

Летняя научная сессия АНО ПНР
«Междисциплинарная Академия Науки и Инноватики»

ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА «НАУКА И ИННОВАЦИИ» «ISS – SI» 2019





Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере
Министерство образования и науки Республики Марий Эл
АНО Поддержки научных разработок «Междисциплинарная Академия Науки и Инноватики»
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»
ФГБУН «Институт спектроскопии РАН»
ФГБУН «Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского» Казанского научного центра РАН
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет»
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»
Российская академия естествознания
Малое предприятие (бизнес-инкубатор высоких технологий) ООО «ОРОЛ»
ООО «НПК-Экоблест»
Государственный природный национальный парк «Марий Чодра»
ЧУ «Пансионат Яльчик»

МАТЕРИАЛЫ
ЧЕТЫРНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ
«НАУКА И ИННОВАЦИИ-2019»
ISS «SI-2019»

Летняя научная сессия АНО ПНР
«Междисциплинарная Академия Науки и Инноватики»

XIV Международная научная школа-семинар
«Фундаментальные исследования и инновации:
нанооптика, фотоника, и когерентная спектроскопия»

Материалы Всероссийского молодежного научного семинара
«Наука и инновации 2019»

29 июня – 7 июля 2019 года

Йошкар-Ола
2019

УДК 001.895:(53+57+316+61)
ББК 26.8
М 341

Программный комитет

Председатель

И.И. Попов – д.ф.-м.н., профессор, Президент АНО ПНР МНИ

Сопредседатели:

Иванов Д.В. – член.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор, Каримуллин К.Р. – к.ф.-м.н., ученый секретарь
проректор по науке ПГТУ

Члены программного комитета:

В.С. Абрамов (Украина, Донецк)
А.А. Агибалов – вице-президент АНО ПНР МНИ
С.Я. Алибеков (Россия, Йошкар-Ола)
Ю.В. Банний (Россия, Москва)
А.У. Баходуров (Таджикистан, Худжан)
А.А. Васильев (Россия, Москва)
Е.А. Виноградов – чл.-корр. РАН (Россия, Москва-Троицк)
А.Г. Витухновский (Россия, Москва)
В.В. Воронин – первый вице-президент АНО ПНР МНИ (Россия, Москва)
В.А. Голенищев-Кутузов (Россия, Казань)
А.В. Голенищев-Кутузов (Россия, Казань)
Ю.Б. Грунин (Россия, Йошкар-Ола)
З.Г. Зорина (Россия, Йошкар-Ола)
А.А. Калачев (Россия, Казань)
Д.И. Камалова (Россия, Казань)
В.П. Кандидов (Россия, Москва)

К.Р. Каримуллин (Россия, Москва-Троицк) – ученый секретарь школы-семинара
Н.Н. Митракова (Россия, Йошкар-Ола)
С.А. Моисеев (Россия, Казань)
А.В. Наумов (Россия, Москва – Троицк)
В.Г. Наводнов (Россия, Йошкар-Ола)
Д.В. Николаев (Россия, Москва)
А.А. Роженцов (Россия, Москва-Троицк)
Р.Ф. Полищук (Россия, Москва)
М.Х. Салахов – Президент, академик АНТ (Россия, Казань)
А.У. Садыков (Россия, Москва)
К.М. Салихов – академик РАН (Россия, Казань)
Н.И. Сушенцов (Россия, Йошкар-Ола)
А.Л. Степанов (Россия, Казань)
Ю.В. Усков (Россия, Йошкар-Ола)
С.В. Чекалин (Россия, Москва-Троицк)
Д.А. Чубич (Россия, Москва)

Организационный комитет

Председатель

И.И. Попов – д.ф.-м.н., профессор каф. КиПР, ФГБОУ ВО ПГТУ

Сопредседатели:

В.Е. Шебашев – ректор ФГБОУ ВО ПГТУ
А.А. Калачев – директор КазФТИ КНЦ РАН

Члены оргкомитета:

