деполяризации лидарного сигнала.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Грант №16-05-00710) и, частично, при поддержке Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева НИ ТГУ».

1 Liou K.N. // Mon. Wea. Rev. 1986. V. 114. P. 1167–1199.

2 Самохвалов И.В., Кауль Б.В., Насонов С.В. и др. // Опт. атм. и океана. 2012. Т. 25, № 5. С. 403–411.

3 Sassen K., Benson S. // J. Atmos. Sci. 2001. V. 58, No. 15. P. 2103–2112.

4 Zhenzhu W., Шишко В.А., Коношонкин А.В. и др. // Опт. атм. и океана. 2016. Т. 29, № 12. С. 1050–1052.

Разработка методов линейризации лазерно-интерферометрических данных

Д.В. Александров, М.Н. Дубров, В.В. Кравцов

(Фрязино, Московской обл.)

Рассматривается результат интерференции двух когерентных пучка света, которые при сложении в плоскости фотоприёмника образуют интерференционную картину – интерферограмму. Распределение интенсивности I интерферограммы, образованной складываемыми пучками света, может быть записано в виде:

$$I = I_0(1 + m \cos\delta(t)), \quad (1)$$

где I_0 - сумма интенсивностей, а δ - меняющаяся во времени разность фаз интерферирующих пучков. Коэффициент m в выражении (1) называется видностью интерференционных полос и определяет контрастность образованной интерферограммы. При этом под интенсивностью света I , I_0 подразумевается усредненное по времени количество энергии, пересекающее единицу площади, перпендикулярной к направлению потока энергии, в единицу времени [1].

Первое слагаемое в выражении (1) является постоянным во времени, а величина второго слагаемого меняется по синусоидальному закону в

зависимости от δ и является нелинейной функцией при произвольном изменении разности фаз $\delta(t)$ интерферирующих пучков во времени [2].

Если в какой-либо схеме интерферометра один из интерферирующих пучков проходит дополнительный оптический путь L , например, в измерительном плече интерферометра, то разность фаз будет иметь следующий вид:

$$\delta(t) = \omega L(t) / c = 2\pi L(t) / \lambda, \quad (2)$$

где ω - круговая частота, λ - длина волны, c - скорость света. Таким образом, задачей интерферометрического опыта является решение нелинейного уравнения, которое может быть получено при подстановке (2) в выражение (1):

$$I(t) = A + B \cos(2\pi L(t) / \lambda) \quad (3)$$

где $I(t)$ - измеренная фотоприемником интенсивность интерферограммы, а постоянные коэффициенты A и B определяются суммарной интенсивностью I_0 интерферирующих пучков и видностью m интерферограммы.

При изменении оптического пути $L(t)$ в интерферометре на величину, больше, чем $\lambda/2$, решение уравнения (3) является неоднозначным и требует применения специальных численных алгоритмов для его нахождения. Задача существенно упрощается при введении аппаратной пространственно-временной модуляции оптического пути $L(t)$. Это позволяет разрешить неоднозначность при переходе аргумента в (3) через особые точки πn ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$) и дает возможность осуществлять программную нормировку сигнала при меняющихся во времени величинах параметров I_0 и m .

Приводятся примеры применения описанных методов обработки лазерно-интерферометрических данных, полученных с помощью равноплечего 100-метрового интерферометра-деформографа на полигоне ФИРЭ РАН [3]. Показан исходный интерференционный сигнал $I(t)$, зарегистрированный на выходе интерферометра и результат численного решения уравнения (3), дающего искомую зависимость $L(t)$. При длине волны используемого лазера $\lambda = 633$ нм дискретность вычисления величины $L(t)$ для реальных алгоритмов составляет

0,05 нм. Дискретность квантования интерференционного сигнала по времени для приведенных примеров составляет 0,5 – 1 мс. С применением созданных методов разработаны новые прецизионные измерительные схемы на основе управляемых лазерных резонаторов-интерферометров.

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука. 1970. 855 с.
2. Александров Д.В., Дубров М.Н., Кравцов В.В. Разработка и апробация методов линеаризации данных лазерного интерферометра-деформографа. //Нелинейный мир. 2016. т. 14. №1. с. 6-7.
3. Дубров М.Н., Александров Д.В., Кравцов В.В. Лазерные интерферометры-деформографы: новые разработки и применение. // Исследовано в России. 2013. 025. с.354-359. <http://sci-journal.ru/articles/2013/025.pdf>

Лидарная система мониторинга радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха

В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин

(Санкт-Петербург, Новороссийск)

По результатам выполненных ранее исследований различных типов лидаров [1 - 4], предназначенных для зондирования загрязняющих веществ в газовых потоках или чистой атмосфере, можно предположить, что для обнаружения концентраций радионуклидов от 10^5 см⁻³ и выше в атмосфере наиболее предпочтительным будет использование систем дифференциального поглощения. Поэтому на основе ослабления лазерного излучения с соответствующим подбором длины волны излучения можно создать чувствительный метод измерения концентрации радионуклидов в атмосфере.

Целью настоящей работы является оценка потенциальных возможностей лидарной системы мониторинга загрязнения радионуклидами цезия, стронция, ксенона и криптона атмосферного воздуха на основе дифференциального поглощения для обнаружения их минимально возможных концентраций.

Для оценки потенциальных возможностей такой лидарной системы мониторинга загрязнения радионуклидами цезия, стронция, ксенона и криптона атмосферного воздуха было выполнено численное решение лидарного уравнения для дифференциального поглощения для оценки минимально обнаружимой концентрации исследуемых радионуклидов. В общем случае оптическая плотность D при дифференциальном поглощении [4] определяется сечением резонансного поглощения σ_0 исследуемого радионуклида, его концентрацией N и толщиной поглощающего слоя атмосферы Δz . С другой стороны, эта оптическая плотность определяется логарифмом отношения лидарных сигналов на двух выбранных длинах волн согласно лидарному уравнению [1], которое рассмотрим в виде:

$$\int_0^R N(z) dz = \frac{1}{2\sigma_0} \left\{ \ln \left[\frac{P(\lambda_1, z) P_0 K_{10} \rho_0}{P(\lambda_0, z) P_1 K_{11} \rho_1} \right] - \frac{1}{\sigma_0} \int_0^R [k(\lambda_0, z) - k(\lambda_1, z)] dz \right\} \quad (1)$$

где $N(z)$ – концентрация радионуклидов на расстоянии зондирования z ; σ_0 – их сечение резонансного поглощения; $P(\lambda, z)$ – регистрируемая лидаром мощность на каждой длине волны с расстояния z ; P_0, P_1 – импульсная мощность лазерного излучения на каждой длине волны; K_l – лидарные константы на каждой длине волны; $\rho = 10^{-7}$ – суммарный коэффициент аэрозольного и молекулярного рассеяния назад атмосферой и $k(\lambda, z)$ – коэффициенты ослабления в атмосфере на каждой длине волны. Все величины определены для двух длин волн лазерного излучения λ_0 и λ_1 , причем вторая длина волны находится вне линии поглощения радионуклида.

Таким образом, лидаром дифференциального поглощения и рассеяния можно определять концентрацию исследуемых радионуклидов в атмосфере на выбранных длинах волн лазерного излучения в диапазоне концентраций $10^8 \dots 10^{15} \text{ см}^{-3}$ на трассе до 10 км. Эти результаты хорошо согласуются с полученными ранее для молекулярного йода [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке основной части Гос. Задания МОН РФ, задание № 5.7721.2017/БЧ

1. Привалов В.Е., Фотиади А.Э., Шеманин В.Г. Лазеры и экологический

мониторинг атмосферы. С.-Пб. Лань, 2013, 288 с.

2. Privalov V.E., Shemanin V. G. Lidars for Control and Measurements.// Proc. SPIE. 1998. Vol. 3345. P. 6-10
3. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Параметры лидара дифференциального поглощения для обнаружения молекулярного йода в атмосфере. //Оптический журнал. 1999. Т.66. № 2. С. 40 – 42
- 4 Воронина Э.И., Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Лидарное зондирование молекул йода при низких давлениях. //Оптика и спектроскопия. 2002. Т.93. №4. С. 699 - 701.

Лидарное зондирование молекул сероводорода в атмосфере

В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин

(Санкт-Петербург, Новороссийск)

Ранее, в работах [1 - 4] был выполнен анализ результатов лазерного зондирования молекул водорода и предельных углеводородов и получено, что лидар комбинационного рассеяния света может использоваться для дистанционного измерения концентрации молекул на уровне десятков и сотен ПДК в атмосфере. Целью настоящей работы является выбор оптимального режима работы лидара комбинационного рассеяния света для зондирования молекул сероводорода в атмосфере.

Для этого было выполнено численное решение лидарного уравнения для комбинационного рассеяния света молекулами сероводорода в направлении 180° в условиях дневного зондирования для выбора длины волны лазерного излучения, параметров лидара и получения максимальной мощности КР на фотоприемнике лидара. Лидарное уравнение для комбинационного рассеяния света исследуемыми молекулами в направлении назад было взято как и в [5]. Лазер работает с частотой следования импульсов $f=1$ кГц и для обнаружения низких уровней концентрации исследуемых молекул регистрация сигнала

ведется в режиме синхронного счета фотонов [3]. Из этого уравнения получим выражение для времени измерения T_d с помощью такого лидара.

Для нашего варианта лидара комбинационного рассеяния света оптимальной является длина волны лазерного излучения 266 нм, которая позволяет зарегистрировать концентрацию молекул 10^{13} см⁻³ за время порядка 100 с при частоте следования лазерных импульсов 1 кГц на расстоянии зондирования до 1,5 км.

Дальнейшее снижение уровня регистрируемой лидаром комбинационного рассеяния света концентрации молекул сероводорода в атмосфере для выбранного диапазона расстояний зондирования и времени измерения порядка 100 с возможно за счет увеличения частоты следования лазерных импульсов, их энергии или диаметра зеркала приемного телескопа, что и позволяет оптимально решить задачу лидарного измерения концентрации молекул сероводорода.

Работа выполнена при финансовой поддержке основной части Гос. Задания МОН РФ, задание № 5.7721.2017/БЧ

1. Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. СПб.: Лань, 2013.- 288 с.
2. Воронина Э.И., Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Зондирование молекул водорода на лабораторном лидаре КР. // Письма в Журнал технической физики., 2004. Т. 30, вып.5. С.14-17
3. Меркурьев С.В., Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Лидар комбинационного рассеяния для дистанционного зондирования серосодержащих углеводородов в атмосфере.// Письма в Журнал технической физики. 2000. Т.26. N1. С.23 –25
4. Privalov V.E., Shemanin V. G. Lidars for Control and Measurements.// Proc. SPIE. 1998. Vol. 3345. P. 6-10.
5. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Лидарное уравнение с учетом конечной ширины линии генерации лазера. // Известия РАН. Серия Физическая, 2015, том 79, № 2, с. 206–217

Множественная филаментация лазерных пучков на 150-метровой атмосферной трассе

*Д.В. Апексимов, А.А. Землянов, А.Н. Иглакова, А.М. Кабанов, О.И. Кучинская,
Г.Г. Матвиенко, В.К. Ошлаков, А.В. Петров*

(Томск ИОА СО РАН, НИ ТГУ)

Задача управления положением области множественной филаментации на протяженных атмосферных трассах является актуальной для таких задач атмосферной оптики как дистанционная диагностика атмосферных компонент с использованием методики многочастотного зондирования за счет генерации широкополосного белого свечения из области филаментации [1, 2], транспортировка через атмосферу высокоинтенсивных филаментационных и постфиламентационных каналов, эмиссионный спектральный анализ удаленных мишеней при генерации на них плазменных очагов [3 - 5].

Представлены результаты экспериментов по управлению положением и длиной области филаментации фемтосекундных лазерных импульсов на атмосферной трассе длиной 150 м с использованием различной начальной пространственной фокусировки и дефокусировки пучков различного диаметра. Получено распределение филаментов вдоль области филаментации, измерены зависимости длины области филаментации от значения числовой апертуры пучка, его начального радиуса и мощности импульса. Показано, что вариация диаметра пучка и его начальная фокусировка позволяет эффективно управлять положением области множественной филаментации на трассах масштаба сотен метров. При этом дефокусировка пучка, как инструмент удаления области филаментации от источника, имеет предельные уровни, зависящие от диаметра пучка и его мощности, превышение которых приводит к прекращению филаментации. Управляемая филаментация лазерного пучка позволяет формировать на заданном расстоянии от источника значения интенсивностей оптического поля, достаточные для индуцирования плазмы на мишенях для проведения анализа их элементного состава.

- 1 Гейнц Ю.Э., Землянов А.А., Кабанов А.М., Матвиенко Г.Г. Нелинейная фемтосекундная оптика атмосферы. / Под общей ред. А.А. Землянова. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН. 2010. 212 с.
- 2 О.А. Букин, М.Ю. Бабий, С.С. Голик и др. Лидарное зондирование атмосферы с использованием гигаваттных лазерных импульсов фемтосекундной длительности. // Квантовая электроника. 2014. Т.44. №6 С.563-570.
- 3 A.V. Mitrofanov, A.A. Voronin, D.A. Sidorov-Biryukov et al. Post-filament self-trapping of ultrashort laser pulses. // Optics Letters. 2014. V. 39(16). P.4659 - 4662.
- 4 Magali Durand, Aurélien Houard, Bernard Prade et al. Kilometer range filamentation. // Optics express. V. 21. No.22. P. 26836-26845.
- 5 Иглакова А.Н., Матвиенко Г.Г., Ошлаков В.К. и др Молекулярный и микроэлементный дистанционный анализ листьев зеленых растений. // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 11. С. 969–973.

Оптоэлектронная система предупреждения аварийных загрязнений сточных вод

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

Одной из серьёзных и глобальных проблем, стоящих перед человечеством, является загрязнение природных водоемов. Основным источником загрязнения объектов окружающей среды, в том числе поверхностных пресных и морских вод, подземных водоносных горизонтов, питьевой воды и почвы являются сточные воды. Особую опасность для экологии представляют многочисленные аварии – «залповые загрязнения», которые вызывают локальные, но очень сильные загрязнения. Одним из основных загрязнителей поверхностных вод является нефть и нефтепродукты.

Результаты исследований последствий аварийных ситуаций показали, что, в большинстве случаев они происходят из-за несовершенства действующих систем санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод. В то же время оснащение аналитической лаборатории каждой водопроводной станции сложной дорогостоящей измерительной аппаратурой нецелесообразно, вследствие длительных сроков окупаемости [1].

В связи с этим для реализации эффективной системы контроля качества воды, водоотведения, водоподготовки, работы сооружений систем очистки и подачи воды необходимо использование средств автоматического контроля, включающих систему наблюдений и аналитического контроля, проводимых регулярно, по определенной программе для оценки состояния водной среды, анализа происходящих в ней процессов и своевременного выявления тенденций ее изменения. В этом направлении при использовании оптоэлектронных систем предупреждения аварийных загрязнений сточных вод перспективно применение прогнозирования— опережающего отражения вероятности возникновения и развития аварийных ситуаций на основе анализа возможных причин ее возникновения, источника в прошлом и настоящем.

Задача распознавания состояния водной среды заключается в отнесении объекта к тому или иному классу объектов на основе прецедентной информации, заданной совокупностью объектов с известной классификацией.

В работе на основе анализа выделено 5 основных типов алгоритмов распознавания состояния объекта.

Для решения большого количества задач распознавания образов успешно используется модель алгоритмов распознавания, основанных на вычислении оценок. Данный алгоритм классифицирует объект в два этапа. На первом этапе строится вектор оценок объекта по заданным классам; на втором этапе на основе этого вектора принимается решение о зачислении объекта в тот или иной класс. Обычно объект заносится в класс, по которому получена максимальная оценка.

Оценка объекта по классу вычисляется на основе последовательного сравнения и вычисления меры сходства признакового описания объекта с признаковыми описаниями объектов обучающей выборки, принадлежащих этому классу. Метод вычисления меры сходства между классифицируемым объектом и прецедентом основан на сравнении значений различных комбинаций признаков двух объектов или, другими словами, на сравнении различных фрагментов их признаковых описаний.

В результате проделанной работы на основе выбранного алгоритма распознавания разработаны программы распознавания и предупреждения аварийных загрязнений сточных вод. Корректность работы алгоритмов и программных приложений проверена на лабораторной оптоэлектронной системе предупреждения аварийных загрязнений сточных вод. Разработанные программы позволяют оперативно отслеживать ход развития аварийной ситуации, определять тип аварии и своевременно устранять аварийные сбросы.

1. Оптические датчики контроля и мониторинга различных жидкостей, питьевой воды и сточных вод в трубопроводах в реальном режиме времени. – Режим доступа: <http://optek.com>. (05.05.2014)

Исследование смещений земной коры

с использованием GPS и лазерной интерферометрии

Яковенко С.В., Будрин С.С., Долгих С.Г., Чупин В.А., Швец В.А.

(Владивосток)

В 2007 году в ТОИ ДВО РАН введен в строй комплекс измерительных приборов для регионального мониторинга литосферных процессов [1]. На сегодняшний день полигон состоит из четырех постоянно действующих станций на территории Приморского края. Станции оснащены двухчастотными приемниками Trimble субмиллиметровой точности, работающими в системе

GPS, и лазерными дефографами, которые обладают способностью определить деформации с точностью 0,3 нм. При этом их динамический диапазон практически неограничен (для естественных процессов), а частотный находится в пределах от 0 (условно) до 1 кГц.

В данный момент основным направлением исследований, кроме проведения постоянного мониторинга, является изучение характеристик амплитудо-частотной связи деформационных процессов в ближней и дальней зонах покрытия при комплексных измерениях лазерными дефографами и средствами спутникового позиционирования на многомесячных временных интервалах.

За время функционирования комплекса был получен значительный объем данных, позволяющий сделать некоторые выводы о геодинамической активности на наблюдаемом полигоне [2]. В частности, сделаны оценки суточных вариаций длин векторов между станциями, основной вклад в которые производится литосферным и океаническим приливами. Детальное рассмотрение траекторий точек положения станций позволило установить сезонные колебательные смещения пунктов комплекса и установить норму внутригодовых изменений положения в плане каждого из пунктов. Наблюдая за этими параметрами в течение года, мы можем следить за уровнем корового напряжения, изменение которого увеличивает вероятность спонтанных геодинамических процессов. На основании отсутствия в траекториях однонаправленного движения без возвращения на исходные позиции, можно сделать благоприятный долгосрочный прогноз о геодинамической активности наблюдаемом районе, ограниченном площадью полигона.

Работа выполняется при частичной поддержке грантом ДВО РАН № 15-I-1-043.

1. Долгих Г.И., Яковенко С.В. Широкодиапазонная региональная система мониторинга литосферных процессов. // Приборы и техника эксперимента. 2007, №6. С. 142-143.
2. Яковенко С.В. Прогнозирование опасных геодинамических процессов с

использованием средств лазерной интерферометрии и спутникового позиционирования // Материалы докладов VII Всероссийского симпозиума «Физика геосфер». Владивосток, Дальнаука, 5-9 сентября 2011 г. С.291-293.