Ю.С. Андрианов (Йошкар-Ола)
А.А. Баев (Йошкар-Ола)
А.У. Баходуров (Таджикистан, Худжан)
Е.А. Виноградов (Троицк-Москва)
Е.И. Гладышева (Йошкар-Ола)
А.Н. Дедов (Йошкар-Ола)
К.Р. Каримуллин (Троицк-Москва)
С.И. Ксенофонтов (Йошкар-Ола)

А.В. Мороз (Йошкар-Ола)
Д.А. Никитин (Йошкар-Ола)
А.А. Роженцов (Йошкар-Ола)
С.А. Степанов (Казань)
Н.И. Сушенцов (Йошкар-Ола)
С.А. Туйкин (Москва)
А.А. Гладышева (Йошкар-Ола)
Е.А. Гладышева (Йошкар-Ола)

Председатель локального организационного комитета:

Гладышева Елена Ивановна,
E-mail: e.glad76@mail.ru, тел. +7 962 588 02 50

Заместитель Председателя локального организационного комитета:

Ксенофонтов Станислав Иванович
E-mail: тел. +79877184419

М341 Материалы Четырнадцатой международной научной школы «Наука и инновации-2019» ISS «SI-2019» / Редакционная коллегия: проф. И. И. Попов. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2019. – 226 с.

ISBN 978-5-8158-2111-8

В данный сборник вошли лекционные заметки и статьи приглашенных лекторов по актуальным научным проблемам, сообщения докладчиков по инновационно-ориентированным НИР

https://old.volgatech.net/news/news-of-the-university/77403/?sphrase_id=106257

ISBN 978-5-8158-2111-8

© ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

I ИННОВАТИКА И АКМЕОЛОГИЯ

1. Попов И.И.	НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ «НАУКА И ИННОВАЦИИ»	6
2. РЕШЕНИЕ Летней научной сессии АНО поддержки научных разработок «Междисциплинарная Академия Науки и Инноватики»		9
3. Попов И.И.	ГЛОБАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОБЛЕМ	12
4. Попов И.И.	ОБОСНОВАНИЕ НЕИЗБЕЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОСНОВ НОВОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ	27
5. Попов И.И., Данилова М.А., Иванов А.В., Ксенофонов С.И., Мороз А.В., Никитин Д.А., Попов Д.Ю., Степанов С.А., Сушенцов Н.И., Федоров Б.А.	ВИХРЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КРИСТАЛООБРАЗОВАНИЯ ТЕКСТУРИРОВАННЫХ ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НАНОРАЗМЕРНОЙ ТОЛЩИНЫ	35
6. Попов И.И.	ИДЕОЛОГИИ ДУХОТВОРЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА (ИДРО)	42
7. Попов И.И., Есенокова Ф.Б., Есенокова Р.В.	МЕТОД ДИАГНОСТИКИ И КОРРЕКЦИИ ПСИХОСОМАТИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПО МЕТОДУ ЕСЕНОКОВОЙ ФАТИМЫ БИХРЕЕВНЫ НА ОСНОВЕ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАФИИ	48
8. Попов И.И., Есенокова Р.В.	ПОСТРОЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МИРОВОЗЗРЕНИЯ ГАРМОНИЗАЦИИ ЖИЗНЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА УСТОЙЧИВОСТИ К ФИНАНСОВЫМ ПОТОКАМ	55
9. Попов И.И., Есенокова Р.В.	ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОТНОШЕНИЯ ПРИ РЕГЕНЕРАЦИИ НОВЫХ УКЛАДОВ ЖИЗНИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА УСТОЙЧИВОСТИ К МАТЕРИАЛЬНЫМ БЛАГАМ	58
10. Попов И.И., Есенокова Р.В.	ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ НА ОСНОВЕ СОЦИАЛЬНОГО СТАТУСА ЛИЧНОСТИ (ССЛ)	60
11. Плыкин В.Д.	КОНЦЕПЦИЯ ПРИРОДОПОДОБНОГО СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКИХ ИНЖЕНЕРОВ НОВОЙ ФОРМАЦИИ	64
12. Плыкин В.Д.	ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИРОДОПОДОБНОГО СОЗИДАТЕЛЬНОГО СОЦИУМА В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ	72
13. Плыкин В.Д.	ВИХРЕВАЯ РЕЗОНАНСНАЯ МОДЕЛЬ ВСЕЛЕННОЙ И ЕЁ ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ	78

II ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОИСКОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ

14. Абрамов В.С.	АКТИВНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ, АТОМНЫЕ ДЕФЕКТЫ, НЕЙТРИНО И ПОЛЕ ХИГТСА В МОДЕЛЯХ ФРАКТАЛЬНОЙ КОСМОЛОГИИ	87
15. Кандидов В.П., Васильев Е.В., Чекалин С.В., Компанец В.О., Шленов С.А.	ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ СВЕТОВЫХ ПУЛЬ В ВИХРЕВОМ ПУЧКЕ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	98
16. Прокопова Д.В., Ефимова К.В., Кишкин С.А., Котова С.П., Лосевский Н.Н., Самагин С.А.	АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СПИРАЛЬНЫХ ПУЧКОВ СВЕТА	106

III ФИЗИКА РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ЕЕ ИННОВАЦИОННАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

17. Самарцев В.В., Митрофанова Т.Г., Хасанов О.Х.
ЭКСИТОННАЯ НУТАЦИЯ В СЛОЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК 111
18. Архиреев И.А., Аленбаев А.И., Вашурин Н.С., Воронин Д.Е., Гладышева А.А.,
Никитин Д.А., Попов И.И., Степанов С.А., Сушенцов Н.И.
ОЦЕНКА ВКЛАДА ЭКСИТОН-ФОНОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОДНОРОДНОЕ
УШИРЕНИЕ КВАНТОВЫХ УРОВНЕЙ ЭКСИТОННЫХ СОСТОЯНИЙ
И СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ РЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕХОДА В ПЛЕНКАХ ZNO 115
19. Магарян К.А., Каримуллин К.Р., Васильева И.А., Наумов А.В., Григорьев Ю.В.
ПРОСТРАНСТВЕННО-СПЕКТРАЛЬНЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ В ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ
ЖК-НАНОКОМПОЗИТОВ: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ
И ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ 121
20. Архиреев И.А., Вашурин Н.С., Воронин Д.Е., Гладышева А.А., Ксенофонов С.И.,
Никитин Д.А., Попов И.И., Степанов С.А., Сушенцов Н.И.
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВКЛАДА ЭКСИТОН-ФОНОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
В ОДНОРОДНОЕ УШИРЕНИЕ КВАНТОВЫХ УРОВНЕЙ ТРИОННОГО СОСТОЯНИЯ
И СПЕКТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ РЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕХОДА В ПЛЕНКЕ SI(P)/SI(B)/ZnO 127
21. Козырев А.Г., Мороз А.В., Михеева Е.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ
НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА 134

IV ФИЗИКА-МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ-ТЕХНОЛОГИИ-ОБОРУДОВАНИЕ

22. Иванова Л.С., Филимонов В.Е.
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКА ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА
ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ 142
23. Орлов А.И., Самойлов К.А.
ВЫБОР ЕМКОСТИ БАЛАНСИРУЮЩЕГО НАКОПИТЕЛЯ
ПРИ СГЛАЖИВАНИИ ПИКОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ 147
24. Садыков М.Ф., Ярославский Д.А., Иванов Д.А., Горячев М.П., Галиева Т.Г.,
Тюрин В.А., Сайфутдинова А.Р.
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, УЧИТЫВАЮЩАЯ УГОЛ КРУЧЕНИЯ ПРОВОДА 152
25. Садыков М.Ф., Ярославский Д.А., Иванов Д.А., Горячев М.П., Галиева Т.Г.,
Тюрин В.А., Муртазина Г.Р.
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СЕТЬ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ 159
26. Сидорова В.Т., Рокина Е.Г.
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ КОМПЕНСАЦИИ
РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ВОЗДУШНЫХ СЕТЯХ 0,4 КВ 168
27. Сипатдинов А.М., Мороз А.В., Михеева Е.В.
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ И КОНТРОЛЯ ПОКРЫТИЙ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ 168
28. Грачев А.С.
СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТИ
НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП 174

V НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

29. Митрасов Ю.Н., Козлов В.А., Авруйская А.А., Медякова О.Б., Кондратьева О.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СРЕДЫ ОКРУЖЕНИЯ НА ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ
СВОЙСТВА 4-АЗА-4-АРИЛ-1-ГИДРОКСИМЕТИЛ-10-ОКСА-3,5-ДИОКСО-
ТРИЦИКЛО[5.2.1^{1,7}.0^{2,6}]ДЕЦ-8-ЕНОВ 175

VI ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ИННОВАЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ

30. Волков В.Е.	
КЛАССИФИКАЦИЯ ПОСТКОЛЭКТОМИЧЕСКИХ СИНДРОМОВ	<u>183</u>
31. Волков В.Е., Волков С.В.	
ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ НЕСОСТОЯТЕЛЬНОСТИ ШВОВ ДУОДЕНАЛЬНОЙ КУЛЬТИ ПОСЛЕ РЕЗЕКЦИИ ЖЕЛУДКА И ГАСТРЭКТОМИИ	<u>185</u>
32. Волков В.Е., Волков С.В.	
РОЛЬ ХИРУРГИЧЕСКОЙ САНАЦИИ САЛЬНИКОВОЙ СУМКИ И ЗАБРЮШИННОЙ КЛЕТЧАТКИ У БОЛЬНЫХ ОСТРЫМ НЕКРОТИЧЕСКИМ ПАНКРЕАТИТОМ	<u>190</u>
Ефремова О.А., Иванов Н.С., Краличкин П.В.	
33. ВЛИЯНИЕ СЕКРЕТА МОЛЛЮСКОВ ОТРЯДА STYLOMMATORHORA НА СКОРОСТЬ РЕПАРАТИВНОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ КОЖИ МЫШЕЙ	<u>193</u>
34. Любовцева Л.А., Мулендеев С.В., Любовцева Е.В., Мулендеев Д.С., Воробьева О.В., Столяров М.В.	
СОСТОЯНИЕ БИОАМИНСОДЕРЖАЩИХ СТРУКТУР ДЕСНЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАННИХ ПЕРИИМПЛАНТИТОВ	<u>196</u>
35. Любовцева Л.А., Самойлова А.В., Любовцева Е.В., Самойлова А.А., Самойлов А.А.	
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИСТАМИНА В ПЛАЦЕНТЕ ЧЕЛОВЕКА	<u>201</u>
36. Попов И.И.	
НОВОЕ ВОСХОЖДЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА	<u>203</u>
Аннотации статей опубликованных в	
ИЗВЕСТИЯХ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ В 2019	<u>209</u>
ПОЗДРАВЛЕНИЯ	<u>216</u>
ФОТОХРОНИКА ШКОЛЫ	<u>218</u>
ПЕРВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ	<u>223</u>
ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ – ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ	<u>224</u>

**НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ «НАУКА И ИННОВАЦИИ»****И.И. Попов**

Президент АНО ПНР «Междисциплинарная Академия Науки и Инноватики»,
Республика Марий Эл, п. Медведево, ул. Коммунистическая, 14.
ФГБОУ ВО Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола
biht.orol@gmail.com

Умному всегда дано богатым стать, лишь надобно уметь трудиться:
умом продукт полезный создавать, который в деньги может воплотиться.

Принцип устойчивости к финансовым потокам: «Уровень внутренней культуры (системы ценностей миропонимания и мировосприятия) человека определяет количество денег, которыми он может управлять, не разрушая свой нравственности».

Принцип устойчивости к материальным благам: «Уровень внутренней культуры (системы ценностей миропонимания и мировосприятия) человека определяет масштабы благ материального мира, с которыми он может соприкасаться, не разрушая своей нравственности» (допустимый предел нарушается при переходе от фазы пользования к фазе накопления).

Состоялась очередная ежегодная XIV Международная научная школа «Наука инновации 2019» (далее, Школа). Она проходила с 1 по 7 июля на территории Республики Марий Эл в пансионате «Яльчик» в сосновом бору 1 категории на берегу живописного карстового (провального) озера Яльчик.

Традиционно, в этом году Школа имела нарастающее качество. Если в прошлом году было заявлено создание на базе Школы Автономной некоммерческой организации поддержки научных разработок «Междисциплинарная Академия Науки и Инноватики» (далее, АНО ПНР МАНИ или Академия), то в этом году уже заявлены результаты работы Академии. Эти результаты были озвучены на проведенной в это же время Летней научной сессии АНО ПНР МАНИ, материалы которой публикуется в данном сборнике, в том числе сообщения о наиболее интересных проектах Академии, входящих в программы ПИЭР (Прорывного идеологического и экономического развития).

Появилась полемика в области идеологии и психологии. В области идеологического развития были рассмотрены вопросы мирового противостояния двух моралей, в том числе созидательной и потребительской, божественной (нравственной) и демонической (аморальной). Строились проекции этого противостояния на все объекты материального мира: от микромира до макромира, от бессознательного мира до сознательного. Предлагались подходы для реформатирования потребительской морали демонического содержания в потребление, равновесное с созиданием, входящие в божественную мораль. Рассматривались три фазы реализации морали. В том числе, о учениях религиозных и общественно-идеологических, об реализации этих учений в виде общественных строев. Из фаз первоначально выделялась фаза бытия, направленная на соблюдение этики повеления, далее фаза познания причин протекающих процессов, направленная на планирование действий, и в завершении фаза познания Истины (мироустройства), направленная на выработку характера совершаемых действий. При чем божественная мораль, в этом случае, работает на синхронизацию развития (в рамках достигнутого уровня развития души) процесса реализации Замысла Бога. Демоническая же (потребительская) мораль заключалась в расширении методов и средств потребления, рассматривалась как форма продвижения вперед в режиме догонялок за развитием реализации Замысла Всевышнего Разума на основе удавшихся попыток познания элементов Истины.

Важным результатом стало обсуждение предложения обобщенной модели естественно

научного понимания процессов, протекающих в гуманитарной сфере. О механизмах их взаимодействия и выполняемых функциях.

Ярким результатом было обсуждение Смысла Жизни (накоплении опыта биологической жизни и трансформации его в развитие души) и выработка новой идеологии духовного развития общества (ИДРО) на основе нового духотворческого (опирающегося на естественный природный интеллект, т.е. мудрость) мировоззрения гармонизации (согласования) жизненных процессов и национальной идеи «Общее благо превыше личного») под лозунгом «От каждого по трудоспособности, каждому по вкладу в общее дело». Впервые рассматривалась форма оценки жизнедеятельности человека в рамках нового мировоззрения в виде формирования ССЛ (Социального Статуса Личности) с баллами (получаемыми объективными средствами), привязанными к личности и непередаваемыми третьим лицам, позволяющими человеку по его заслугам пользоваться ресурсами совместно создаваемых социальных фондов товаров и услуг.

Интересны и полезны были обсуждения подходов в развитии дорожных карт для реализации новых жизненных укладов в идеологии, юриспруденции, области кадровой политики (включая просвещение, воспитание и образование), здравоохранении, энергетике, инженерном творчестве, физкультуре и спорта, искусстве и культуре, экологии и других областях деятельности.

В рамках программы XIV Международной научной школы «Наука и инновации 2019», кроме заседаний по традиционным секциям, была проведена XIV Школа-семинар «Фундаментальные исследования: нанооптика, фотоника, когерентная спектроскопия», в рамках которой были проведены 9 секций, в том числе:

Секция 1. Инноватика и акмеология

На секции рассматривались проблемы междисциплинарных контактов фундаментальной науки и ее взаимодействия с развитием инновационной экономики России, обсуждались навыки ученых по формулированию своего мастерства в виде уникальных научно-поисковых компетенций, обладающих потенциалом зарождения уникальных технологических компетенций с глобальным превосходством или глобальной конкурентоспособностью, на примере результатов оптических исследований, подтвержденных предложениями по созданию конкурентоспособных на мировом рынке продуктов. Рассматривались акмеологические подходы к формированию команды инновационных проектов.