Лазерно-интерференционный измеритель градиента давления

Долгих Г.И., А.А. Плотников

(Владивосток)

При решении обратных задач современной гидроакустики, измерения векторно-фазовой структуры акустического поля оказываются более предпочтительными, чем измерения только поля давления [1]. В связи с этим уже более 60 лет ведутся работы по созданию разнообразных приемников градиента давления. Тем не менее, известные на сегодняшний день измерительные устройства данного типа далеки от совершенства и зачастую не позволяют решать современные задачи гидроакустики и океанологии. Отчасти это объясняется тем, что амплитудные элементы (пьезоэлектрические, индуктивные и т.д.) на основе которых они строятся, имеют различные недостатки, такие как: низкую чувствительность в инфразвуковом диапазоне, высокий уровень собственных шумов, малый динамический диапазон и т.д. Создание в последнее время лазерно-интерференционных измерителей [2- 6], которые не обладают вышеуказанными недостатками, стимулировало проведение работ по разработке приёмников градиента давления на лазерно-интерференционных принципах. В результате чего в ТОИ ДВО РАН был разработан и создан действующий макет однокомпонентного лазерно-интерференционного приемника градиента давления силового типа.

Прибор выполнен в виде цилиндрического корпуса, внутри которого расположены оптическая система и цифровая система регистрации. Чувствительные элементы выполнены в виде мембран и установлены в боковых крышках прибора, таким образом, что одна их сторона контактирует с водой, а

друга, покрытая светоотражающим покрытием, обращена внутрь прибора и входит в состав его оптической части, выполненной на основе двух интерферометров Майкельсона. Интерферометры предназначены для измерения давления воздействующего на их подвижные отражатели (мембраны). При этом необходимо, чтобы измерительные характеристики обоих интерферометров были строго одинаковыми. Для этого они выполнены в виде точных копий друг друга и расположены в одной плоскости. Система регистрации формирует выходные сигналы и управляет интерферометрами.

Известно [1], что для обеспечения качественных измерений размер приёмников такого типа (расстояние от одной мембраны до другой) должен быть в десять раз меньше регистрируемой минимальной длины волны. Таким образом, при длине прибора 0.6 м верхняя граница его рабочего диапазона частот будет составлять величину порядка 250 Гц. Нижняя граница рабочего диапазона частот ограничена временем измерения.

Разработанный макет имеет пороговую чувствительность порядка 10 мПа. При этом за счет применения более тонких мембран, стабилизированных по частоте излучения лазерных модулей и высокоразрядных цифроаналоговых преобразователей можно улучшить эту величину до десятков мкПа.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №16-29-02023).

1. Гордиенко В.А. Векторно-фазовые методы в акустике. М.: Физматлит 2007.
2. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалев С.Н., Швец В.А., Чупин В.А., Яковенко С.В. // ПТЭ. 2005. № 6. С. 137-138.
3. Долгих Г.И., Плотников А.А., Швец В.А. // ПТЭ. 2007. №1. С.195-160.
4. Долгих Г.И., Плотников А.А., Будрин С.С. // ПТЭ. 2011. №4. С. 161-162.
5. Dolgikh G.I., Plotnikov A.A., Budrin S.S. // Instruments and Experimental Techniques. 2011. Т. 54. № 4. С. 598-599
6. Яковенко С.В., Будрин С.С., Долгих С.Г., Чупин В.А., Швец В.А. // ПТЭ. 2016. №2. С.121-126.
7. Долгих С.Г., Будрин С.С., Плотников А.А. // ПТЭ. 2016. №3. С.147-148.

Исследование структуры морского дна лазерным деформографом в арктических условиях

В.А Чутин, Г.И. Долгих, С.Г. Долгих, С.В. Яковенко

(Владивосток)

Для изучения возможности исследования структуры морского дна в покрытых льдом акваториях без нарушения его целостности впервые применен метод с применением в качестве измерительного инструмента берегового мобильного лазерного деформографа [1, 2], позволяющего регистрировать деформации земной коры с высокой точностью в широком диапазоне частот и практически неограниченном частотном диапазоне и гидроакустического излучателя, какисточника полезного сигнала, с обеспечением его работы с ледовой поверхности. Метод исследования был ранее апробирован при проведении первых работ по изучению структуры морского дна в южной части залива Петра Великого Японского моря. Возможности метода регистрации скоростей приходящих волн, распространяющихся в осадочных слоях, по их границах и в полупространстве были показаны в публикациях [3, 4]. Проведение подобного эксперимента стало следствием утверждения о его перспективности в исследованиях дна и поиска природных ресурсов Мирового океана в условиях арктического шельфа и имеющего большое экологическое значение.

В феврале и мае 2017 года были проведены идентичные по содержанию комплексные экспериментальные работы. Для проведения эксперимента был выбран район Амурского залива Японского моря, большая поверхность которого имеет устойчивый ледяной покров в зимний период. В феврале излучение гидроакустического сигнала обеспечивалось с ледовой поверхности. Глубина моря в месте излучения составляла 15.5 м, а толщина ледового покрова в месте излучения 0,45 м. Мобильный лазерный деформограф находился на берегу. Расстояние между станциями излучения и приёма составило 3150 м. В мае эксперимент был повторен в точности расположения

пары источник-приемник с применением в качестве носителя гидроакустического излучателя научно-исследовательского судна.

В результате были проведены уникальные экспериментальные работы по излучению низкочастотных гидроакустических сигналов с морского ледового покрова и его регистрация береговым мобильным лазерным деформографом. При обработке экспериментальных данных выявлены особенности результатов анализа принимаемого сигнала методом математической свертки с контрольными данными гидрофона, зависящие от времени года и наличия льда в районе исследования. В обоих экспериментах было выявлено пять устойчивых приходов гидроакустического сигнала, трансформирующегося в сейсмические колебания, согласующимися с геологическими данными района исследований.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-29-02023 офи_м).

1. С.Г. Долгих, Г.И. Долгих, В.А. Чупин, С.В. Яковенко О применении мобильных лазерных деформографов// XXIV Международная конференция «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте – 2016. Новороссийск. 12-17 сент. 2016 г. С. 122-123.
2. Долгих С.Г., Долгих Г.И., Чупин В.А., Яковенко С.В. Применение мобильного лазерного деформографа // Фотоника. 2016. №6(60). С. 82-87.
3. В.А. Чупин, Г.И. Долгих, А.А. Пивоваров, А.Н. Швырев Бесконтактный метод исследования морского дна лазерными деформографами// XXIV Международная конференция «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте – 2016. Новороссийск. 12-17 сент. 2016 г. С. 121-122.
4. Чупин В.А., Долгих Г.И. Самченко А.Н. Неразрушающий бесконтактный метод исследования строения морского дна // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. Т. 10. № 2. С. 9-15.

Применение лазерно-интерференционных методов в геофизических исследованиях.

С.Г. Долгих, Г.И. Долгих, В.А. Чупин, С.В. Яковенко

(Владивосток)

На основе современных лазерно-интерференционных методов в ТОИ ДВО РАН создан ряд приборов для регистрации процессов и волн протекающих в различных геосферах. Созданы лазерные деформографы вертикального и горизонтального типов [1], позволяющие регистрировать вариации микродеформаций земной коры в частотном диапазоне от 0 (условно) до 10 000 Гц с точностью 0,3 нм, лазерные нанобарографы [2], позволяющие регистрировать вариации атмосферного давления в частотном диапазоне от 0 (условно) до 10 000 Гц с точностью 50 мкПа, лазерные гидрофоны и лазерные измерители вариаций давления гидросферы [3, 4], позволяющие регистрировать вариации гидростатического давления в частотном диапазоне от 0 (условно) до 10 000 Гц с точностью 50 мкПа. Все эти приборы были созданы, установлены и проверены на полигонах ТОИ ДВО РАН, СКБ САМИ ДВО РАН и других. Для регистрации микродеформаций земной коры на основе современных лазерно-интерференционных методов создан мобильный лазерный деформограф, который позволяет проводить измерения практически в любом месте установки [5]. В большинстве приборов в качестве источника света применяется частотно-стабилизированный гелий-неоновый лазер, который обеспечивает долговременную стабильность частоты 10^{-9} .

С применением данных приборов проводится изучение закономерностей генерации, динамики и трансформации колебаний и волн на границе геосфер диапазона приливов, собственных колебаний Земли, поверхностных и внутренних морских волн, краевых и инфрагравитационных волн. Так экспериментально исследованы характеристики сейшевых колебаний, приливных колебаний, поверхностных и внутренних морских волн, которые позволили ввести новое представление о физике взаимодействия волновых

полей океана с литосферой; изучены собственные колебания Земли и высказано предположение о их взаимосвязи с приливами и более низкочастотными колебаниями. Полученные результаты указывают на возможность изучения природы амплитудно-фазовых вариаций тонов и обертонов собственных колебаний Земли с помощью системы разнесённых лазерных деформографов. Теоретически и экспериментально исследованы законы зарождения, динамики и трансформации морских волн инфразвукового диапазона в упругие колебания земной коры.

1. Долгих Г.И., Валентин Д.И., Долгих С.Г., Ковалёв С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В., Фищенко В.К. Применение лазерных деформографов вертикальной и горизонтальной ориентаций в геофизических исследованиях переходных зон. // Физика Земли. 2002. №8. С.69-73.
2. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалёв С.Н., Корень И.А., Новикова О.В., Овчаренко В.В., Окунцева О.П., Швец В.А., Чупин В.А., Яковенко С.В. Лазерный нанобарограф и его применение при его изучении баро-деформационного взаимодействия. // Физика Земли. 2004. №8. С.82-90.
3. Долгих Г. И., Долгих С. Г., Плотников А. А., Чупин В. А., Яковенко С.В. Лазерный гидрофон на основе зеленого лазера LCM-S-111.// Приборы и техника эксперимента. 2013. №5. С.140-142
4. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалёв С.Н., Швец В.А., Чупин В.А., Яковенко С.В. Лазерный измеритель вариаций давления гидросферы. // Приборы и техника эксперимента. 2005. №6. С.56-57.
5. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Чупин В.А., Яковенко С.В.О применении мобильных лазерных деформографов.//Труды XXIV международной научной конференции «Лазерно-информативные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте». 2016. С. 122-123.

Широкоапертурный узел ввода излучения в оптическое волокно для лидарных сканирующих систем

И.Ф. Поначевная, А.А. Ким

(Санкт-Петербург)

Лидарная техника широко применяется в метеорологии, обеспечении безопасности полетов, гео- и экологическом мониторинге, системах автоматического управления, беспилотных транспортных средствах различных типов и многих других областях. В основе оптической схемы большинства лидаров лежит сканирующая оптическая система, выполненная на открытой оптике. Сегодня прослеживается тенденция развития лидарной техники в сторону перехода на длины волн оптического излучения в диапазоне 1.5мкм, безопасного для глаз человека. Этот оптический диапазон так же отличается тем, что большая часть схемотехнических решений оптического тракта, кроме телескопа и сканирующего узла, может быть построена на общедоступных пассивных или активных оптоволоконных компонентах. При этом массогабаритные параметры системы могут быть значительно улучшены, а надежность, устойчивость к внешним механическим и температурным воздействиям – увеличена.

Однако существует проблема стыковки и согласования сканирующего узла с оптоволоконным приемопередающим трактом, особенно ярко проявляющаяся в случаях больших частот пространственного сканирования. Малая геометрическая и числовая апертура оптического волокна не позволяют осуществить достаточно эффективный ввод принятого обратно отраженного излучения, что особенно критично при быстром сканировании, когда приемный зрачок успевает сместиться относительно обратно отраженного луча. Этот эффект, называемый инвариантом Лагранжа, значительно ограничивает не только скорость сканирования, но и дальность обнаружения объектов; строго говоря, эти параметры тесно взаимосвязаны.

Нами предложен способ согласования оптоволоконного

приемопередающего тракта со сканирующим узлом и телескопом лидара, заключающийся в установке особым образом изготовленной градиентной линзы, располагающейся непосредственно на выходе оптоволоконного приемопередающего тракта. Такая коаксиальная моностатическая схема достаточно проста в реализации и технологична, при этом позволяет осуществить более эффективный ввод излучения в оптическое волокно даже при достаточно высоких частотах сканирования.

Градиентная линза, выполненная в виде цилиндра диаметром 1.8-2мм, через стеклянную проставку стыкуется с оптическим волокном с совмещением оптических осей, при этом ее длина выбирается таким образом, чтобы обеспечить на выходе требуемую числовую апертуру, определяемую сканирующим узлом. Эффективный приемный зрачок при этом составляет, в зависимости от реализации, 0.9-1.2мм против 9-10мкм у одномодового оптического волокна.

Конструктивно решение имеет вид металлической трубки диаметром не более 3мм и длиной 20-30мм, содержащей внутри склейку градиентной линзы, стеклянной проставки и оптоволоконна, заделанного в полимерную или стеклянную втулку, при этом свободное оптоволоконно защищается полимерной оболочкой и эластичной манжетой-буфером, предохраняющей от излома в месте вклейки. Выходной торец градиентной линзы просветляется для обеспечения минимального паразитного отражения, критичного для оптических схем такого типа.

По нашим оценкам, применение такого согласующего оптического элемента позволит увеличить дальность сканирования до 10-100 раз в зависимости от реализации сканирующего узла, без уменьшения частоты сканирования.

Перспективы использования метода обратного рассеяния для измерения функции распределения частиц по размерам

Е.И. Веденин, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин

(Новороссийск)

Аэрозольные выбросы промышленного производства вносят значительный вклад в загрязнение окружающей среды, что наносит вред здоровью человека, а также приводят к потерям производимого сырья. Загрязнение окружающей среды и потери производимого сырья возрастают при возникновении сверхнормативных аэрозольных выбросов, характеризующихся превышением установленных предельно-допустимых значений массовой концентрации аэрозольных частиц в атмосферном пограничном слое нормируемых территорий. Контроль параметров аэрозольных выбросов в реальном времени позволяет минимизировать негативные последствия указанных проблем. Наиболее подходящим способом для контроля параметров аэрозольных выбросов в реальном времени является лазерное зондирование.

Как показано в [1] параметрами, позволяющими обнаруживать возникновение сверхнормативных аэрозольных выбросов являются массовая концентрация и функция распределения частиц по размерам, восстанавливать которую позволяет средний объемно-поверхностный диаметр частиц [2]. Контроль указанных параметров возможно осуществлять путем лазерного зондирования на нескольких длинах волн методом дифференциального поглощения.

Массовая концентрация рассчитывается путем измерения сигнала ослабления на одной длине волны. Для измерения функции распределения частиц по размерам необходимо осуществлять измерение как минимум на трех длинах волн. Кроме того, средний объемно-поверхностный диаметр, необходимый для расчета функции распределения частиц по размерам, определяется как отношение усредненных факторов эффективности на двух разных длинах волн, что требует априорного знания зависимости усредненного

фактора эффективности на конкретной длине волны от среднего объемно-поверхностного диаметра.

Упростить измерение функции распределения частиц по размерам возможно путем лазерного зондирования аэрозольных частиц методом обратного рассеяния (лидарным методом). Измерение сигнала обратного рассеивания на двух длинах волн позволяет рассчитывать массовую концентрацию, путем решения лидарного уравнения для двух длин волн:

$$\int_0^R C(r) dr = \frac{1}{2 \cdot \delta_0} \cdot \ln \frac{P_1(R) \cdot E_0 \cdot A_0 \cdot \sigma_0}{P_0(R) \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot \sigma_1} - \frac{1}{\delta_0} \cdot \int_0^R [k_{a1} - k_{a0}] dr \quad (1)$$

где δ_0 – сечение резонансного поглощения частиц; k_a – коэффициент ослабления атмосферы на длине волны лазерного излучения; r – радиус частиц; A – аппаратная константа; R – расстояние от точки расположения лидара до рассеивающего объема; E – энергия излучения импульса; σ – коэффициент обратного рассеяния.

Измерение сигналов ослабления на трех длинах волн измеренных методом дифференциального поглощения позволит рассчитать значение массовой концентрации исследуемых аэрозольных частиц. Одновременное измерение сигнала обратного рассеивания тех же исследуемых частиц на двух длинах волн позволит по (1) рассчитать зависимость $d\delta/d\lambda$ от $f(d_{32})$. Установленная корреляционная зависимость $d\delta/d\lambda$ от $f(d_{32})$ позволит рассчитывать функцию распределения частиц по размерам путем лазерного зондирования методом обратного рассеивания на двух длинах волн без необходимости априорного установления зависимости усредненного фактора эффективности на конкретной длине волны от среднего объемно-поверхностного диаметра.

Таким образом, одновременное измерение сигналов ослабления на трех длинах волн методом дифференциального поглощения и сигнала обратного рассеяния на двух длинах волн дает возможность рассчитать корреляционную зависимость, позволяющую восстановить функцию распределения частиц по

размерам.

Работа выполнена при финансовой поддержке основной части Гос. Задания МОН РФ, задание № 5.7721.2017/БЧ

1. Веденин, Е.И. Лазерная система предупреждения аэрозольных выбросов. /Е.И. Веденин, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин.// Безопасность в техносфере. 2014. № 5(50). С.25-31.
2. Веденин, Е.И. Изменение функции распределения частиц по размерам при различных режимах работы пылеулавливающего оборудования. / Е.И. Веденин, С.В. Половченко, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин.// Безопасность в техносфере. 2016. № 1(58). С. 41-47.

Измеритель интегрального ИК поглощения метана в воздухе

А.О. Васильев, Э.Р. Питит, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин

(Новороссийск)

Анализ воздушных выбросов, имеющих место при хранении и транспортировки нефти и нефтепродуктов показал, что воздушный поток представляет собой многокомпонентную смесь углеводородов, причем основными компонентами смеси являются предельные углеводороды ряда метан ... гексан. Для мониторинга их концентрации в воздушном потоке в реальном времени предлагается использовать ИК измеритель, с оптическим модулем, состоящим из светодиода и двух фотодиодов для реализации двухлучевой системы детектирования молекул на длине волны 3,4 мкм (2941 см^{-1}) в максимуме полосы поглощения валентных симметричных *C-H* колебаний молекул метана.

Измеритель работает следующим образом. Излучение от светодиода проходит через анализируемый газ и попадает на фотодиод измерительного канала и, отражаясь от поворотного зеркала на фотодиод опорного канала. В блок фотодиодов входит дифференциальный усилитель измерительного и опорного каналов, а также синхронные детекторы обоих каналов,

соответственно. Сигнал от светодиода и фотоприемника измерительного канала приходят на вычитающее устройство, масштабный усилитель измерительного канала и на делитель сигнала. Сигнал от светодиода опорного канала приходит на масштабный усилитель и на делитель. Выход делителя соединен с входом регистрирующего устройства, которое может быть соединено с персональным компьютером. Генератор задает частоту модуляции светодиода и управляет работой синхронных детекторов.

Для обработки измеренных сигналов ИК измерителем используется соответствующее программное обеспечение. Благодаря этому будет возможно коммутировать измеритель с ПК АСУ для получения данных для управления производством.