Секция 2. Когерентная оптика и оптическая спектроскопия

Обсуждались современные тенденции развития оптических исследований и оптической спектроскопии и оценивается инновационный потенциал получаемых результатов.

Секция 3. Оптиноформатика

Докладывались современные тенденции развития физических основ телепортации и построения квантовой памяти.

Секция 4. Нанооптические явления и эффекты

Рассматривались особенности нанооптики и ее новые возможности в научных исследованиях и получении прикладных разработок.

Секция 5. Наноэлектроника и экситоника

Демонстрировались современные тенденции развития экситоники, наноэлектроники.

Секция 6. Нанооптические и экситонные приборы

Сообщались новые физические принципы построения контрольно-измерительных и коммутационных приборов на основе оптических свойств наноразмерных объектов и экситонных комплексов.

Секция 7. Нанооптические материалы и методы их исследования

Обсуждались современные тенденции развития материалов с наноразмерными объектами, исследования их оптических свойств и оценивается инновационный потенциал получаемых результатов.

Секция 8. Физика резонансных явлений и ее инновационные аспекты

На секции рассматривались проблемы поиска фундаментальных результатов в областях физики и биофизики, смежных с когерентной и нелинейной оптикой, обеспечивающих глобальное превосходство или глобальную конкурентоспособность предполагаемых продуктов, создаваемых на их основе.

Стендовая секция 9. Нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия

Докладывались инновационно-ориентированные прикладные научные исследования в области когерентной и нелинейной оптики, бионики.

Лучшие научные сообщения данной школы-семинара приняты для опубликования в научном журнале Известия Российской Академии Наук, серия физическая и в ее переводном на английский язык варианте Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2018, Vol. 82.

В этот список включены следующие статьи:

Материалы XIV Международной научной школы-семинара «Фундаментальные исследования и инновации: нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия» (2–6 июля 2019 г., Йошкар-Ола, Россия)

1. Е.В. Васильев, В.П. Кандидов, В.О. Компанец, С.В. Чекалин, С.А. Шленов Формирование кольцевых световых пульс в вихревом пучке фемтосекундного излучения

2. В.В. Самарцев, Т.Г. Митрофанова, О.Х. Хасанов Экситонная нутация в слое полупроводниковых квантовых точек.

3. Д.В. Прокопова, Е.Н. Воронцов, С.П. Котова, Н.Н. Лосевский, С.А. Самагин, И.Т., Мынжасаров, А.А. Горшелев, И.Ю. Еремчев, А.В. Наумов Повышение энергетической эффективности дифракционных оптических элементов для задач трехмерной наноскопии.

4. Н.С. Перминов, К.В. Петровнин, Д.Ю. Таранкова, С.А. Моисеев Оптимизация фотонных молекул для квантовой памяти.

5. С.Н. Андрианов, Ю.Ю. Кочнева, О.П. Шиндяев, А.В. Шкаликов Критические параметры суженных волокон для датчиков физических величин.

6. В.Г. Никифоров Влияние локальной структуры жидкостей ацетонитрила и диметилсульфоксида на вращательные компоненты сверхбыстрого оптического эффекта Керра.

7. Д.К. Жарков, В.Г. Никифоров, А.Г. Шмелев, А.В. Леонтьев, В.С. Лобков Возможности двухимпульсной поляризационной фемтосекундной спектроскопии с регистрацией сверхбыстрого оптического эффекта Керра.

8. Д.К. Жарков, А.В. Леонтьев, Д.П. Павлов, Р.Ф. Мамин Особенности фотоиндуцированной проводимости гетероструктур на основе сложных оксидов лантана и стронция.

9. Д.В. Лапаев, В.Г. Никифоров, В.С. Лобков, А.А. Князев, Ю.Г. Галяметдинов Новые высокочувствительные пленочные сенсоры на основе мезогенных бета-дикетонатных комплексов лантановидов (III) для многоцветных люминесцентных термометров.