Работа измерителя основана на измерении спектральной прозрачности среды в измерительном объеме прибора в средней области ИК спектра поглощения, которая характеризуется оптической плотностью. Этот параметр линейно связан с концентрацией молекул, сечением поглощения этих молекул и оптической длиной пути (расстояние между излучателем и приемником). Расстояние между свето- и фотодиодами в измерителе задается конструкцией устройства и заранее установлено, а для нахождения концентрации метана, входящего в состав газового потока, также необходимо знать величины сечения поглощения молекул газов, образующих объем измеряемой смеси. Для этой задачи необходимо выполнить калибровку прибора для измерения концентраций в широком диапазоне значений.

Измеренные значения сечения поглощения молекул предельных углеводородов непосредственно используются при количественном анализе воздушного потока и расчете концентрации входящих в него углеводородов. По измеренным значениям сечения поглощения выполняются калибровочные измерения концентрации газов на реальном измерителе с последующим выбором рабочего диапазона концентраций.

Калибровка измерителя концентрации молекул метана позволяет измерить

интегральное сечение поглощения молекулы σ , которое по измеренному значению выходного сигнала измерителя

$$C = \frac{\ln \frac{1}{1 - U_{\text{вых}} K_M}}{(I_H - I_0) \sigma}$$

где K_M – коэффициент усиления масштабного усилителя опорного канала.

В результате выполненных экспериментов были измерены интегральное сечения поглощения молекул метана на экспериментальном образце измерителя и был выведен алгоритм обработки измеренного сигнала для разработки соответствующего программного обеспечения.

Работа выполнена при финансовой поддержке основной части Гос. Задания МОН РФ, задание № 5.7721.2017/БЧ

1. Васильев А.О., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Метрологическое обеспечение инфракрасного детектора выбросов углеводородов в атмосферу. //Безопасность в техносфере. 2012. №5(38). С. 19 -22
2. Васильев А.О., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Инфракрасный детектор для измерения концентрации молекул токсичных газов в воздушном потоке. Патент РФ № RU 2484450101836 С1, G01N21/35. 2013. Бюл. № 16

Аппроксимация спектров размеров частиц, полученных в результате механической активации, оптимальной функцией распределения

С.В. Половченко, В.Е. Привалов
(Новороссийск, Санкт-Петербург)

При изучении свойств дисперсных материалов, а также при разработке способов их получения и использования часто возникает необходимость в знании закономерностей распределения частиц по их размерам. Аналитическая форма записи кривых распределения практически удобнее графической и позволяет производить корректное сравнение дисперсных характеристик,

полученных разными методами дисперсионного анализа. Аналитические выражения облегчают экстраполяцию распределения, вычисление его средних характеристик. Стремление выявить закономерности распределения обусловлены также необходимостью в ряде случаев описания дисперсности порошков ограниченным набором параметров [1].

Анализ многочисленных литературных данных по гранулометрическому составу показал, что практически все природные и искусственно получаемые аэрозоли с унимодальной функцией распределения могут быть описаны с помощью либо обобщенного гамма-распределения (частные случаи: формулы Андреасена, Вейнига, Роллера, Розина-Раммлера), либо логарифмически нормального распределения (частный случай: нормальный закон распределения).

Используя объектно-ориентированный язык программирования Delphi 7.0 и различные алгоритмы определения параметров в функциях распределения, был выполнен анализ трансформированных в результате технологического процесса функций распределения частиц с целью выбора наиболее подходящих функций распределения для описания дисперсного состава аэрозоля, получаемого механической активацией.

В качестве меры адекватности использовалось значение остаточной дисперсии и коэффициент детерминированности.

Полученные результаты по различным формулам функций распределения частиц по размерам и аппроксимации 120 спектров показали, что на выходе 3-го классификатора наиболее перспективно использовать формулу Розина-Раммлера, для анализа функций распределения в остальных случаях рациональнее применить логарифмически-нормальное распределение, что подтверждается выводами академика А.Н.Колмогорова [2].

Учитывая полимодальность функции распределения готового продукта, были рассмотрены варианты аппроксимации функции суммой двух логарифмически нормальных законов распределения. Коэффициент

детерминированности в этом случае находится в пределах от 0,85 до 0,95.

Таким образом, на основе лабораторных измерений готового продукта, полученных измерителем размеров аэрозольных частиц Malvern Mastersizer 2000, и в результате выполненного моделирования была получена база функций распределения размеров частиц на всех стадиях технологического процесса [3].

Затем были рассчитаны оптические характеристики аэрозолей, описываемых соответствующими функциями распределения. Сравнение результатов полученных путем математического моделирования и экспериментальным, показало, что есть возможность по минимальному количеству измеряемых параметров решать обратную задачу лазерного зондирования аэрозольных потоков, получаемых при механической активации.

1. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. М.: Издательство литературы по строительству, 1972.
2. Колмогоров А.Н. О логарифмически-нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении.//Доклады Академии Наук СССР, 1941, т. XXXI, №2.
3. Половченко С.В., Чартий П.В. Функции распределения частиц по размерам, получаемых при механической активации в производстве цемента
Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621435 от 13 октября 2014

Решение обратных задач интегрального ослабления и рассеяния света многокомпонентными аэродисперсными потоками

В.Е. Привалов, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин

(Санкт-Петербург, Новороссийск)

Большинство обратных задач дистанционного зондирования многокомпонентных аэродисперсных потоков требует решения с интегрированием контролируемых параметров как по времени, так и по

измерительному объёму. К таким объектам, например, относятся многокомпонентные выбросы, возникающие при транспортировке и хранении нефти и нефтепродуктов, а также выбросы полидисперсных аэрозольных потоков, возникающих при производстве и транспортировке различных порошковых материалов.

Рассмотрим выбросы, возникающие при транспортировке и хранении нефти. Анализ таких углеводородных выбросов показывает, что основная их массовая доля приходится на предельные углеводороды (более 99%). Незначительную долю составляют ароматические (0,7%) и серосодержащие соединения, основная доля которых приходится на сероводород (0,06%). При этом выбросы компонентов, приведённые к их ПДК в относительных единицах, соответственно равны 1,5, 0,55, 7,5. Отсюда следует, что для экологического мониторинга необходимо измерять в выбросах и в атмосферном воздухе в первую очередь содержание серосодержащих соединений. Учитывая их малую долю в выбросе, предлагается осуществлять контроль методами дистанционного зондирования в самих выбросах покомпонентно, а в самом атмосферном воздухе, где концентрации уменьшаются на несколько порядков, контролировать наиболее массовые компоненты (предельные углеводороды), а концентрацию серосодержащих соединений измерять косвенно, учитывая постоянство их доли при рассеянии выброса в атмосфере [1].

В случае контроля в рамках обеспечения промышленной безопасности или потери углеводородов, как сырья, необходимо контролировать суммарную массовую концентрацию углеводородов, как в самих выбросах, так и в атмосферном воздухе. Анализ покомпонентного состава различных нефтей и их ИК спектров поглощения показывает, что в области длин волн среднего ИК диапазона 3,4 мкм находится значительный максимум поглощения для предельных углеводородов, что позволило поставить и решить задачу интегральной оценки массовой концентрации углеводородов нефти в выбросах и в атмосферном воздухе методом спектральной прозрачности. Для

этого было предложено выполнить зондирование предельных углеводов методом спектральной прозрачности на базе светодиод - фотодиод со спектральным максимумом, приходящимся на 3,4 мкм и шириной полосы, перекрывающей полосы поглощения предельных углеводов в этой области [2, 3].

Отдельной проблемой является решение обратных задач зондирования полидисперсных антропогенных аэрозолей. Основными характеристиками, представляющими интерес, как для экологов, так и для технологов, являются концентрация и дисперсный состав аэрозольных частиц. Широкие динамические диапазоны размеров и концентраций частиц (более 10^3) затрудняет использование дифференциальных методов зондирования. Поэтому были реализованы многочастные интегральные методы зондирования полидисперсных аэрозолей, получаемых путём механической активации минеральных веществ, на примере производства цемента. Были исследованы более сотни спектров размеров проб цемента различных партий и производителей, а также проанализирован процесс трансформации спектров размеров частиц в аэродинамических классификаторах. Были установлены корреляционные связи между параметрами распределения, позволяющие по измеренному значению среднего объёмно-поверхностного диаметра частиц восстанавливать функции распределения их по размерам. Все расчёты были выполнены на основе теории Ми. Были проведены исследования аэродисперсных потоков, получаемых в лабораторных условиях, позволяющих подтвердить возможность решения обратных задач интегрального лазерного зондирования полидисперсных аэрозолей и реализовать контроль в реальном времени дисперсного состава и концентрации этих аэрозолей для решения экологических и технологических задач.

Таким образом, показано, что использование корреляционных связей между параметрами распределения компонентов в выбросах при оптимальном выборе спектральных характеристик излучателей и фотоприёмников позволяет

решить обратные задачи зондирования многокомпонентных потоков интегральными методами.

Работа выполнена при финансовой поддержке основной части Гос. Задания МОН РФ, задание № 5.7721.2017/БЧ

1. Привалов В.Е., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Дифференциальная схема лидарного детектирования ультрамалых концентраций серосодержащих углеводородов. //Экологические системы и приборы. 2002. № 3. С. 23.
2. Васильев А.О., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Метрологическое обеспечение инфракрасного детектора выбросов углеводородов в атмосферу. //Безопасность в техносфере. 2012. № 5. С. 19-24.
3. Васильев А.О., Шеманин В.Г., Чартий П.В. Мониторинг выбросов углеводородов при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов. //Безопасность в техносфере. 2011. № 5. С. 3-7.
4. 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. 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. С. 41-47.

СЕКЦИЯ Д-5 – ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Техносферная безопасность:

анализ опасностей, риск-ориентированный подход

М.Н. Чура, Н.Н. Чура

(Новороссийск)

Понятие «Техносферная безопасность» (ТБ) является производным от философско-социологической «техносферы» как части преобразованной людьми оболочки Земли (биосферы) и в этом смысле используется в работах философского характера либо, в полной трактовке, в образовательных документах одноимённого направления подготовки. В основе последних лежит федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования «Техносферная безопасность», утв. пр. Минобрнауки РФ № 246 от 21.03.2016 г. (ФГОС 3+), который, не раскрывая содержания ключевого понятия (ТБ), приводит характеристики области и объектов профессиональной деятельности выпускников бакалавриата. Введенный в действие в марте 2017 г. межгосударственный стандарт системы стандартов безопасности труда – ГОСТ 12.0.004-2015, в своём пояснении терминологии ТБ, лишь устанавливает основные сферы профессиональных интересов, не выходя при этом за рамки образовательного процесса:

«ТБ – наиболее общее название направления высшего профессионального образования, устанавливаемое национальным законодательством в области образования, включающего сферы охраны труда, безопасности производства, безопасности жизнедеятельности человека и т.п.».

К сожалению, данное понятие (ТБ), несмотря на важность и практическую значимость в современном мире, на законодательном уровне вообще не закреплено. Следствием этого является почти полное отсутствие ТБ как термина, в каких бы то ни было «поствузовских» документах и в деловом мире в целом. Именно отсутствие нормативной основы оставило этот термин вне круга общения, как в среде специалистов, так и на обиходном уровне. Можно

привести пример, когда руководитель отдела промышленной безопасности крупного регионального предприятия в ответ на предложенное нами название «Техносферная безопасность» лишь пожимает плечами и, в то же время, не может пояснить логичных причин принадлежности к своему отделу группы специалистов по экологической безопасности. Если специалист со стажем не может самостоятельно разобраться в современной структуре профессиональной подготовки, что можно говорить об абитуриентах и родителях поступающих на это новое и, несомненно, перспективное университетское направление подготовки?

Вместе с тем, действующий стандарт ФГОС 3+ и ход работ по его модернизации (проект ФГОС 3++), ориентированный на связь с соответствующими профессиональными стандартами, регламентируют задачи (требования, компетенции), среди которых – анализ опасностей техносферы. Анализ опасностей является крупным комплексом задач для специалиста в области ТБ, составляя основу его профессиональной подготовки, поскольку безопасность – категория сопоставительная. То есть, если нет опасностей – вопросы безопасности не стоят на повестке дня. И ещё, мы говорим: изучайте опасность, она всегда абсолютна (по крайней мере, может быть измерена); безопасность же всегда относительна, поэтому её уровень для конкретного реципиента (объекта защиты, воспринимающего опасность) – это поле деятельности как раз для нашего специалиста. Здесь много интересных и пока не решенных вопросов теории и практики. Можно добавить, что к настоящему времени этот комплекс выделился в самостоятельную науку и учебную дисциплину – ноксологию (наука об опасностях материального мира Вселенной). Вспомним Н. Реймерса: «Каждая наука – дитя нужды. Она исполняет социальный заказ, а затем обретает учение!».

Анализ опасностей может являться самоцелью исследования, а может быть основой оценки риска, тогда идентификация опасностей (их учет, описание и предварительное ранжирование) является первой из ряда обязательных

процедур. Руководствами по безопасности установлены и широко используются на практике методы анализа опасностей (Hazard Analysis): методы проверочного листа, «Что будет, если...?», анализ видов и последствий отказов, методы дерева отказов и дерева событий и др. Наиболее перспективным направлением в промышленной безопасности является риск-ориентированный подход. Помимо того, что методология оценки риска широко применяется в целях обоснования безопасности и определения её уровня, риск-ориентированный подход получил новое назначение – в качестве метода организации и осуществления государственного контроля (надзора). Метод имеет законодательную основу (закон от 26.12.2008, № 294-ФЗ (ред. от 03.07.2016, № 277-ФЗ), при этом ключевой вопрос – выбор интенсивности (формы, продолжительности, периодичности) проведения мероприятий по контролю и профилактике нарушений зависит от определенной категории риска либо определенного класса опасности производственных объектов. Новым в категорировании объектов по классам опасности здесь является необходимость учета оценки вероятности несоблюдения соответствующих обязательных требований (человеческого фактора).

И ещё об одной новинке в риск-ориентированном подходе. В июне 2017 г. введен в действие национальный стандарт РФ серии Безопасность в ЧС – «ГОСТ Р 22.10.02-2016 Менеджмент риска ЧС. Допустимый риск ЧС». В преамбуле документа отмечается, что индивидуальный риск ЧС считается недопустимым, если он более чем в 10 раз превышает допустимый индивидуальный риск ЧС. Отмечается, что риск ЧС техногенного характера включает пожарный риск. При этом величины допустимого индивидуального риска ЧС имеют территориальную привязку и определены для субъектов РФ. Так для Краснодарского края этот показатель равен $6,53 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹, что соответствует примерно 36 погибшим при ЧС в год. Для Московской и Ленинградской областей риск равен $1,29 \cdot 10^{-5}$ и $2,78 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹ соответственно. Наиболее высокий риск имеют жители Сахалина – $1,75 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹.

Исследование процесса фильтрования при изменении геометрических характеристик наполнителя и технологических параметров слоёв запылённого потока

В.Н. Пахотин

(Новороссийск)

Каждый из основных параметров фильтрующего слоя (конечная запыленность, гидравлическое сопротивление) - зависит от совокупного действия целого ряда факторов. Для того, чтобы результаты исследований на лабораторных моделях можно было перенести на промышленные образцы желательно получить математическую модель процесса обеспыливания в критериальной форме, с помощью обобщенных переменных - критериев подобия, представляющих собой безразмерные комплексы, которые отражают совместное влияние совокупности физических величин.

Исследования были проведены на основе применения метода планирования эксперимента. Задачей этих исследований являлось получение критериальных уравнений процесса фильтрования для зернистого фильтра с одним слоем и на основе этих уравнений методом динамического программирования или перебора большого количества вариантов найти оптимальные конструктивные параметры и режим работы фильтра для различных входных условий.

Чтобы иметь возможность создания математической модели фильтра с любым количеством слоев и с любыми параметрами каждого слоя, было решено провести исследование на одном слое, но варьировать параметры в широком диапазоне.

Параметрами оптимизации, контролируемые на выходе из слоя были приняты конечная запыленность (Z_K , г/м³), гидравлическое сопротивление (ΔP , Па) и средний медианный размер фракций пыли (δ_c , мкм).

Управляемыми факторами в эксперименте являлись: U - скорость фильтрования, $\frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$; Z_H - начальная запыленность воздуха, г/м³; d - диаметр зерен слоя, мм; H - высота слоя, мм; δ_H - средний медианный размер частиц на входе в слой, мкм; t - время цикла фильтрации, мин.

Проведение опытов осуществлению с помощью комбинаторного плана $4 \times 4 \times 3$. Управляемые факторы варьировались на четырех уровнях. В качестве плана для них

была использована реплика высокой дробности от полного факторного эксперимента: гипер-греко-латинский квадрат 4×4 . Этот план был повторен трижды на каждом уровне фактора d .

После обработки методом Брандона был получен ряд зависимостей в критериальной форме, описывающих процесс фильтрования зернистой средой.

Зависимость между относительной величиной проскока и влияющими на нее безразмерными комплексами имеет вид:

$$\frac{Z_K}{Z_H} = \frac{-0,4 - 0,63 \ln d + 0,23 \ln \delta_H + 0,36 \ln d \ln \delta_H}{1 + e^{2,8 - 0,0027 \frac{Ut}{H}}} \quad (1)$$

Зависимость между безразмерными медианным диаметром частиц с влияющими на него безразмерными комплексами определится по уравнению:

$$\frac{\delta_K}{\delta_H} = \left(0,79 + 0,47 \frac{U \delta_H}{\nu} \right) \left[0,97 - \frac{0,86}{10^6} \frac{Ut Z_H}{\rho d_0} + \frac{1,23}{10^{12}} \left(\frac{Ut Z_H}{\rho d_0} \right)^2 \right] \cdot 1,4 \left(\frac{d}{H} \right)^{0,11} \quad (2)$$

где δ_K - средний медианный размер частиц на выходе из слоя, мкм; ν - кинематическая вязкость воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$; d_0 - эквивалентный диаметр площади фильтра; ρ - плотность пыли, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Зависимость между гидравлическим сопротивлением и влияющими на него безразмерными комплексами имеет следующий вид:

$$\frac{\Delta P}{U^2 \rho_B} = 0,37 \cdot 10^{-5} \left(\frac{d}{H} \right)^{-0,79} e^{0,16 \sqrt{Z_H}} (\delta_H U)^{-0,34} \quad (3)$$

где ρ_B - плотность воздуха с учетом находящееся в нем пыли, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Полученные формулы (1, 2, 3) сложны для практических расчетов. Поэтому для упрощения определения основных технических показателей по упомянутым выше уравнениям желательно построить соответствующие графические зависимости.

Обработка водяного балласта на портовых сооружениях

К.А. Балакирева, И.Г. Береза

(Новороссийск)

С началом действия в сентябре 2017 года «Международной конвенции о контроле судовых балластных вод и осадков и управления ими» (BWM) [1] вступает в силу правило D-2 Конвенции, в соответствии с которым сброс балластных вод в акватории порта может быть осуществлен в соответствии с биологическим стандартом качества.

Предусматривается, что достижения стандарта качества водяного балласта, указанного в правиле D-2, достигается либо судовой обработкой балластных вод, либо возникает необходимость сдавать последние на портовые сооружения очистки.

В правиле D-2 Конвенции указан биологический стандарт качества для сброса балластных вод, но не предписываются методы обработки, которые должны быть использованы для достижения этих требований.

В соответствии с правилом В-3.6 Конвенции Комитетом по охране морской среды ИМО было разработано Руководство по приемным сооружениям для балластных вод (P5). Как следует из Руководства, «...при рассмотрении требований относительно этих сооружений необходимо учитывать многие факторы...» и, в первую очередь, «региональное, национальное и местное законодательство, которое касается сооружения...».

В настоящее время в Российской Федерации технологии очистки загрязненных вод, сбрасываемых в поверхностные водоемы, разрабатываются в соответствии со сводами правил СП 32.13330.2012 [2] и СП 31.13330.2012 [3]. Условия сброса очищенной воды в поверхностные водоемы регламентированы «Водным кодексом РФ», в соответствии с которым Черное и Балтийское моря относятся к водным объектам рыбохозяйственного назначения высшей категории с определенными нормативами сброса [4].

На кафедре «Техносферная безопасность на транспорте» ГМУ им. адм.

Ф.Ф. Ушакова в 2016 г. был проведен цикл первичных исследований по определению гидрохимических показателей загрязнений в исходной воде – в судовом водяном балласте. В процессе работы были исследованы балластные воды судов, пришедших из следующих регионов: Средиземное (~ 60 %), Чёрное, Азовское, Каспийское моря.

Сравнительный анализ полученных данных и нормативных характеристик очищенной воды, предопределяет следующий состав очистных сооружений (оборудования) береговой обработки судового водяного балласта:

– по первому варианту – 2-х ступенчатое фильтрование, УФ – обеззараживание;

– по второму варианту – фильтрование, озонирование.

С целью определения технологических параметров процесса фильтрования водяного балласта (первая стадия очистки) на кафедре была создана пилотная модель песчанно-гравийного фильтра.

В результате цикла экспериментальных исследований была установлена целесообразность применения данного метода в качестве первой ступени обработки водяного балласта, определены оптимальные параметры процесса.

В настоящее время в лаборатории университета продолжают исследования качественного состава исходных балластных вод, а также создаются пилотные образцы очистных сооружений. При создании опытных образцов очистных установок учитываются рекомендации Руководства по приемным сооружениям для балластных вод (P5), а, именно, «... поощрение единообразной во всемирном масштабе взаимосвязи между такими сооружениями».

Реализация очистного комплекса возможна либо на стационарных береговых сооружениях, либо как модульная установка системы очистки балластных вод, размещенная на транспортном средстве.

1. International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments/International Maritime Organization. – 2004. – Vol. 36

2. Свод правил: СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85: нормативно-технический материал. – Москва: 2012. – 92 с.
3. Свод правил: СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84: нормативно-технический материал. – Москва: 2012. – 128 с.
4. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 31.10.2016) // Режим доступа: [Консультант плюс].

Состояние фитопланктона прибрежных вод г. Новороссийска в условиях антропогенного воздействия

Т.К. Новикова, А.М. Стихова, Т.Г. Жмырко, К.В. Очеретянная, А.З. Дегерли
(Новороссийск)

Прибрежные воды г. Новороссийска подвержены сильному загрязнению. Наибольший ущерб экологическому состоянию морских прибрежных вод наносят нефтяные загрязнения, промышленные и бытовые канализационные стоки. Загрязнение нефтепродуктами морских вод вызывает многообразные и глубокие изменения в составе морских биоценозов и даже во всей фауне и флоре морских экосистем. Это обусловлено физико-химическими свойствами самой нефти, которая весьма сложна по своему составу и может отдать в воду вещества в различных агрегатных состояниях: твёрдом, жидком, газообразном. Часть её компонентов оседает на дно, часть находится в виде суспензий и эмульсий в толще воды, а часть – в молекулярно-растворённом состоянии.

Следствием этого является обвальное снижение биомассы водорослей, морских животных, а также гибель видов с узким коридором толерантности к интоксикации нефтью (таковых видов в экосистемах Черного моря большинство). Исчезновение фитопланктона может привести к полному разрушению пищевых цепей в морских прибрежных водах.

Целью данной работы является изучение фитопланктона морских прибрежных вод г.Новороссийска в условиях антропогенного воздействия.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Определить видовой состав основных отделов фитопланктона прибрежных вод г. Новороссийска;
2. Проследить изменение качественного и количественного составов фитопланктона на протяжении времени исследования;
3. Выявить влияние антропогенной нагрузки на распространение фитопланктона.

Пробы фитопланктона отбирались в трех точках акватории Новороссийской бухты: порт, Западный мол, мыс Любви, и в прибрежных водах Южной Озереевки.

В результате исследований в составе фитопланктона обнаружены представители четырех отделов фитопланктона. Флористический состав планктонных водорослей насчитывает 39 видов, из которых 28 составляют диатомовые, 9 – динофитовые и по одному виду золотистых и эвгленовых.

По вкладу отдельных групп водорослей в общую численность и биомассу фитопланктон можно отнести к диатомово-динофитовым (от 41 до 100 % от суммарного числа клеток), так как эти группы водорослей здесь разнообразны флористически и количественно преобладают. Высокое биоразнообразие отмечается у диатомовых водорослей, в связи с их широкой эвритермностью и эвригалинностью.

По результатам работы сделаны следующие выводы:

1. Видовой состав фитопланктона прибрежных вод г.Новороссийска включает в себя 39 видов, относящихся к четырем систематическим отделам. Наибольшее число видов насчитывают отделы *Bacillariophyta*(28 видов) и *Dinophyta*(9 видов), один вид относятся к отделу *Euglenophyta* и один вид – к отделам *Chrysophyta*.
2. Диатомовые водоросли составляют 72 % от общего числа видов,

динофитовые - 23 %, эвгленовые и золотистые - по 2,5 %, каждый.

3. Наименьшие значения численности и биомассы фитопланктона были зарегистрированы в точке порт акватории Новороссийской бухты и составили соответственно 4,3 млн. кл/м³ и 27,2 мг/м³, а наибольшие – в прибрежных водах Южной Озереевки и составили соответственно 23,0 млн. кл/м³ и 218,9 мг/м³. Полученные результаты свидетельствует об антропогенном загрязнении акватории Новороссийской бухты в районе порта.

1. Аннотированный каталог водорослей. /Под ред. Ю.Е. Петрова. М.1998. 224 с.

2. Антипина Г.С. Водоросли. Петрозаводск: 1992. 112 с.

Пути развития технологий по снижению загрязнения атмосферы с судов при плавании в зоне SECA

Д.А. Давыдов, В.А. Туркин

(Новороссийск)

С 1 января 2015 года вступило в силу Приложение VI MARPOL 73/78 по вопросу ограничения выбросов продуктов сгорания в атмосферу, которое определяет предел содержания серы в судовом топливе на уровне 0,1% при плавании в районах SECA.

Зонами SECA стали акватории Северного и Балтийского морей, пролива Ла-Манш, прилегающие к Западному и Восточному побережьям Северной Америки, а также к Карибским островам.

К 2020 году планируется ввести мировое ограничение по выбросам серы (SO_x)– 0.5% , а так же расширить границы SECA зоны за счёт Средиземного и Черного морей, а также Азиатского региона.

Новые ограничения на выбросы судовыми двигателями ставят судовладельцев перед выбором возможных вариантов решения проблемы:

- 1) Использование низкосернистого морского топлива;
- 2) Установка скрубберов;
- 3) Рециркуляция отработавших газов;

- 4) Использование сжиженного газа в качестве судового топлива;
- 5) Использование биогаза.

Вышеперечисленные способы снижения выбросов в атмосферу уже применяются на судах и, несмотря на достигнутый положительный результат, продолжают модернизироваться. Рассмотрим некоторые из них:

Установка скрубберов системы PureSOx.

Система PureSOx Alfa Laval удаляет оксиды серы из выхлопных газов судовых двигателей за счет мокрой очистки с помощью морской или пресной воды. Система PureSOx позволяет продолжить использование тяжелого топлива вместо его замены более дорогим судовым дизельным топливом, обеспечивая при этом полное соответствие строгим требованиям Международной морской организации в области регулирования выбросов оксидов серы.

Кампания Alfa Laval сконструировала гибкую гибридную систему, которая позволяет использовать как морскую, так и пресную воду. В водах, имеющих низкую щелочность, гаванях и устьях рек система использует замкнутый цикл работы на пресной воде. В этом режиме образуется лишь незначительное количество шлама, который утилизируется как обычный шлам, образующийся в двигателях.

Для минимизации энергопотребления расход воды автоматически корректируется в соответствии с режимом работы двигателя. Также расход воды корректируется в соответствии с содержанием серы в топливе. Конструкция PureSOx имеет возможность модернизации, которые учитывают возможные изменения законодательства в будущем.

Преимущества гибридной системы: 1) В открытом море работает на морской воде, что обеспечивает снижение расходов и упрощает эксплуатацию; 2) Нулевой выброс - при необходимости в некоторых портах, устьях рек или особо охраняемых зонах; 3) Максимальная экономия топлива достигается за счет отказа от перехода с использования высокосернистого топлива на низкосернистое.

Производство биогаза. Является наиболее выгодным решением для прибрежного судоходства европейских стран.

В шведском городе Гетеборг, было открыто предприятие “Goteborg Energi GoBiGas”, которое производит биогаз на основе отходов древесины. Предприятие по производству биогаза, использует в качестве сырья отходы, которые поставляются лесозаготовительными и деревообрабатывающими предприятиями, с которыми заключены соответствующие соглашения.

Сначала первичное топливо проходит процесс газификации, который начинается в сушилке. Из сушилки биомасса поступает в газификатор, где происходит непрямая газификация с помощью пара. Необходимое для этого тепло вырабатывается в процессе сгорания. Процесс очистки начинается с удаления смол. Чтобы довести биогаз до степени чистоты природного газа, его подвергают метанизации, в ходе которой происходит вторичная очистка от остатков смол, удаление, собственно метанизация и окончательное осушение. После окончательной очистки и метанизации газ поступает в газохранилище Goeteborg Energi и затем - в распределительную сеть.

Опираясь на показатели рассмотренных технологий, можно сделать заключение о том, что в перспективе, они могут стать одними из рациональных путей развития в своих отраслях.

Экологическая безопасность на судах

Н.А. Страхова Н.А., Н.С. Дырдин

(Новороссийск)

Повышенные требования к экологической безопасности судов способствуют постановке и решению конструктивных задач на стадии проектирования судов и судовых энергетических установок (СЭУ) и систем, связанных с уменьшением электрических потерь в процессе эксплуатации и технического обслуживания СЭУ, оценкой экологической безопасности в зависимости от типов энергетических установок, созданием систем для обезвреживания балластных вод, токсичных газов и пр.

Можно отметить, что оценка экологической безопасности не имеет однозначного решения, поскольку под экологической безопасностью

понимается процесс обеспечения защиты окружающей среды от вредного воздействия антропогенных факторов, возникающих при эксплуатации судна. Например, норма расхода топлива СЭУ и его качество (содержание серы) является основной исходной базой для расчета экологического ущерба от загрязнения атмосферного воздуха.

Наибольший вклад по экологической безопасности морского судоходства внесла Международная Морская Организация (ИМО). Из-за растущих фактов ущерба от появления чужеродных водных организмов ИМО разработала и представила в 2004 году «Международную конвенцию о контроле судовых балластных вод и осадков и управления ими». Документ вступает в силу 8 сентября 2017 года.

Для предотвращения внесения нежелательных видов биологических организмов в существующие экосистемы Конвенция предписывает наличие на судах специальных систем для обработки балластных вод, обеспечивающих требуемую минимальную концентрацию жизнеспособных нежелательных организмов и микробов в сбрасываемых балластных водах в соответствии со стандартом качества балластных вод D-2.

Как показал обзор, ведущие российские и зарубежные производители систем управления и очистки балластных вод на судне отдают предпочтение технологиям без использования химических реагентов. Как показала практика, ультрафиолетовая обработка балластной морской воды отличается высокой эффективностью при обеззараживании соленой воды, содержащей разнообразные микроорганизмы. Известная система управления и очистки балластных вод PureBallast 3.0 [1] включает реактор-камеру, в которой происходит воздействие УФ-излучением. Под воздействием УФ-обработки микроорганизмы уничтожаются непосредственно излучением или же теряют способность к размножению в результате повреждения их ДНК и биологической структуры. Высокая эффективность биологического воздействия в системе PureBallast достигается за счет использования

усовершенствованной технологии окисления, в результате действия которой внутри рабочей камеры создаются свободные радикалы, необратимо повреждающие клеточные мембраны. Система обработки балластных вод GLOEN-PATROL Panasia представляет собой комбинированную систему очистки балластных вод, сочетающую преимущества фильтрации и УФ-облучения [2]. Фильтр удаляет микроорганизмы размером более 50 мкм, что способствует снижению образования осадка в балластных танках, а микроорганизмы размером менее 50 мкм дезинфицируются УФ облучением.

Вступление в силу документа Международной конвенции ИМО по контролю и управлению судовыми балластными водами должно предотвратить внесения нежелательных видов биологических организмов в существующие экосистемы.

1. Система PureBallast 3.0 – лидер в области технологий очистки балластных вод // Морская биржа. 2013. № 2(44), Судоходство. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.maritimemarket.ru/index.phtml>
2. Системы обработки балластных вод GLOEN-PATROL Panasia [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.kron.spb.ru/products/sistemy-obrabotki-balastnyh-vod/>

Обзор мероприятий, позволяющих снизить выбросы загрязняющих веществ судовыми дизелями

Р.Ю. Атласов, В.А. Туркин

(Новороссийск)

С целью снижения содержания оксидов азота NO_x в отработавших газах судовых дизелей и обеспечения требований Международной Конвенции МАРПОЛ 73/78 для судов постройки начиная с 1 января 2016 года, компания «MAN D&T» применила систему электронного управления двигателем, которая обеспечивает регулирование рабочего процесса: угол опережения подачи

топлива, открытие выхлопного и пускового клапанов, подачу цилиндровой смазки. Преимущества, по сравнению с предыдущей моделью МС, модели МЕ имеют следующие: оптимизация подачи топлива в более широком диапазоне нагрузок; большая эффективность работы на долевых нагрузках; возможность работы двигателя на двух типах топлива (Dual fuel engines): углеводородном жидком топливе и натуральном газе, резко снижающих содержание SO_x на 92%, NO_x на 13%, CO_2 на 23% в отработавших газах по сравнению с предыдущей моделью. Также применяются следующие методы для улучшения экологических показателей двигателей МЕ: VTA (variable turbine area) – изменяемая площадь соплового аппарата турбины турбокомпрессора; EGB (exhaust gas by-pass) – байпасирование отработавших газов; EGR (exhaust gas recirculation) – рециркуляция отработавших газов, применяется для уменьшения выбросов NO_x ; SCR (selective catalyst reduction) – система каталитической обработки отработавших газов с целью снижения содержания NO_x .

Одним из средств улучшения экологических показателей работы двигателя является повышение степени сжатия, что позволяет быстро снижать температуру после воспламенения топлива с соответствующим снижением эмиссии NO_x , однако одновременно происходит и незначительное увеличение удельного расхода топлива.

Исследования фирмы Wartsila на двигателе, работающем по циклу Дизеля, показали, что уменьшение угла опережения подачи топлива в направлении «запаздывания» позволяет уменьшить степень нарастания давления от точки конца сжатия до максимального давления сгорания; уменьшить содержание оксидов азота в отработавших газах; уменьшить температуру выхлопных газов, но при этом получить увеличение удельного расхода топлива за счет сравнительно высокой температуры цикла. Если впрыск топлива производить с большой задержкой, то можно обеспечить очень низкую эмиссию NO_x .

Главным недостатком рабочего процесса дизеля, приближенного к изобарному сгоранию топливовоздушной смеси, остается высокая температура

цикла, способствующая повышенной эмиссии токсичных компонентов в отработавших газах. Этот недостаток можно компенсировать торможением процесса сгорания для уменьшения максимальных значений температуры рабочих газов. Торможение процесса сгорания можно обеспечить: 1) приближением фаз газораспределения к фазам цикла Миллера с ранним закрытием впускного клапана. Этим можно увеличить массу остаточных газов, чем достигается снижение максимальной температуры цикла, так как уменьшается масса свежего заряда и, следовательно, количество подведенной теплоты сгорания топлива. Вследствие разбавления смеси нейтральными продуктами сгорания замедляются реакции окисления топлива и уменьшаются рабочие значения температуры цикла и содержание NO_x в отработавших газах; 2) изменением фаз газораспределения, уменьшением угла перекрытия клапанов уменьшается продувка цилиндра и происходит увеличение количества отработавших газов в цилиндре двигателя; уменьшается наполнение цилиндра свежим воздухом, необходимым для сгорания топлива; 3) рециркуляцией отработавших газов из выпускного коллектора двигателя во впускной.

Снижение выбросов парниковых газов судовыми энергетическими установками методом их адсорбции твердым веществом

Г.В. Игнатенко, В.А. Туркин

(Новороссийск)

Наибольший вклад в глобальный объем антропогенных выбросов дает сжигание углерод содержащего ископаемого топлива на энергетические нужды и нужды транспорта. Поэтому главная роль в снижении антропогенных выбросов парниковых газов отводится энергетике и транспорту (в том числе и водному транспорту), энергосбережению и повышению энергоэффективности, развитию возобновляемых источников энергии, а в перспективе улавливанию и захоронению CO_2 , образующегося при сжигании топлива на энергетических

установках. Охватывая почти 30% общего энергопотребления и отличаясь самым быстрым ростом потребления энергии, транспортный сектор представляет собой опасность для локальной окружающей среды и является источником выбросов парниковых газов и одним из ключевых факторов зависимости государств от импорта ископаемого топлива. Для разрешения данной проблемы крайне необходимо предпринять меры, касающиеся использования различных видов транспорта и продвижения более экологичного альтернативного транспорта.

Для снижения выбросов CO_2 морскими судами предлагается в качестве фильтров – поглотителей CO_2 использовать систему очистки газообразных выбросов судовой энергетической установки от диоксида углерода путем использования механизма их адсорбции твердым веществом [1].

В основе работы предлагаемого устройства лежит использование гранулированной шлаковой пемзы в качестве адсорбента вредных компонентов выхлопных газов и озона в качестве окислителя для ускорения процесса очистки. Ввиду высокой реакционной способности озона происходит окисление значительной части монооксидов азота NO , содержащихся в выхлопных газах, до диоксидов NO_2 ; диоксидов серы SO_2 – до серного ангидрида SO_3 ; монооксида углерода CO – до диоксида углерода CO_2 . Поток выхлопных газов, многократно попадая на поверхность и внутрь гранул, очищается от вредных примесей NO_x , SO_x , CO_x , которые оседают на поверхности и внутри гранул.

Шлаковая пемза, изготовленная из основных металлургических шлаков, представляет собой материал с высокопористой механически прочной структурой (прочность на сдвливание до 2,7 МПа), состоящий из оксида кальция, оксида кремния, оксида алюминия и частично из оксида магния (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , MnO) с модулем основности $M > 1$. Высокое значение модуля основности придает гранулам шлаковой пемзы основные свойства, позволяющие сорбировать на их поверхности вещества, обладающие кислыми свойствами, к которым относятся и вредные примеси, которые присутствуют в

отработавших газах (NO_x , SO_x , CO_x), а высокая пористость их структуры позволяет использовать гранулы шлаковой пемзы в качестве эффективного звукопоглощающего материала. Кроме того, исходя из своего состава, гранулы шлаковой пемзы устойчивы к коррозионному воздействию кислых компонентов выхлопных газов, широко доступны и дешевы. Для повышения скорости адсорбции и, соответственно, уменьшения объема шлаковой пемзы в предлагаемом устройстве производится предварительное окисление вредных компонентов выхлопных газов – оксидов азота, оксидов серы и оксидов углерода (NO_x , SO_x , CO_x) до NO_2 , SO_3 , CO_2 , у которых кислые свойства более высокие, чем у оксидов, активным окислителем – озоном.