10. А.Г. Шмелев, А.В. Леонтьев, Д.К. Жарков, В.Г. Никифоров, Г.М. Фазлеева, Л.Н. Исламова, А.А. Калинин, Т.А. Вахонина, А.Ш. Мухтаров, М.Ю. Балакина, В.С. Лобков Генерация второй гармоники в плёнках полимерного электрета на основе метакриловых полимеров с органическими хромофорами

11. А.В. Леонтьев, Д.Л. Жарков, А.Г. Шмелев, В.Г. Никифоров, В.С. Лобков Люминесцентные характеристики наночастиц $\text{YVO}_4:\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$

12. Д.И. Камалова, Л.Р. Абдразакова ИК-спектроскопический анализ распределения свободного объема в пластифицированном поливинилбутирале.

13. В.А. Голенищев-Кутузов, А.В. Голенищев-Кутузов, Д.А. Иванов, Г.Д. Марданов, А.В. Семенников, Ю.В. Ваньков Комплексная диагностика дефектов высоковольтных изоляторов.

14. Р.Ш. Минязев, А.А. Румянцев, А.А. Баев, Т.Д. Баева Использование нейросети для выделения легких на рентгеновских изображениях.

15. А.А. Роженцов, А.А. Баев, А.О. Евдокимов, Г.И. Смирнова, Ю.Н. Ендальцев Исследование рентгеновских характеристик материалов для моделирования фантома торса человека.

16. Т.Ю. Могильная, В.И. Томилин, А.Г. Ботиков Исследование смещения антистоксовой волны в спектрах ВРМБ–усиления в коллоидных растворах, содержащих патогенные организмы и наночастицы.

17. А.М. Васильев, Д.Ю. Кукушкин, В.В. Трофимов Осаждение нанокластеров металлов из коллоидных растворов на поверхность пористых рулонных материалов методом электрофореза.

18. Д.П. Павлов, Т.С. Шапошникова, А.О. Чибирев, Ю.И. Головкин, В.М. Мухоморов, Р.Ф. Мамин Высокопроводящий слой на границе сегнетоэлектрика BaSrTiO_3 и ферромагнетика LaMnO_3 .

19. В.С. Абрамов Активные нанообъекты, нейтрино и поле Хиггса в анизотропных моделях фрактальной космологии.

20. И.И. Попов, Ф.Б. Есенокова, Р.В. Есенокова Стимулированное фотонное эхо на «длинных» солитонах и его применение в биоэнергетической эхо-голографии при диагностике и коррекции психосоматических заболеваний по методу Фатимы Есеноковой.

21. Попов И.И., Архиреев И.А., Вашурин Н.С., Воронин Д.Е., Гладышева А.А., Ксенофонов С.И., Мороз А.В., Никитин Д.А., Степанов С.А., Сушенцов Н.И. Оценка уширения трионных спектральных линий тонкой пленки Si(P)/Si(B)/ZnO в зависимости от экситон-фононного взаимодействия и других факторов.

Во время проведения XIV Международной научной школы «Наука и инновации 2019» были проведены ряд научных и инновационных конкурсов. Победителями Конкурса ученых-инноваторов «Оригинальный научный результат» стали Котова Светлана Павловна (г. Самара) и Кандидов Валерий Петрович (г. Москва), Конкурса уникальных научно-инновационных компетенций – Голенищев-Кутузов Вадим Алексеевич (г. Казань), Конкурса инновационных разработок – Николаев Дмитрий Викторович (г. Москва) и Агибалов Алексей Алексеевич (г. Москва), Конкурса «Молодежная инновация» Минязев Ринат Шавкатович (г. Казань) и Есенокова Роза Валерьевна (г. Москва), в Конкурсе «Лучший научный доклад молодых ученых» дипломы 1 степени вручены Прокоповой Дарье Владимировне (г. Самара) и Магарян Константину Арутюновичу (г. Москва-Троицк), дипломы 2 степени – Абдразаковой Лейсан Рустемовне (г. Казань), Романовой Вера Сергеевна (г. Москва).