1. Комплексное устройство для очистки выхлопных газов судового двигателя: пат. 2536749 Рос. Федерация, МПК F01N 3/08 / Туркин А.В., Туркин В.А., Ежов В.С.; опубл. 27.12.2014, Бюл. № 36. – 8 с.

Использование водотопливных эмульсий для снижения концентрации загрязняющих веществ в отработавших газах судовых дизелей

Д.А. Корниенко, В.А. Туркин

(Новороссийск)

Двигателестроительные корпорации MAN Diesel & Turbo SE и Mitsubishi с целью сокращения выбросов загрязняющих веществ от судовых дизелей широко используют водотопливные эмульсии (ВТЭ) [1]. Учеными отмечено, что с уменьшением диаметра частиц воды в ВТЭ, уменьшается концентрация оксидов азота в отработавших газах, но одновременно с этим увеличивается удельный эффективный расход топлива

Водотопливная эмульсия является особым видом топлива, качественно и количественно изменяющего процесс горения. Содержащиеся в топливе высокодисперсные частицы водной фазы при прогреве в цилиндре превращаются в паровые пузырьки, мгновенно дробящие топливные капли на

мельчайшие частицы, которые быстрее прогреваются и интенсивнее взаимодействуют вначале с кислородом, образующимся в результате диссоциации воды, воспламеняются, и, перемешиваясь с кислородом воздушного заряда, ускоренно сгорают.

Добавление к топливу 5-10% воды ускоряет процесс сгорания в 5-6 раз. Расширение дополнительных продуктов сгорания увеличивает работу газов в цилиндре двигателя. Благодаря более полному и ускоренному сгоранию топлива, постоянной газификации отложений углерода, детали цилиндро-поршневой группы, газовыпускного тракта не загрязняются продуктами сгорания, меньше подвержены абразивному износу. Повышение степени дисперсности остаточных фракций, расщепление углеводородных молекул под воздействием кавитации на более легкие фракции, интенсивное перемешивание многокомпонентной среды в высокотурбулентных вихрях способствует ускорению реакции горения, что позволяет компенсировать влияние ароматических углеводородов на задержку самовоспламенения топлива. С переводом рабочего процесса судовых дизелей на водотопливную эмульсию с водосодержанием 17-20% расход топлива сокращается на 12%, эмиссия окислов азота NO_x – на 30-40%, сернистого ангидрида SO_2 – на 50%, сероводородов H_2S – на 50%, несгоревшие углеводороды отсутствуют. С повышением эффективности использования топлива температура уходящих газов снижается на 8-10 °С, соответственно уменьшается теплонапряженность деталей цилиндро-поршневой группы, расход высоковязкого обезвоженного топлива уменьшается на 5%.

При решении вопроса о переводе дизельной установки судна на ВТЭ целесообразно учитывать степень форсирования двигателей, сорт применяемого топлива и условия эксплуатации судна. Оптимальная концентрация воды в ВТЭ для двигателей со средним эффективным давлением до 1,0 МПа, как правило, не рекомендуется выше 15–20 %. Для более форсированных двигателей она может достигать до 30–40 % в зависимости от

требований, предъявляемых к содержанию вредных веществ в отработанных газах и к экономичности двигателя. Эмульсия может готовиться как непосредственно перед использованием топлива в двигателе, так и при заполнении расходного бака топливом. Определяющими в этом случае являются свойства применяемых топлив и наличие эмульгирующих присадок.

Таким образом, варьируя концентрацию воды в ВТЭ, присадки, возможности топливной аппаратуры, можно разработать рекомендации по применению ВТЭ в любых условиях эксплуатации каждого конкретного судового дизеля.

1. Патров Ф.В., Вахромеев О.С. Снижение концентраций оксидов азота в отработавших газах судовых дизелей при использовании водотопливных эмульсий // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. 2010, №1.

Особенности экспериментального определения концентрации вредных веществ в отработавших газах судового двигателя

М.В. Пустовойт, В.А. Туркин

(Новороссийск)

Измерение параметров судового главного малооборотного двигателя, количества и концентрации вредных веществ в отработавших газах производят в условиях эксплуатации при различных режимах работы дизеля. При этом должны соблюдаться некоторые общие правила: измерения производятся на установившемся режиме дизеля (для главного двигателя при отсутствии или умеренной качке судна, силе ветра до 3 баллов по Бофорту); количество отсчетов по каждому из приборов на каждом установившемся режиме должно быть не менее трех с интервалом не менее 5 с.; при разбросе результатов измерений менее чем в 1,5 раза в качестве конечного результата применяется максимальное значение; количество установившихся режимов работы дизеля,

параметры которых измеряются, должно быть по возможности больше, но не менее трех.

Результаты испытаний представляются в виде графических зависимостей изменения параметров главного двигателя, количества и концентрации вредных веществ в отработавших газах в функции от основного диагностического параметра – мощности дизеля.

Экспериментальные точки на графиках обнаруживают некоторые отклонения от видимой общей закономерности, что вызвано следующими причинами: а) наличием случайных факторов, влияющих на протекание эксперимента; б) погрешностями измерений.

И те и другие могут быть, как систематическими, так и случайными. Случайные погрешности делают результат недостоверным, из-за систематических – он становится смещенным. При работе с систематическими погрешностями целесообразны следующие действия: а) анализ принципа измерений и метода измерений с целью исключения мешающих влияний; б) коррекция систематических погрешностей измерений путем измерения воздействующих величин и учета их влияния, путем применения градуировочной кривой для измерительного прибора и др.; в) превращение систематических погрешностей в случайные путем перехода к условиям сравнимости, применения различных измерительных приборов одного класса точности; г) оценка систематической погрешности измерений.

Исключение мешающих влияний или измерение воздействующих величин и их учет в условиях судна невозможны. Провести градуировку штатных судовых приборов также невозможно. Возможна оценка систематической погрешности измерений, воспользовавшись классом точности прибора. Однако класс точности не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых данным средством и показывает только, что действительное значение погрешности конкретного прибора может иметь значение равное или систематических погрешностей в случайные путем

применения различных измерительных приборов одного класса точности. Поэтому при проведении измерений приборы должны периодически меняться за исключением приборов для измерения мощности и частоты вращения. На мощность главного двигателя и частоту вращения оказывают сильное влияние такие факторы, как волнение, направление ветра, осадка и т.д. В связи с этим случайные отклонения в протекании исследуемого процесса могут быть больше систематической погрешности самих приборов.

Суждение о составе, концентрации вредных веществ в отработавших газах и удельных выбросах этих компонентов выносится на основе сравнения измеренных значений параметров со значениями, полученными при сдаточных или предыдущих испытаниях.

Применение кислородного озонирования для очистки отработавших газов судового двигателя

А.В. Туркин

(Новороссийск)

Последовательное ужесточение требований к выбросам вредных веществ с отработавшими газами судовых двигателей требует разработки рациональных систем газоочистки.

В работе [1] рассмотрен метод очистки отработавших газов от кислотных оксидов с использованием механизма их адсорбции твердым веществом. Для этих целей на кафедре «Техносферная безопасность на транспорте» ГМУ им. адмирала Ф.Ф. Ушакова разработано и изготовлено комплексное устройство для очистки отработавших газов судового двигателя [2]. В основе работы предлагаемого устройства лежит использование в качестве адсорбента гранулированной шлаковой пемзы и в качестве окислителя – озона.

Получение озона осуществляется озонатором с помощью барьерного разряда, поддерживаемого высоким напряжением в потоке воздуха или

кислорода. Для получения кислорода могут применяться установки разделения воздуха (концентраторы кислорода), основанные на свойстве избирательной адсорбции различных компонентов воздуха определенными сорбирующими материалами. Также возможно использование баллонного кислорода под давлением.

Для количественной оценки влияния исходного газа и способа его получения на эффективность очистки проведена экспериментальная проверка комплексного устройства для очистки отработавших газов судового двигателя при работе озонатора SOZ-YB-32G (производительность до 32 г/ч) на воздухе или баллонном кислороде, а также при использовании озонатора OG-050 (производительность до 50 г/ч), оснащенного концентратором кислорода.

В качестве опытного объекта для испытаний пилотной установки был выбран двигатель внутреннего сгорания ЗМЗ-409 мощностью 105 кВт. Двигатель устанавливается на маломерные суда, в т.ч. на суда на воздушной подушке типа «Хивус». Результаты эксперимента приведены в таблице.

Таблица. Результаты эксперимента по оценке влияния исходного газа озонатора и способа его получения на эффективность очистки отработавших газов

Номер испытания						
Обороты двигателя, мин ⁻¹		2000	2500	3000	3500	4000
Расход топлива на двигатель, л/ч		2,7	3,6	4,5	6,2	8,2
Расход воздуха на двигатель, кг/ч		36,6	46,9	58,2	79	101,5
Концентрация NO _x в отработавших газах, ppm		167	248	430	808	1635
Озонатор SOZ-YB-32G, исходный газ - воздух	Концентрация NO _x в очищенных газах, ppm	105	187	338	754	1535
	Степень очистки газов от NO _x , %	37,4	24,6	21,4	6,7	6,1
Озонатор SOZ-YB-32G, исходный газ - кислород	Концентрация NO _x в очищенных газах, ppm	3	10	44	303	1147
	Степень очистки газов от NO _x , %	98,2	96,0	89,8	62,5	29,8
Озонатор OG-050 с концентратором кислорода	Концентрация NO _x в очищенных газах, ppm	3	8	26	103	952
	Степень очистки газов от NO _x , %	98,2	96,8	94,0	87,3	41,8

По результатам эксперимента установлено, что наиболее целесообразно использование озонатора, оснащенного концентратором кислорода, так как его применение обеспечивает максимальную степень очистки и позволяет получать требуемый исходный газ непосредственно на месте использования.

1. Туркин А.В. Очистка выхлопных газов судового двигателя адсорбцией твердым веществом в присутствии озона // Транспортное дело России. 2013. № 6. С. 129–130.
2. Туркин А.В. Экспериментальное исследование эффективности очистки выхлопных газов судового двигателя адсорбцией твердым веществом в присутствии озона / А. В. Туркин, В. А. Туркин // Транспортное дело России. 2014. № 1. С. 187–190.

Изучение процессов тепло-массопереноса при получении пресной воды из атмосферного воздуха

А.С. Магомадов, Ю.В. Королева

(Краснодар)

Совершенствование технологий получения воды из воздуха требует изучения теории и практики переноса массы и тепла на границе влажного воздуха и конденсированной воды [1].

Необходимое требование для получения воды из воздуха лежит в основе двух способов конденсации влаги: 1) капиллярная конденсация поверхностью вещества с развитой капиллярно-пористой структурой, 2) конденсация на поверхности раствора соли. Последний способ назовем сольватационным. Возможна также и комбинация этих способов.

Рассмотрим один из возможных вариантов конденсации – сольватационный. Данный метод заключается в том, что влага из воздуха оседает на пропитанную солью пористую основу. Вначале, в результате адсорбции или иного процесса, на поверхности основы образуется первичная

пленка насыщенного раствора соли. Этот раствор обладает повышенной гигроскопичностью и способен интенсивно поглощать влагу из воздуха даже в случае неполного насыщения [2].

Как известно, растворы нелетучих веществ обладают следующими коллигативными (т.е. зависящими только от числа молей, но не от природы растворенных веществ) свойствами:

- понижение давления насыщенного пара над поверхностью раствора:

$$\frac{P_{s0} - P_s}{P_{s0}} = \frac{v'}{v}, \quad (1)$$

где P_{s0} – давление насыщенного пара над чистым растворителем; P_s – давление насыщенного пара над раствором; v – количество молей растворителя в объеме раствора; v' – количество молей растворенного вещества;

- повышение температуры кипения раствора:

$$\frac{T'_{кип} - T_{кип}}{T_{кип}} = \frac{v' R}{v \mu q_{пар}}, \quad (2)$$

- понижение температуры замерзания раствора:

$$\frac{T'_{кр} - T_{кр}}{T_{кр}} = -\frac{v' R}{v \mu q_{кр}}, \quad (3)$$

где T – температура (кипения/кристаллизации) чистого растворителя (воды); T' – температура (кипения/кристаллизации) раствора; $q_{пар}$ – удельная теплота парообразования; $q_{кр}$ – удельная теплота кристаллизации.

Законы (1), (2), (3) носят название законов Рауля. Эти законы являются следствием закона Вант-Гоффа:

$$P_{осм} = \frac{v'}{\mu V} RT, \quad (4)$$

который описывает осмотическое давление, действующее на полупроницаемую мембрану, свободно пропускающую растворитель и задерживающую растворенное вещество. Это давление приводит к стремлению растворителя, проникать через мембрану, разбавляя раствор до тех пор, пока давление внутри сосуда с растворителем не уравнивает осмотическое. Осмотическое давление

численно равно давлению идеального газа, с такой же концентрацией молекул, что и раствор вещества, задерживаемого мембраной.

Указанное следствие объясняется тем, что свободная поверхность раствора, подобно мембране задерживает нелетучее растворенное вещество, которое участвуя в тепловом движении, воздействует на поверхность и, как бы «растягивая» объем жидкости, уменьшает количество испаряющихся молекул, сдвигая равновесие в сторону уменьшения давления насыщенного пара [3, 4].

Уравнения (1-3), строго говоря, выполняются для растворов неэлектролитов, в которых одна молекула вещества до растворения соответствует одной молекуле растворенного вещества. В растворах электролитов в результате процессов диссоциации и гидратации имеет место набор ионов, недиссоциированных молекул и ассоциированных агрегатов, ведущих себя как отдельные молекулы. В результате, эффект, описываемый законами Рауля и Вант-Гоффа становится более сильным. Чтобы учесть это обстоятельство, вводят поправку – изотонический коэффициент Вант-Гоффа – i , показывающий, во сколько раз изменяется количество нелетучих частиц в растворе по сравнению с количеством молекул растворяемого вещества. С помощью этого коэффициента, в уравнениях (1-3), описывающих коллигативные свойства растворов, следует произвести подстановку:

$$v' = i v_0, \quad (5)$$

где v_0 – количество молей растворяемого вещества.

Значение i обычно достаточно трудно определить априори, к тому же оно может зависеть от концентрации и температуры раствора. Поэтому, для определения i (или истинного v') следует воспользоваться экспериментальным методом с помощью закона (2) (эбуллиоскопия) или (3) (криоскопия).

Получим с помощью (1) выражение для коэффициента изменения плотности насыщенного пара (1) за счет сольватации:

$$\frac{\rho_s}{\rho_{s0}} = \frac{P_s}{P_{s0}} = 1 - \frac{v'}{v} = \dots$$

$$d_{\text{сол}} = 1 - \frac{i v_0'}{v}. \quad (6)$$

Подставив данное выражение в качестве d , получим выражение для интенсивности конденсации в изотермическом режиме:

$$j_k = \sqrt{\frac{RT}{2\pi\mu}} \rho_s (\varphi - d_{\text{сол}}), \quad (7)$$

откуда легко получить условие сольватационной конденсации:

$$\varphi > 1 - \frac{i v_0'}{v}.$$

Как видим, метод сольватационной конденсации может успешно применяться при влажности существенно меньшей, чем 100% .

1. Магомадов А.С., Королёва Ю.В. Альтернативный метод получения пресной воды на основе возобновляемых источников энергии. К., Технические и технологические системы, 2014, с.463-470.
2. Чердниченко В.Г., Магомадов А.С., Королева Ю.В. Движение молекул в двухфазной системе жидкость–пар на поверхности насыщенной жидкостью адсорбента [Электронный ресурс] Обзорение прикладной и промышленной математики: сб. материалов XIV Всероссийский симпозиум по прикладной и промышленной математике (весенняя сессия), Йошкар-Ола, 2013г. Т20. №3. Режим доступа: <http://www.tvp.ru/conferen/vsppm14/novio017.pdf>.
3. Магомадов А.С., Королева Ю.В. Процессы тепло-массопереноса при получении воды из воздуха с использованием солнечной энергии. Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ: сб. материалов III Международ. научно-техническая конференции, Санкт-Петербург, 2015г. С. 92.
4. Чердниченко В.Г., Магомадов А.С.. Физико-математическая постановка нестационарной задачи формирования концентрационно-поляризационного

сложения в баромембранных процессах. М.: Обозрение прикл. и промышл. матем., 2009, Т.16, Вып. 5, с. 946-947.

Изучение коэффициента теплопроводности газовых конденсатов в широкой области температур и давлений

А.С. Магомадов, Э.К. Вайниловский, В.В. Герасимова

(Краснодар)

В рамках комплексных исследований термодинамических и теплофизических свойств газовых конденсатов были исследованы их коэффициенты теплопроводности в зависимости от температуры и давления. Среди них различные месторождения: Вуктыльское, Березанское, Каневское, Кущевское, Майкопское, Опошнянское, Рыбальское и Солоховское.. Широта географии исследуемых газовых конденсатов объясняется необходимостью охвата их разнообразия по углеводородному составу.

Для этой цели была создана экспериментальная установка по измерению коэффициента теплопроводности. За основу была взята методика нагретой нити. Измерительная ячейка представляла собой тонкостенный никелевый капилляр, являющийся наружным термометром сопротивления, по оси которого натянута платиновая нить, служащая одновременно нагревателем и внутренним термометром сопротивления.

После градуировки наружного и внутреннего термометров сопротивления в реперных точках, ячейка устанавливалась в автоклав, который для устранения градиента температуры по высоте, помещался в массивный медный блок. Термостатирование проводилось в термостате типа ТС-24, где в качестве термостатирующей жидкости при высоких температурах использовалось веретенное масло, а при низких – гидролизный спирт, охлаждаемый жидким азотом. Температура в термостате поддерживалась регулятором с погрешностью $\pm 0,05^\circ\text{C}$. При этом колебания температуры в автоклаве, за счет

тепловой инерции системы медный блок- воздушный зазор-автоклав не превышали $\pm 0,005^{\circ}\text{C}$.

Все электрические измерения осуществлялись при помощи полуавтоматического низкоомного потенциометра постоянного тока типа Р-348 класса точности 0,002 и полуавтоматического высокоомного потенциометра постоянного тока типа Р-309 класса точности 0,005. Давление в автоклаве создавалось и измерялось с помощью грузопоршневого манометра типа МП-2500 класса точности 0,05

Измерение коэффициента теплопроводности на описанной выше установке проводились в интервале температур от -50°C до 200°C и давлениях до 100 МПа. Расчёты показывают, что средняя относительная погрешность измерения составляет $\pm 1\%$.

Из опытных данных установлено, что коэффициент теплопроводности газовых конденсатов с увеличением температуры уменьшается и возрастает при повышении давления. При чем, как изобары, так и изотермы являются кривыми линиями: изотермы вогнуты от оси давления, а изобары вогнуты к оси температур. Причем изотермы имеют большую кривизну.

Значения коэффициента теплопроводности менялись в области изучаемых параметров состояния от 0,07 до 1,8 Вт/(м·К). По результатам экспериментальных исследований газовых конденсатов составлены подробные справочные таблицы.

Исследование зависимости изобарной теплоемкости от коэффициента объемного расширения для нормального гексана

Е.В. Бухович, Н.В. Бухович, А.С. Магомадов

(Краснодар)

Экологически безопасные технологии переработки природных углеводородов требуют знания точных данных о калорических свойствах, как

сырья, так и продуктов его переработки в широком интервале параметров состояния.

При этом одним из ключевых калорических свойств веществ является изобарная теплоемкость. Экспериментальные исследования изобарной теплоемкости были выполнены на установке реализующей метод монотонного разогрева жидкости в калориметре с адиабатной оболочкой. Погрешность измерения удельной теплоемкости находится в пределах $\pm 1,5\%$.

В рамках комплексных исследований была также изучена плотность газовых конденсатов при различных температурах и давлениях. Измерения проводились в интервале температур от -50 до 200°C . При этом использовался пьезометр переменного объема; погрешность исследований плотности $\pm 0,1\%$. Для установления взаимосвязи между калорическими и термическими свойствами жидкости, представляет интерес рассмотрение взаимосвязи между указанными свойствами на модельной жидкости, наиболее изученной в широком интервале параметров состояния. Таким веществом является нормальный гексан. Этот углеводород наиболее близок по своим физико-химическим свойствам к газовым конденсатам и их фракциям.

По результатам обобщения экспериментальных данных [1], для математического описания зависимости изобарной теплоемкости от коэффициента объемного расширения, нами предлагается уравнение вида:

$$C_p = 58,01 \ln \frac{dV}{dT} + \quad (1)$$

где C_p – молярная изобарная теплоемкость, Дж/(моль·К); V – объем, м^3 ; T – температура, К; $\frac{dV}{dT}$ – коэффициент объемного расширения, $\text{м}^3/\text{К}$.

Уравнение (1) описывает молярную теплоемкость на псевдокритической изобаре для нормального гексана при докритических температурах со средней относительной погрешностью $\pm 2,0\%$.

1. Б.А. Григорьев, Ю.Л. Расторгуев, Д.С. Курумов и др.

Термодинамические свойства нормального гексана. – М.: Изд-во

стандартов, 1990. С. 76 – 83; 100 – 107.

Атмосферный перенос и загрязнение окружающей среды

В.В. Дьяченко, Л.Г. Дьяченко

(Новороссийск)

Ландшафтно-геохимические исследования юга РФ выявляют все больше фактов формирования химии почв за счет атмосферного переноса или, как еще говорят, аэральная миграция. Первые данные о ее влиянии на геохимию почв получены в результате анализа геохимических аномалий на севере и востоке Краснодарского края. Эоловые процессы привели к формированию в почвах этих районов повышенных содержаний Pb, Mo, Zn и других микроэлементов. Имеющиеся данные позволяют предположить, что здесь обнаружены два вида геохимических барьеров, формирующихся под воздействием дефляции [1].

Но влияние ветровой эрозии проявляется не только в формировании геохимических барьеров, но и в изменении геохимического фона почв региона. Фактор эоловой дифференциации особенно заметен в перераспределении Pb (фоновое содержание в ландшафтах с различным проявлением ветровой эрозии отличается в 1,79 раза), W (в 1,53 раза), Zn и Cr (в 1,33 раза), Ge и Sr (в 1,29 раза), Mo (в 1,23 раза), Ba (в 1,21 раза) и т.д. Геохимическая роль аэральная миграция хорошо иллюстрируется ландшафтами, образовавшимися на палеоген-неогеновых терригенных отложениях [2]. Среди остальных они в 1,5-2 раза, выделяются повышенной концентрацией Mo в почвообразующих комплексах, а в почвах эта особенность наблюдается только в ландшафтах, не подверженных ветровой эрозии (содержание Mo $0,64 \cdot 10^{-3}\%$). В почвах подверженных дефляции и с современным отложением эолового материала специфика почвообразующих комплексов не обнаруживается и содержание Mo от окружающих ландшафтов не отличается ($0,3-0,4 \cdot 10^{-3}\%$). Очевидно, за счет трансграничного переноса его содержание выравнивается. Эти и другие факты

позволили сформулировать предположение о преимущественно аэральном, а не биогеохимическом характере конвергенции почв [3], которое позже подтверждено сравнительным анализом геохимии горных и равнинных, автономных и подчиненных ландшафтов, а так же кларков почв Северного Кавказа и юга России в целом [4].

Кроме того, при изучении геохимии почв Северного Кавказа обнаружено повышенное содержание Ni, Co, Sc, Cr, V, Mn, Cu, Zn [3]. Анализ истории развития региона позволяет сделать предположение о возможном влиянии вулканической деятельности. По данным многих исследований извержения вулканов Центрального Кавказа, имевшие эксплозивный характер, сопровождались аэральным переносом пеплового материала на сотни километров. Последние - происходили около 2500 лет назад или даже меньше, что согласуется с представлениями о возрасте современных почв. Состав продуктов магматизма, в сравнении с наиболее распространенными на Северном Кавказе горными породами обогащен Ni, Co, Cr, V, Sc, Mn. После осаждения пеплового материала миграция образующих его соединений зависела от ландшафтно-геохимических условий депонирующей среды и свойств элементов, позволяющих закрепиться в ландшафте. Исходя из современных особенностей их перераспределения и соотношения основным резервуаром сохранения было живое вещество. Поэтому, наиболее активным обогащением почв характеризуются Ni, Co и Mn как элементы с более высоким коэффициентом биологического поглощения и сорбируемостью, а менее интенсивным V, Cr, Sc.

Важнейшим фактором трансформации кларковых соотношений химических элементов в ландшафтах Северного Кавказа становится техногенез. В основном, за счет неуклонного роста выбросов загрязняющих веществ на юге РФ, как от стационарных источников, так и автотранспорта. Трансформирует естественный геохимический спектр почв и сельское хозяйство, активно развивающееся в последние десятилетия [5]. В дальнейшем за счет дефляции

загрязненные почвы разносятся по всему региону. Вследствие сведения естественных ландшафтов, снижения их ассимиляционного потенциала, распаивания земель, усиления дефляции, чему в немалой степени способствует изменение климата (особенно повышение температуры и учащение сильных ветров) объемы атмосферных выпадений, очень значительны и достигают 30-50 кг на км² в сутки. В результате происходит усиление загрязнения окружающей среды [6].

Все это актуализирует использование лазерных технологий для выявления загрязнения атмосферы, определения предприятия, превышающих нормативы выбросов и не доплачивающих за негативное воздействие на окружающую среду, разработки программы по снижению загрязнения, а также создания моделей регионального и трансграничного массопереноса в атмосфере.

1. Дьяченко В.В. Формирование аномалий тяжелых металлов на геохимических барьерах в почвах под воздействием интенсивной ветровой эрозии // Международная конференция «Геохимические барьеры в зоне гипергенеза» - М.: МГУ. 1999. С 163-166.
2. Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Девисилов В.А. Науки о Земле. Учебное пособие (гриф УМО) / М.: Изд-во Кнорус, 2010. 302 с.
3. Дьяченко В.В. Основные закономерности формирования геохимического спектра почв Северного Кавказа. // Изв. вузов. Сев. - Кавк. регион. Естеств. науки. 2001. № 3. С. 86-88.
4. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Региональные кларки химических элементов в почвах юга европейской части России // Почвоведение, № 10, 2016. С. 1159-1166.
5. Дьяченко В.В., Казаров О.М., Лаганин С.В. Сельское хозяйство Краснодарского края как фактор экологической опасности в регионе // Безопасность жизнедеятельности. 2003. № 9. С 8-11.

6. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Загрязнение и динамика микроэлементов в почвах юга России // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. № 4, 2015. С. 324-332.

Опыт и перспективы реализации российской государственной программы высокотехнологичного образования - «Глобальное образование»

А.Е. Воробьев, Г.К. Таикулова

(Москва, Бишкек)

В настоящее время существуют следующие явно выраженные основные тенденции развития высшего образования [3, 4, 9]: международная мобильность, интеграция, централизация и децентрализация, значительная наукоемкость и информатизация, образование как сфера образовательных услуг, вариативность образовательных моделей и учебных траекторий и др. Каким образом и как современная высшая школа индустриально развитых стран отвечает на эти вызовы?

Демократизация высшего образования, проявляется в повышении доступности высшего образования, значительной свободе выбора вида образования и специальности, характера обучения и сферы будущей деятельности, а также в полном отказе от авторитаризма и командно-бюрократической модели управления обучением.

Фундаментализация образования, заключается в существенном расширении и углублении фундаментальной подготовки студентов, при одновременном сокращении объема общих и обязательных дисциплин (за счет более строгого отбора учебного материала, а также системного анализа содержания и выделения его основных инвариант).

Компьютеризация высшего образования: во многих ведущих ВУЗах мира число персональных компьютеров уже в несколько превышает количество студентов. При этом они используются не только для проведения

вычислительных и графических работ, а также для тестового контроля полученных знаний, но и как основной способ вхождения в различные информационные системы, как автоматизированные системы обучения, тестирования и т.п. [7]. Современная массовая компьютеризация во многом изменяет сам характер учебного процесса, предоставляя студентам совершенно новые внешние средства для их коммуникации с окружающим миром.

Создание научно-учебно-производственных комплексов, центральным звеном которых является образовательный сектор, где ядро представляет ВУЗ или кооперация нескольких ВУЗов, а периферию – исследовательские и производственные предприятия. Научно-исследовательский сектор (система НИИ) такого комплекса обеспечивает необходимые условия для последующего развертывания комплексных, междисциплинарных разработок всех его участников (преподавателей и студентов через курсовые и дипломные работы), участвующих в его работе. Производственный сектор включает в себя различные конструкторские бюро (в том числе - студенческие), опытно-промышленные производства, внедренческие и венчурные фирмы и т.п.

Увеличение требований к профессионализму преподавателей выражается в выработке качественно-количественных критериев оценки их деятельности: для чего вычисляется рейтинг преподавателей или подсчитываются баллы отдельно для собственно преподавательской деятельности, научно-исследовательской работы и общественной активности [5, 6].

Создание системы регулярной оценки эффективности деятельности ВУЗов со стороны общества. В США, например, группа из нескольких тысяч специалистов постоянно мониторит и ранжирует по многим показателям (включая затраты на одного студента, объем научно-исследовательских работ, число и качество читаемых курсов, количество выпускников, получивших докторскую степень и т.п.) вузы.

Международная мобильность студентов. В настоящее время страны Европы, благодаря введению 14-ти программ, направленных на поддержание европейского сотрудничества в области образовательного пространства, получили значительный импульс в развитии академической мобильности обучающихся [2]. Наиболее успешными программами развития академической мобильности являются «Эрасмус» (стартовала в ЕС в 1987 г.), стипендиальные программы Германской службы академических обменов DAAD (основана в 1925 г. и после многолетнего перерыва в 1950 г. возобновила свою деятельность), программа Фулбрайт (действует с 1973 г.), бразильская программа «Наука без границ» (нынешний ее вариант работает с 2012 г.), программа «Академическая мобильность» Фонда М. Прохорова (стартовала в 2013 г) и др.

В последние годы наиболее существенным вкладом в развитие человеческого капитала и академической мобильности стала реализация государственной Программы «Глобальное образование», поддерживающая обучение за границей российских граждан, поступивших в один из ведущих зарубежных университетов. Российская Программа «Глобальное образование» начала свой старт после подписания Указа Президента РФ от 28 декабря 2013 г. № 967 «О мерах по укреплению кадрового потенциала Российской Федерации». Для реализации этой Программы в России заключаются двусторонние договоры о научно-образовательном сотрудничестве, в рамках которых на обучение и стажировки ежегодно направляются студенты, аспиранты и преподаватели в вузы 22 зарубежных стран. Пребывание и обучение в них россиян полностью или частично финансируется принимающей стороной.

Таким образом, программа «Глобальное образование» направлена на сохранение и приумножение научных, педагогических, медицинских и инженерных кадров, управленческих кадров, а также на поддержку образования граждан РФ. Для достижения поставленных целей предполагается решить следующие задачи:

- формирование групп граждан, самостоятельно поступивших в ведущие иностранные образовательные организации;
- осуществление конкурсного отбора участников Программы;
- информирование общественности об условиях и ходе реализации Программы участников Программы;
- создание действенных механизмов, обеспечивающих трудоустройство участников Программы в организации-работодатели;
- осуществление постоянного мониторинга исполнения участниками Программы принятых обязательств и условий участия в Программе;
- обеспечение возврата перечисленных участнику Программы средств (в случае нарушения участником Программы условий участия в Программе, а также взыскание штрафа).

Программа имеет следующие **целевые показатели**:

- обучение не менее 718 граждан Российской Федерации в ведущих иностранных образовательных организациях по приоритетным для российской экономики специальностям и направлениям подготовки;
- трудоустройство не менее 718 участников Программы, завершивших обучение в ведущих иностранных образовательных организациях.

1. Академическая мобильность в вузе // <http://uecs.ru/uecs-76-762015/item/3460-2015-04-23-12-18-35>.
2. Баженова Э. Д. Тенденции развития академической мобильности обучающихся в РФ и РК // Актуальные вопросы современной педагогики: материалы III междунар. науч. конф. — Уфа: Лето, 2013. — С. 147-149.
3. Воробьев А.Е., Малюкова Н.Н. Определение потребности в специалистах в области инновационного недропользования для стран - репродукторов минерального сырья // Вестник КРСУ. Т.9, 2, 2009. С. 73-78.
4. Воробьев А.Е., Молдабаева Г.Ж., Корниенко А. Современные программы обучения магистров в области менеджмента для российской нефтегазовой

отрасли // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования, №3. 2011. С. 51-59.

5. Воробьев А.Е., Портнов В.С., Турсунбаева А.К., Корниенко А.С. Сравнительный анализ основных российских образовательных программ менеджмента в нефтегазовой отрасли // Труды Университета N2 (43). КарГТУ. Казахстан. 2011. С. 13-17.
6. Воробьев А.Е., Торобеков Б.Т. Модернизация российского высшего инженерного образования в ответ на вызовы современности. М., КноРус. 2014. 230 с.
7. Дьяченко Л. Г. Мультимедийные технологии как средство совершенствования профессиональной подготовки инженеров-экологов (на примере дисциплины «Науки о Земле»): автореф. дис.... канд. пед. наук. Ульяновск, 2009. 29 с.
8. Коптелова Е. Реалии "Глобального образования", или чему учит чужой опыт (2015) // http://www.albioncom.ru/articles/university/realii_globalno.
9. Тенденции развития высшего образования за рубежом // <http://lektsii.net/2-64037.html>.

Электрическая очистка пылегазовых потоков

Н.К. Веремьев, К.Н. Веремьев, С.Е. Баранов, В.И. Сикорский

(Новороссийск)

Очистка отходящих газов от промышленных технологических аппаратов осуществляется различными по своей технологии аппаратами, это циклоны, рукавные и зернистые фильтры, гидродинамические пылеуловители и электрофильтры. Самым универсальным и наиболее эффективным является электрофильтр. В настоящее время нет практически ни одной отрасли, где бы электрофильтры не показали своих преимуществ. В отличие от других аппаратов, у электрофильтров не существует ограничений в использовании по

свойствам очищаемых аэрозольных потоков – ни по дисперсному составу частиц, ни по удельной плотности материала частиц, ни по химическому составу и другим параметрам. Они без труда очищают газовый поток объёмом от единиц до миллионов кубических метров в час. При конструировании пылегазоочистной установки с электрофильтром необходимо учитывать физико-химические свойства поступающих на очистку аэрозолей. Это в первую очередь относится к дисперсному составу и удельному электрическому сопротивлению частиц пыли. Для очистки пылегазового потока от мелкодисперсных частиц пыли необходимо выдерживать скорость потока в межэлектродном пространстве в пределах 0,5-0,7 м/с., и количество полей электрофильтра должно быть не менее трех. Для очистки пылегазового потока от частиц пыли с высоки удельным электрическим сопротивлением необходимо предусмотреть установку подачи кондиционирующего реагента (например - воды) в пылегазовый поток. Для оптимальной работы электрофильтра необходимо поддерживать напряжение на электродах фильтра на максимально возможном уровне. За это отвечают системы автоматического регулирования напряжения питания электрофильтров. Они должны постоянно определять уровень максимального напряжения, который можно определить только пробоем межэлектродного пространства. После пробоя необходимо восстановить напряжение с минимальными потерями вольт-секундной площади. При восстановлении необходимо учитывать электрические параметры тока и напряжения электрофильтра в до искровой период времени, а также характер пробоя (стример, искра, дуга), и величину напряжения на электродах фильтра после окончания пробоя.

К вопросу об использовании ГИС в обеспечении экологической безопасности территорий

И.Ю. Матасова, Р.В. Кулебякин, Е.О. Цветкова

(Новороссийск)

Современное экологическое состояние города Новороссийска нельзя назвать благоприятным - уровень загрязнения атмосферного воздуха высокий, а качество воздуха признано неблагоприятным для здоровья, практически полностью исчерпана экологическая емкость природной среды, и дальнейшее увеличение нагрузки может привести к деградации прибрежных экологических систем и нанесению непоправимого экологического ущерба.

Промышленные районы города отличаются повышенным уровнем общей заболеваемости детского населения, в том числе высокой частотой заболеваний органов дыхания, крови и врожденных аномалий.

В Российской Федерации для решения задач охраны окружающей среды существует несколько ведомственных систем мониторинга. К ним относятся службы Росгидромета, Роспотребнадзора, Росприроднадзора и других.

Недостатком такого подхода является ограниченные возможности пространственной привязки происходящих процессов к конкретным городским территориям, он не позволяет осуществлять оперативный контроль за происходящими изменениями на наблюдаемых территориях, а также выполнить моделирование и прогноз перспективного развития территорий.

Устранение отмеченных недостатков возможно при наличии геоинформационной системы, ориентированной на комплексное решение задач оперативного отображения результатов мониторинга.

Работающая геоинформационная система включает в себя пять ключевых составляющих: источники данных, ГИС-интерфейс, базу данных, экспертную машину, библиотеку математических моделей.

Принципиальное отличие предлагаемой системы от традиционных ГИС является включение в систему модуля «Электронного атласа городских

территорий». Он, наряду с традиционными топографическими картами и планами, ориентирован на хранение и отображение комплексной графической информации о территории.

В комплексе с модулями «Инвентаризации объектов», «Базы знаний объектов» он обеспечивает исходными данными оценку воздействия риск-факторов реализации инвестиционных проектов, а также выполнение моделирования сценариев развития территорий при различных воздействиях неблагоприятных риск-факторов.

Неотъемлемой частью системы экологической безопасности является создание постов автоматической системы мониторинга, функционирующих в непрерывном автоматическом режиме, проводящих измерение концентраций загрязняющих веществ, обеспечивающее регулярное получение оперативной информации об уровне загрязнения атмосферного воздуха Новороссийска основными примесями.

Оценка шума строительства жилого комплекса в г. Новороссийске

А.М. Стихова, Р.В.Яковлев, Т.К. Новикова

(Новороссийск)

Строительство является источником высокоинтенсивного (75-90 дБА) акустического загрязнения в городах и наносит населению ощутимый социально-экономический ущерб. Наиболее сильное влияние шума наблюдается при интенсивном ведении строительства вблизи жилой застройки. Накоплен большой опыт снижения шума при проектировании строительных площадок. Однако, судя по жалобам населения, мероприятия по снижению акустического воздействия на окружающую среду не реализуются в полной мере. Для подтверждения актуальности данной темы было проведено исследование и дана оценка акустической нагрузки при строительстве жилого комплекса на территории жилой застройки. Объектом исследования была

выбрана строительная площадка Южного района г. Новороссийска. Расчет шума строительной площадки проводился на основе ГОСТ Р 53695-2009 «Шум. Метод определения шумовых характеристик строительных площадок» [1]. В таблице 1 приводятся значения средних эквивалентных уровней звука и максимальных уровней звука для каждой из четырех сторон строительной площадки первого и второго дня измерений (измерение №1 и измерение №2).

Таблица 1. Средние эквивалентные и максимальные уровни звука строительной площадки

Сторона строительной площадки	Средний эквивалентный уровень звука, дБА		Максимальный уровень звука, дБА	
	Измерение №1	Измерение №2	Измерение №1	Измерение №2
С. 1	71,7	84,5	79	88
С. 2	69,5	83,3	71	86
С. 3	70,7	80,6	74	83
С. 4	72,4	84,5	74	87

В соответствии с существующей классификацией, по результатам расчетов стройплощадка по уровню шума отнесена к третьему классу. Дана оценка ожидаемых уровней шума от строительной площадки в выбранных двух расчетных точках.

Таблица 2. Уровни шума в расчетных точках

№ изм-я	№ РТ	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Эквивалентный УЗ, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	РТ1	82	77	69	65	62	59	57	54	66,2
	РТ2	83	78	70	66	63	60	58	55	67,2
2	РТ1	96	91	81	78	78	76	74	68	80
	РТ2	93	88	78	75	75	73	71	65	77

Разные уровни шума на стройплощадке в одной и той же расчетной точке первого и второго дня измерений объясняются различием в проводимых строительных работах, типом и количеством строительных машин и механизмов. Сравнение уровней шума в расчетных точках с допустимыми, дает основание утверждать, что данная строительная площадка не соответствует нормативам, так как наблюдается превышение уровней шума по эквивалентному (норма 55дБА), так и по максимальному значению (норма 70 дБА). По данным таблицы 2 для расчетных точек определены превышения предельно допустимых уровней (ПДУ) в октавных полосах частот от 63 до 8000 Гц. Значения ПДУ приняты по СН 2.2.4/2.1.2.562-96 [2].

В условиях действующей строительной площадки и на основании значений требуемого снижения уровней шума в расчетных точках, рекомендовано наиболее радикальное шумозащитное средство - мобильный акустический экран вокруг строительной площадки.

1. Шум. Метод определения шумовых характеристик строительных площадок.- ГОСТ Р 53695-2009
2. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.- СН 2.2.4/2.1.8.562- 96

Геохимические особенности дефляционных аэрозолей Прикаспийской низменности

В.В. Дьяченко, Л.Г. Дьяченко

(Новороссийск)

Динамика микроэлементов в почвах юга России свидетельствует о том, что для большинства из них характерно накопление, приводящее к загрязнению и «металлизации» биосферы [1]. Основным фактором глобального загрязнения является воздушный перенос или аэральная миграция. Исследованиями на Северном Кавказе [2] установлено, что в районах с интенсивной ветровой

эрозией аэральная миграция может приводит к значительному перераспределению элементов, в том числе к формированию как положительных, так и отрицательных аномалий в почвах. Основной носитель рассеянных элементов – аэрозольные частицы, а 80-90% металлов содержится во фракции менее 1 мкм [3].

Большой вклад дефляции в вещественный состав аэрозолей и химию почв, видимо, является главной причиной установленной ранее геохимической конвергенции почв Северного Кавказа [4]. В связи с близостью региона к глобальным областям развеивания покровных отложений и деградацией естественной растительности и высокой долей распаханых земель интенсивность осаждения составляет десятки т/км² в год [5]. Для установления роли атмосферного массопереноса в трансграничном загрязнении и естественном биогеохимическом круговороте важно оценить «фоновые» геохимические особенности аэрозолей, формирующихся за счет дефляции в условиях невысокой техногенной нагрузки Прикаспийской низменности.

С целью определения геохимических особенностей потенциальных аэрозолей Прикаспийской низменности были произведены спектральный и гранулометрический анализы 51 пробы почв в целом и ее наиболее «летучей» фракции мельче 0,1 мм. По соотношению содержания 15 микроэлементов был построен ряд по уменьшению степени обогащения тонкодисперсной фракции.

Ti (1,37) > Be, Sr (1,34) > Ga (1,23) > Mn (1,2) > Ba (1,19) > Pb, Co, V, Mo (1,16) > Zn (1,08) > Cu (1,04) > Ni (0,92) > Sn (0,87) > Cr (0,79)

Данный ряд свидетельствует о существенном обогащении тонкой фракции Ti, Be, Sr и обеднении Cr, Sn, Ni. Отметим, что набор наиболее «летучих» элементов не вполне соответствует оценкам специалистов и явно не на своем месте находятся Ti и Sr. С другой стороны, среди определяемых нами элементов нет признанных лидеров по концентрированию в аэрозолях (особенно техногенных) Cd, W и др. Потому, для повышения объективности выводов расчетным путем было установлено содержание микроэлементов в

крупных фракциях почв – $\geq 0,1$ мм. Это дало возможность построить следующий ряд.

Be (2,27) > Sr (2,07) > Ti (2,0) > Ga (1,97) > Mo (1,78) > Ba (1,67) > Pb (1,65) > Co (1,64) > V (1,63) > Mn (1,56) > Zn (1,54) > Cu (1,48) > Sn (1,1) > Ni (1,08) > Cr (0,97)

Очевидно, что эти ряды очень похожи. Только среди элементов, которыми фракция менее 0,1 мм обеднена, остался лишь Cr и увеличились коэффициенты дифференциации, подтверждая значительную роль мелкой фракции в геохимическом спектре почв. Более крупные фракции закономерно обеднены химическими элементами за счет доминирования среди обломочного материала почв кварца и ослабления сорбции, вследствие увеличения размера частиц и уменьшения площади их поверхности. Для оценки объективности полученных рядов можно использовать и другой способ – соотношение концентраций микроэлементов в тонкодисперсной и крупнодисперсной частях почв в каждой пробе и затем рассчитать их отношение. Таким образом, получен третий ряд.

Ti (19,5) > Sr (17,5) > Ga (3,86) > Be (3,56) > Mn, Ba (3,38) > Pb (2,45) > Cu (2,1) > Zn (2,0), Co (1,92) Mo (1,05) > Ni (0,48) > Cr (0,39) > Sn (0,29) > V (0,22).

Из него следует, что обогащение тонкодисперсной фракции подтверждается и является устойчивым признаком для Ti и Sr, а обеднение – для V, Sn, Cr, Ni. Это в целом соответствует ранее выявленным закономерностям, за исключением V. Очевидно это результат очень низкой контрастности его распределения в различных пробах, но тенденция однозначна. Таковы особенности потенциальных аэрозолей Прикаспийской низменности. Их отличие от представлений о геохимии атмосферных аэрозолей обусловлено своеобразием гранулометрического и минералогического состава и связано с историей развития региона, особенностью которой является частое афитогенное состояние покровных отложений, после регрессий Каспия и периодов опустынивания [5]. В результате многократного переувлажнения этих образований глинистые частицы практически удалены, а геохимию мелкой

фракции определяют тонкообломочный кварц и другие, прочные Ti содержащие минералы, способные сохраняться в тонкодисперсном состоянии. Наличие Sr обусловлено аридным климатом, засолением покровных отложений и глин, часто являющимися почвообразующими. Кроме того, итоговые геохимические особенности аэрозолей формируются в атмосфере за счет сорбции металлов, находящихся в парогазовом состоянии [3].

1. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Загрязнение и динамика микроэлементов в почвах юга России // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. № 4, 2015. С. 324-332.
2. Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Девисилов В.А. Науки о Земле. Учебное пособие (гриф УМО) / М.: Изд-во Кнорус, 2010. 302 с.
3. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учебное пособие. - М.: Высш. шк., 1998. - 413 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., Матасова И.Ю. Региональные кларки химических элементов в почвах юга европейской части России // Почвоведение, № 10, 2016. С. 1159-1166.

**О некоторых путях повышения амплитудного разрешения при
многочастотном лазерном зондировании аэродисперсных потоков**

В.Е. Привалов, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин

(Санкт-Петербург, Новороссийск)

Широкий круг задач требует обнаружения полезного сигнала на фоне значительных шумов и помех. Для этого используются различные методы повышения амплитудного разрешения при регистрации сигналов. Одним из эффективных путей повышения амплитудного разрешения при регистрации

слабых по сравнению с шумами и помехами сигналов является их синхронное детектирование (СД). При этом зачастую однократное СД не всегда обеспечивает требуемое усиление полезного сигнала, что заставляет обращаться к повышению кратности СД до двух и более [1].

Эффективность СД в значительной степени зависит от правильного выбора частот модуляции и СД полезного сигнала. Теоретическая оценка амплитуды полезного сигнала при СД была выполнена в соответствии с предложенным в [2] подходе. Неравномерный спектр шумов и помех потребовал внимательного отношения к выбору частот модуляции. Так, например, в условиях применения оптических измерителей параметров многокомпонентных аэродисперсных потоков в промышленных условиях показывает, что спектральное распределение шумов и вибраций технологического оборудования, с которым сопрягаются оптические измерители определяется спектральными характеристиками самого этого оборудования (дымососы, вентиляторы, мельницы). Поэтому для решения этих задач предлагается двойная модуляция зондирующего излучения и соответственно двойное СД регистрируемого сигнала. При этом частоты выбираются в областях оптимальной работы самой приборной аппаратуры, а также приходящиеся на области, частот в которых энергетическая плотность шумов и вибраций незначительна [3]. Кроме того требуется зачастую вести лазерное и оптическое зондирование одного и того же измерительного объёма одновременно на нескольких длинах волн [3 - 5]. При этом для исключения влияния характеристик фотоприёмников и обеспечения контроля одного и того же измерительного объёма и упрощения оптической схемы требуется использование одного общего фотоприёмника для регистрации излучения на всех используемых длинах волн зондирования. И здесь возникает ещё одно ограничение. С целью максимального использования возможностей фотоприёмника мощность падающего на него излучения должна быть с одной стороны максимальной, но не выводящей работу фотоприёмника из линейного режима. С другой стороны, необходимо исключить взаимное

влияние регистрируемых сигналов, чтобы не было биений, обусловленных выходом участка фоточувствительной площадки фотоприёмника в нелинейный режим работы при одновременном его освещении на нескольких длинах волн. При этом сами частоты должны быть достаточно близкими, чтобы частотные характеристики приёмно-усилительного тракта были подходящими для всех полезных сигналов.

Для этого было предложено использовать в качестве фотоприёмника кремниевый фотодиод ФД-7К, перед которым в его поле зрения устанавливается пара светорассеивающих молочных стёкол. Обеспечивающих одновременную однородную освещённость фоточувствительной поверхности излучениями на всех длинах волн.

Таким образом, повышение кратности СД полезного сигнала и обеспечение оптимального использования возможностей фотоприёмника позволяет значительно повысить амплитудное разрешение полезного сигнала при лазерном зондировании аэродисперсных потоков в условиях значительных шумов и вибраций.

1. Воропай Е.С., Торпачев П.А. Техника фотометрии высокого амплитудного разрешения. Минск.: Университетское. 1988. 207 с.
2. Харкевич А.А. Борьба с помехами. М.: Изд. Наука: Гл. ред. Физ.-мат. Литературы. 1965. 276 с.
3. Чартий П.В., Шеманин В.Г., Веденин Е.И. Лазерная система предупреждения аэрозольных выбросов. //Безопасность в техносфере. 2014. Т. 3. № 5. С. 25-31.
4. Половченко С.В., Привалов В.Е., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Восстановление функции распределения частиц по размерам на основе данных многоволнового лазерного зондирования. // Оптический журнал. 2016. Т. 83. №5. С. 43-49.
5. 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.

Представляем журнал

Журнал «Фотоника»

Научно-технический журнал о новых оптических и фотонных технологиях и их использовании в научных исследованиях, промышленности (металлообработка и стеклопродукция), медицине и биологии; рассматривает широкий круг вопросов оптического материаловедения, оптических систем и элементов (лазерных, светотехнических, электрооптических, оптоволоконных, фотовольтаических), систем машинного зрения и навигации, контрольно-измерительной аппаратуры.

Издательство журнала «Фотоника» РИЦ «Техносфера»

г. Москва, ул. Краснопролетарская, 16, под.5

Для писем: 125319, г. Москва, а/я 91

Тел.: +7(495)234-01-10

Факс: +7(495) 956-33-46

E-mail: rec-knigi@electronics.ru

URL: <http://www.technosphaera.ru>

Журнал "Фотоника" посвящен оптическим системам любого типа (электрооптическим, оптоволоконным, лазерным, полностью оптическим), их элементам и технологиям. Журнал включен в список ВАК и Web of Science.

Издатель - ЗАО "РИЦ Техносфера".

Цель издания – глубокое и подробное освещение вопросов, связанных с оптическими системами передачи, оптическими технологиями, оптическими материалами и элементами, оборудованием и станками, используемыми в оптических системах.

Журнал рассматривает следующие темы:

- фотовольтаика, фотоэлектронные преобразователи;
- лазеры и лазерные системы;
- оптические системы и элементы;
- электрооптические системы;
- ВОЛС и оптические системы связи;
- оптические волокна и кабели;
- технологическое оптическое оборудование;
- контроль и измерение;
- новые оптические технологии.

Журнал адресован тем, кто принимает решение - руководителям предприятий и ведомств, менеджерам разных уровней; тем, кто отвечает за технический уровень производства – инженерам, технологам и специалистам различного профиля; тем, кто хочет повысить свой технический и образовательный уровень – аспирантам и студентам старших курсов профильных вузов.

Правила оформления статей на сайте - <http://www.technosphaera.ru>

E-mail: rec-knigi@electronics.ru

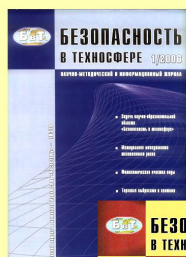
ISSN 1998-071X

НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР “ИНФРА-М”

БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

Издается с июля 2006 года



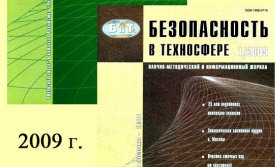
2006 г.



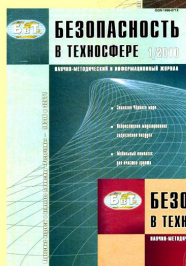
2007 г.



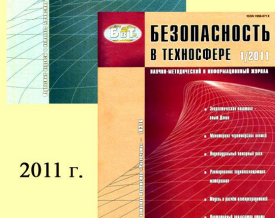
2008 г.



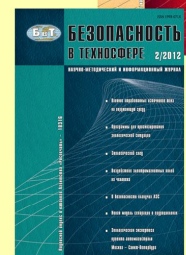
2009 г.



2010 г.



2011 г.



2012 г.

Включён в Перечень ведущих научных журналов, рекомендованных ВАК России для публикации результатов докторских и кандидатских диссертаций, индекс научного цитирования (РИНЦ), научную электронную библиотеку

Содержание журнала ориентировано на рассмотрение комплекса вопросов, связанных с обеспечением безопасности в техносфере, в частности промышленной и экологической безопасности, защите в чрезвычайных ситуациях, 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

СОДЕРЖАНИЕ

	От редактора	5
Секции А-1 – Лазерная физика и техника		
1	В.Н. Савин, В.А. Степанов, М.В. Шадрин Высокоскоростная мультисенсорная технология измерения, контроля и 3D анализа объектов сложной формы в условиях производства	6
2	Пугин К.В., Савин В.Н., Степанов В.А., Шадрин М.В. Лазерное устройство для измерения и контроля внутренних отверстий изделия	7
3	Головков О.Л., Купцова Г.А., Степанов В.А. Применение акустооптики в системах точного наведения лазерного излучения на цель	9
4	Головков О.Л., Купцова Г.А., Степанов В.А. Особенности спектра генерации Nd ⁺³ :YAG лазера	11
5	Головков О.Л., Иванищев К.В. Применение триангуляционного лазерного датчика для измерения внутриглазного давления	13
6	И.Г. Иванов Накачка ионных лазеров на парах металлов с РПК разнополярными импульсами тока	15
7	И.Г. Иванов, А.А.Олейников Ионные лазеры на парах металлов с разрядом поперечного типа и комбинированной активной средой	16
8	Д.В. Свистунов Двухпоточковая передача данных в ВОЛС с модовым мультиплексированием	18
9	В. И. Донин, Д. В. Яковин, А. В. Грибанов, М. Д. Яковин Новый метод управления длительностью импульсов генерации в твердотельных лазерах	19
10	А.И. Бодров, В.С. Зоркин, В.В. Кюн, А.Я. Паюров, А.А. Сипайло, Е.Г. Чуляева Определение гармонических составляющих шума на фоне других видов шумов лазерного излучения	20
11	Е.В. Тимченко, П.Е.Тимченко, А.А. Асадова, Ю.Д. Итяксов Исследование эффективности лечения амоксициклавом стафилококковой инфекции в небных миндалинах с помощью оптических методов	22
12	Е.В. Тимченко, П.Е. Тимченко, Л.Т. Волова, Д.А. Долгушкин, П.Ю.Шалковская, Д. С. Трапезников Спектральный анализ поверхности аортальных клапанов сердца до и в процессе их децеллюляризации	23

13	П.Е.Тимченко, Е.В. Тимченко, Л.Т. Волова, Д.А. Долгушкин, А.С. Тюмченкова, М.Д.Маркова, В.А. Лазарев Анализ изменений состава поверхности суставного гиалинового хряща, происходящих с возрастом, методом спектроскопии комбинационного рассеяния	24
14	Е.В. Тимченко, П.Е.Тимченко, Л.Т. Волова, А.А.Асадова, Я.В.Федорова Метод спектроскопии комбинационного рассеяния для оценки костной ткани крыс при моделировании снижения минеральной плотности	26
15	П.Е. Тимченко, Е.В. Тимченко, Л.Т. Волова, Д.А. Долгушкин, В.В. Болтовская, О.О. Фролов, В.Д. Мещеряков Метод спектроскопии комбинационного рассеяния для оценки костных биоимплантатов, изготовленных по технологии «Лиопласт» из кадаверной и прижизненно резецированной костной ткани	28
16	Е.В. Тимченко, П.Е.Тимченко, Л.Т. Волова, Д.А. Долгушкин, Шалковская П.Ю. Детальный анализ спектров биоимплантатов методом Фурье-деконволюции	30
17	Е.В. Тимченко, П.Е.Тимченко, Л.Т. Волова, Д.А. Долгушкин, М.Д.Маркова, Е. Ф. Ягофарова Спектральный анализ суставной жидкости для выявления патологий суставной поверхности	32
18	Г.Д. Чеботарев Численная многопараметрическая оптимизация в задачах математического моделирования ионных рекомбинационных лазеров	33
19	Г.Д. Чеботарев Оптимизация параметров ионного лазера на парах стронция в режиме совместной генерации на видимых и ИК переходах	35
20	Г.Д. Чеботарев Характеристики и свойства активных сред рекомбинационных He-Sr и He-Ca лазеров	37
21	Г.Д. Чеботарев, Е.Л. Латуш Объемное масштабирование рекомбинационного лазера на парах кальция	38
22	Е.Л. Латуш Возможности создания He-Sr(Ca) рекомбинационных лазеров с заданными характеристиками за счет выбора их тепловых режимов	39
23	Т.Д. Петухов, С.Н. Торгаев, Е.Н. Тельминов, Г.С. Евтушенко Усиленное спонтанное излучение на D-линиях натрия при широкополосной оптической накачке	41

24	Е.А. Корсакова, А.С. Корсаков, А.С. Литвинова, Л.В. Жукова Световоды для среднего ИК диапазона спектра в конфокальной лазерной сканирующей микроскопии для биологических исследований	43
25	С.А. Шойдин Формфактор голограмм портретных изображений	45
26	С.А. Шойдин Формфактор голограмм и временная когерентность записывающего излучения	48
27	Е.Т. Аксёнов, О.А. Головань Спекл-корреляционный метод в исследовании параметров капиллярного кровотока	49
28	В.В. Жуков О возможности применения ионных лазеров на парах металлов для целей фотодинамической терапии	51
29	В.В. Жуков О возможности применения ионных лазеров на парах металлов в фототерапии желтухи новорожденных	53
30	В.Е. Привалов, С.А. Шойдин О параметрах излучения лазера для голографии	55
31	С.Э. Логунов, В.В. Давыдов, А.Ю. Кошкин Когерентно-оптический анализатор магнитных полей	57
32	О.В. Мкртычев, В.Г. Шеманин Статистические закономерности лазерной абляции при определении дефектов разных видов	60
33	В.В. Артемьев, В. В. Давыдов, Н.М. Гребеникова Рефрактометр для контроля состояния текущей жидкой среды	61
34	Л.Н. Галль, Н.Р. Галль, А.А. Кокая, В.П. Козяков О физической модели взаимодействия лазерного излучения с тканями живого организма	64
34	А.И. Грибенюков, В.В. Демин, И.Г. Половцев, Н.Н. Юдин Физические принципы создания перестраиваемого терагерцового лазера	68
35	В.А. Алексеев, А.С. Перминов, С.И. Юран Моделирование рассеяния света в биоткани методом Монте-Карло для планарных оптоэлектронных датчиков	70
37	З.А. Забалуева, Э.К. Непомнящая, Е.Н. Величко, Е.Т. Аксенов Метод кросс-корреляции для определения размеров наночастиц в мутных растворах	72
38	Е.Т. Аксёнов, Е.Н. Величко, Д.Р. Валитов Исследование биологических тканей методом рассеяния поляризованного света	74

39	П.А. Борисовский, С.В. Гаврилов, Е.Н. Моос, Г.В. Киселев, Л.И. Киселева, А.И. Кудюкин, В.А. Степанов Особенности эволюции морфологии поверхности электродов лазера в плазме дугового газового разряда	76
40	А.Н. Солдатов Создание многоволновых лазерных систем видимого и ИК-диапазонов, их применения	79
41	И.М. Ашарчук, М.С. Баранов, В.И. Соколов, В.В. Рочева, М.Е. Николаева, К.В. Хайдуков Разработка волноводных лазеров видимого и УФ диапазонов на основе апконвертирующих нанофосфоров	81
42	А.И. Дудина, Э.К. Непомнящая, Е.Н. Величко Метод когерентного рассеяния света для исследования процессов агрегации магнитных наночастиц в феррожидкостях	82
43	А.Н. Солдатов, Ю.П. Полунин, А.С. Шумейко, И.К. Костадинов, Н.В. Саботин, И.В. Реймер Лазерный излучатель на парах стронция с выходной мощностью 10 Вт	84
44	А.И. Желнина, Е.А. Савченко, Е.Н. Величко, Е.Т. Аксенов Сортировка частиц в градиентных полях	86
45	М.В. Путинцева, Е.Т. Аксёнов, Е.Н. Величко Неинвазивная диагностика нарушения эластических свойств артериальных сосудов и определение оценки артериальной жесткости	88
46	М.А. Баранов, Е.Н. Величко, Е.Т. Аксенов, Э.К. Непомнящая Оптическая микроскопия в исследованиях бактерицидной активности биологических жидкостей	89
47	А.П. Алексеенко, М.А. Баранов, Э.К. Непомнящая, Е.Н. Величко Изучение самоорганизации с помощью лазерно-информационных технологий	92
48	А.Н. Солдатов, Ю.П. Полунин, И.К. Костадинов, А.С. Шумейко, А.В. Васильева, Я.А. Лоева Оптимизация процесса абляции костной ткани в среднем ИК-диапазоне при низкой частоте повторения импульсов	94
49	А.Н. Солдатов, А.С. Шумейко, А.В. Васильева, И.К. Костадинов, В.Ю. Юрин Многоволновый лазер для обработки хрупких, неоднородно-напряженных материалов	95
50	К.В. Хайдуков, Соколов В.И, В.В. Рочева, М.Е. Николаева, А.Г. Савельев, М.С. Баранов, И.М. Ашарчук Волноводные эрбиевые усилители на основе нанокompозитных полимерных материалов	96

51	И.Ю. Шеина, Е.А. Савченко, Е.Т. Аксёнов, Е.Н. Величко, Э.К. Непомнящая Флуоресценция одиночных молекул в затухающих полях	98
52	Е.Т. Аксёнов, Е.Н. Величко, А.И. Семенова Исследование объектов методом рассеяния поляризованного света	100
53	А.В. Усольцева Лазерная абляция биоматериалов	102
Секции Б-2 – Нанотехнологии		
54	Д. Д. Салимгареев, А. Е. Львов, А. С. Корсаков, Л. В. Жукова Исследование термодинамических и оптических характеристик кристаллов системы $\text{AgBr} - (\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54})$	105
55	А.С. Корсаков, А. Е. Львов, Д. Д. Салимгареев, Л.В. Жукова Разработка структуры фотонных световодов на базе модифицированных галогенидов серебра и исследование их функциональных свойств	107
56	М.С Корсаков, А.С.Корсаков, Д.С.Сучкова Синтез кристаллов состава $\text{AgBr}_{0.17}\text{Tl}_{0.83}$ для лазерной техники и волоконной оптики	109
57	В.В. Трегулов, В.А. Степанов, Н.Н. Мельник Исследование полупроводниковой структуры с <i>p-n</i> -переходом, сформированным в пленке пористого кремния с помощью лазерного излучения	111
58	Д. Д. Салимгареев, А. Е. Львов, А. С. Корсаков, И. А. Кашуба, Л. В. Жукова Исследование радиационной стойкости волокон на основе галогенидов серебра и одновалентного таллия	113
59	А. Е. Львов, Д. Д. Салимгареев, М. С. Корсаков, А. С. Корсаков, Л. В. Жукова Моделирование структуры и изготовление фотонно-кристаллических волокон для диапазона 2-25 мкм и модификация их поверхности	114
60	А. А.Лашова, А. С.Корсаков, А. Е.Львов, Л. В. Жукова Моделирование фотонной структуры световодов с увеличенным диаметром поля моды на основе кристаллов систем AgBr-Tl , AgBr-AgCl	116
61	Л.К. Ермаков, П.А. Родный, В.М. Ханин Планарный базис ЛКАО в методе разложения функции Грина в непрерывную дробь при расчете электронной структуры кристаллов YAG	118
62	Е.А. Кривонос, Е.В. Колпакова Исследование влияния криогенной обработки на плотность дислокаций в твердосплавных материалах	120

63	Б.П. Колесников, А.С. Магомадов Критический индекс проводимости перколяционного кластера	122
64	Ермолаев В. А., Моисеева Н. М. Расчет угловых и частотных спектров отражения и пропускания планарной композиционной анизотропной структуры	125
65	А.Б. Аткарская, В.С. Каунов, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин Изменение пропускания света многослойными композитами	127
66	А.Б. Аткарская, С.Ю. Кабанов, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин Микротвердость многослойных стеклянных композитов	129
Секция В-3 – Компьютерные технологии и системы обработки изображений и сигналов		
67	Л.С. Елкина, Е.К.Егорова, В.Т.Прокопенко, Н.В.Матвеев, Н.П.Сапунова Методы обработки и анализ абстрактных изображений лазерной графики в контексте стресс-менеджмента	132
68	К.П.Беляев Сравнение двух методов расчета задачи о продольном сдвиге периодической волокнистой среды с несовершенным контактом матрицы и волокна	134
69	П.С. Кудрявцев Спектральный метод формирования моделей морфологических образований на рентгенограммах грудной клетки	136
70	Ю.Б. Мухатаев Интеллектуальная система для прогнозирования медицинского риска по показателям электропроводности в аномальных зонах	138
71	Д.Ю. Савинов, Е.С. Шкатова Технологии мета-анализа в задачах доказательной медицины	140
72	Е.А. Старцев Метод прогнозирования медицинского риска водителей экстремальных служб	142
73	Комлев И.А., О.В. Шаталова Динамические модели для прогнозирования профессиональных заболеваний	144
74	Н.А. Полковникова Анализ и обработка больших данных для морских судов	146
75	Н.А. Полковникова, А.К. Полковников Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений для главных судовых дизелей	148
76	О.В. Звездная Пунктиротерапия	150
77	Е.В. Колпакова, Е.А. Кривонос О теоремах существования обобщенных решений в случае	

	обобщенного собственного спектра бигармонического оператора	152
78	Ю. Ю. Петрова, Т. М. Сухов, Е. Г. Чернякевич Обработка изображений и решение частных задач в области распознавания транспортных средств в режиме реального времени	153
79	А.Н. Солдатов, Ю.П. Полунин, И.Э. Размахнин, Н.А. Юдин, Н.Н. Юдин Эффективность накачки активной среды лазеров на парах металлов в режиме “пониженных” энерговыделений	155
80	В.Г. Андреев, А.М. Вальшин, С.И. Соловьев 8-канальный генератор для формирования ультразвукового закрученного пучка	157
81	А.М. Вальшин, С.М. Першин, Р.В. Борисова Безэлектродная высокочастотная емкостная накачка газоразрядных источников света	158
82	А.М. Вальшин, С.М. Першин, А.З. Файзуллина Высокочастотная индуктивная накачка безртутных газоразрядных источников света на инертном газе Ne	160
83	А.М. Вальшин, С.М. Першин, Г.М. Михеев Исследование порога зажигания разряда в импульсных лампах от частоты накачки и охлаждающей жидкости	162
84	А.М. Вальшин, С.М. Першин, Р.Р. Акбалин Спектральные характеристики различных импульсных ламп для накачки твердотельных лазеров	164
Секция Г-4 – Геотехнологии и геоэкологический мониторинг		
85	Мязин Н.С., Рукин Е.В., Давыдов В.В., Мазинг М.С. Бесконтактные методы мониторинга состояния окружающей среды	166
86	О.А. Романовский, С.А. Садовников, О.В. Харченко, С.В. Яковлев Широкополосный лидар ближнего/среднего ИК диапазонов для газоанализа атмосферы	168
87	В.Л. Козлов, Н.В. Козлова Анализ функций, реализующих корреляционную обработку для измерения дальности по цифровым изображениям	168
88	В.М. Белкин, Д.А. Смунев, М.М. Кугейко Использование регрессионных соотношений между концентрацией газов и измеряемыми оптическими сигналами	171
89	В. С. Горяинов, В. И. Черноок, А. А. Бузников Применение лидаров в промышленной океанографии	173
90	П.П. Гейко, И.В. Самохвалов, Сергей Сергеевич Смирнов Детектирование атмосферных газовых примесей методом ДОАС	175

91	В.В. Татур, Александр Алексеевич Тихомиров Особенности работы ртутной капиллярной лампы с естественным изотопным составом в переносном анализаторе паров ртути	177
92	В.В. Кальчихин, А.А. Кобзев, И.М. Краснолобов, Александр Алексеевич Тихомиров Помехи в оптическом канале лазерного дисдрометра. Проблема и ее решение	179
93	А.А. Невзоров, С.И. Долгий, А.В. Невзоров, Ю.В. Гриднев, О.А. Романовский Лидарные измерения озона в верхней тропосфере – стратосфере над г. Томск	181
94	М. Ю. Керносов, С. Н. Кузнецов, Б. И. Огнев, С. Ю. Поляков, С. Е. Широбакин Анализ эффективности конструктивных решений оборудования высокоскоростной оптической беспроводной связи с учетом воздействия турбулентной атмосферы	182
95	А. А. Боев, М. Ю. Керносов, С. Н. Кузнецов, Б. И. Огнев, А. А. Паршин Беспроводный канал передачи информации со скоростью 40 Гбит/с	184
96	И.В. Самохвалов, И.Д. Брюханов Оценка микроструктуры облаков верхнего яруса на основе базы данных по матрицам обратного рассеяния света	185
97	И.В. Самохвалов, И.Д. Брюханов Степень деполяризации лидарного сигнала от облаков верхнего яруса: влияние поляризации зондирующего излучения	187
98	Д.В. Александров, М.Н. Дубров, В.В. Кравцов Разработка методов линеаризации лазерно-интерферометрических данных	189
99	В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин Лидарная система мониторинга радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха	191
100	В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин Лидарное зондирование молекул сероводорода в атмосфере	193
101	Д.В. Апексимов, А.А. Землянов, А.Н. Иглакова, А.М. Кабанов, О.И. Кучинская, Г.Г. Матвиенко, В.К. Ошлаков, А.В. Петров Множественная филаментация лазерных пучков на 150-метровой атмосферной трассе	195
102	В.А. Алексеев, В.П. Усольцев, С.И. Юран, Д.Н. Шульмин Оптоэлектронная система предупреждения аварийных загрязнений сточных вод	196
1030	Яковенко С.В., Будрин С.С., Долгих С.Г., Чупин В.А., Швец В.А.	

	Исследование смещений земной коры с использованием GPS и лазерной интерферометрии	198
104	Долгих Г.И., А.А. Плотников Лазерно-интерференционный измеритель градиента давления	200
105	В.А Чупин, Г.И. Долгих, С.Г. Долгих, С.В. Яковенко Исследование структуры морского дна лазерным деформографом в арктических условиях	202
106	С.Г. Долгих, Г.И. Долгих, В.А. Чупин, С.В. Яковенко Применение лазерно-интерференционных методов в геофизических исследованиях	204
107	И.Ф. Поначевная, А.А. Ким Широкоапертурный узел ввода излучения в оптическое волокно для лидарных сканирующих систем	206
108	Е.И. Веденин, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин Перспективы использования метода обратного рассеяния для измерения функции распределения частиц по размерам	208
109	А.О. Васильев, Э.Р. Пипит, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин Измеритель интегрального ИК поглощения метана в воздухе	210
110	С.В. Половченко, В.Е. Привалов Аппроксимация спектров размеров частиц, полученных в результате механической активации, оптимальной функцией распределения	212
111	В.Е. Привалов, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин Решение обратных задач интегрального ослабления и рассеяния света многокомпонентными аэродисперсными потоками	214
Секция Д-5 –Техносферная безопасность		
112	М.Н. Чура, Н.Н. Чура Техносферная безопасность: анализ опасностей, риск-ориентированный подход	218
113	В.Н. Пахотин Исследование процесса фильтрования при изменении геометрических характеристик наполнителя и технологических параметров слоёв запылённого потока	221
114	К.А. Балакирева, И.Г. Береза Обработка водяного балласта на портовых сооружениях	223
115	Т.К. Новикова, А.М. Стихова, Т.Г. Жмырко, К.В. Очеретянная, А.З. Дегерли Состояние фитопланктона прибрежных вод г. Новороссийска в условиях антропогенного воздействия	225
116	Д.А. Давыдов, В.А. Туркин Пути развития технологий по снижению загрязнения атмосферы с судов при плавании в зоне SECA	227
117	Н.А. Страхова Н.А., Н.С. Дырдин	

	Экологическая безопасность на судах	229
118	Р.Ю. Атласов, В.А. Туркин Обзор мероприятий, позволяющих снизить выбросы загрязняющих веществ судовыми дизелями	231
119	Г.В. Игнатенко, В.А. Туркин Снижение выбросов парниковых газов судовыми энергетическими установками методом их адсорбции твердым веществом	233
120	Д.А. Корниенко, В.А. Туркин Использование водотопливных эмульсий для снижения концентрации загрязняющих веществ в отработавших газах судовых дизелей	235
121	М.В. Пустовойт, В.А. Туркин Особенности экспериментального определения концентрации вредных веществ в отработавших газах судового двигателя	237
122	А.В. Туркин Применение кислородного озонирования для очистки отработавших газов судового двигателя	239
123	А.С. Магомадов, Ю.В. Королева Изучение процессов тепло-массопереноса при получении пресной воды из атмосферного воздуха	241
124	А.С. Магомадов, Э.К. Вайниловский, В.В. Герасимова Изучение коэффициента теплопроводности газовых конденсатов в широкой области температур и давлений	245
125	Е.В. Бухович, Н.В. Бухович, А.С. Магомадов Исследование зависимости изобарной теплоемкости от коэффициента объемного расширения для нормального гексана	246
126	В.В. Дьяченко, Л.Г. Дьяченко Атмосферный перенос и загрязнение окружающей среды	248
127	А.Е. Воробьев, Г.К. Ташкулова Опыт и перспективы реализации российской государственной программы высокотехнологичного образования - «Глобальное образование»	251
128	Н.К. Веремьев, К.Н. Веремьев, С.Е. Баранов, В.И. Сикорский Электрическая очистка пылегазовых потоков	255
129	И.Ю. Матасова, Р.В. Кулебякин, Е.О. Цветкова К вопросу об использовании ГИС в обеспечении экологической безопасности территорий	257
130	А.М. Стихова, Р.В. Яковлев, Т.К. Новикова Оценка шума строительства жилого комплекса в г. Новороссийске	258
131	В.В. Дьяченко, Л.Г. Дьяченко Геохимические особенности дефляционных аэрозолей	

	Прикаспийской низменности	260
132	В.Е. Привалов, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин О некоторых путях повышения амплитудного разрешения при многочастотном лазерном зондировании аэродисперсных потоков	263
Представляем журнал		
	Журнал «Фотоника»	266
	Журнал «Безопасность в техносфере»	267

ТРУДЫ
XXV Международной Конференции
ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ,
БИОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И ТРАНСПОРТЕ – 2017

4-9 сентября 2017
Новороссийск

Подписано в печать 22.08.2017. Формат 60x84/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 7,25. Уч.-изд. л. 7,25. Тираж 100. Заказ 3019d.

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО
Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова
353018, Новороссийск, пр. Ленина, 93

Налговая льгота – общероссийский классификатор продукции ОК-005-93, том 2-953000