За высокий вклад в развитие Международной научной школы «Наука и инновации» присвоено звание Почетного лектора Школы «Наука и инновации» Котовой Светлане Павловне (г. Самара).

Благодарность «за активное участие в работе оргкомитета и большой личный вклад, способствовавший успешному проведению школы» объявлена Гладышевой Елене Ивановне, Гладышевой Анне Андреевне, Гладышевой Екатерине Андреевне, Поповой Надежде Ивановне, Мороз Андрею Викторовичу, Каримуллину Камиллю Равкатовичу.

29
июня 2019
7 июля

НАУКА И ИННОВАЦИИ

29

июня 2019

7 июля

НАУКА И ИННОВАЦИИ

29

июня 2019

7 июля

НАУКА И ИННОВАЦИИ

29
июня 2019
7 июля

НАУКА И ИННОВАЦИИ

29

июня 2019

7 июля

НАУКА И ИННОВАЦИИ

АКТИВНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ, АТОМНЫЕ ДЕФЕКТЫ, НЕЙТРИНО
И ПОЛЕ ХИГГСА В МОДЕЛЯХ ФРАКТАЛЬНОЙ КОСМОЛОГИИ

В.С. Абрамов

Государственное Учреждение Донецкий физико-технический институт им. А.А.Галкина
83114, Украина, Донецк-114, ул. Розы Люксембург, 72
vsabramov2018@gmail.com

Исследуются взаимосвязи основных параметров активных нанообъектов (наночастицы, атомные дефекты, нейтрино) с бозоном Хиггса и полем Хиггса на основе моделей фрактальной космологии. Свойства активных нанообъектов зависят от давления, состояния физического вакуума и космологических параметров. На примере кварцевой наночастицы, захваченной в оптическую ловушку и помещенной в вакуум, получены оценки предельной частоты вращения частицы в лазерном поле с круговой поляризацией, размера наночастицы. На примере атомных дефектов в нанотрубках нитрида бора получены оценки длин волн квантовой эмиссии отдельных фотонов. Показано, что для нейтрино характерно явление гистерезиса. Получена оценка массы покоя нейтрино. Исследуются сверхбезизлучательные состояния физических полей.

Ключевые слова: наночастицы, нейтрино, бозон Хиггса, поле Хиггса, фрактальные квантовые системы, оптические ловушки, частота вращения, физический вакуум, сверхбезизлучательные состояния, фрактальная космология.

The relationships of the main parameters of active nanoobjects (nanoparticles, atomic defects, neutrino) with the Higgs boson and the Higgs field on the basis of fractal cosmology models are investigated. The properties of active nanoparticles depend on pressure, state of physical vacuum and cosmological parameters. Using the example of a silica nanoparticle, trapped in an optical trap and placed in a vacuum, estimates of the limiting frequency of rotation of a particle in a laser field with circular polarization and the size of the nanoparticle are obtained. Using the example of atomic defects in boron nitride nanotubes, we obtained estimates of the wavelengths of quantum emission of separate photons. The neutrino is characterized by the phenomenon of hysteresis. The estimation of the neutrino rest mass is obtained. Super-nonradiative states of physical fields are investigated.

Keywords: nanoparticles, neutrino, Higgs boson, Higgs field, fractal quantum systems, optical traps, frequency of rotation, physical vacuum, super-nonradiative states, fractal cosmology.

1. Введение. Лауреатами Нобелевской премии по физике 2018 года стали А. Ашкин, Ж. Муру и Д. Стрикленд за открытия в области лазерных технологий. А. Ашкин предложил использовать оптические ловушки, разработал технологию "оптического пинцета", которая позволяет манипулировать нанообъектами с помощью лазера [1]. Ж. Муру и Д. Стрикленд изучали сжатие усиленных чирпированных оптических импульсов [2]. Для сжатия импульсов используется отражение от дифракционных решеток. При этом использование периодических структур и метаматериалов [3] приводит к различным нелинейным эффектам. Фемтосекундная лазерная когерентная спектроскопия позволяет выявить особенности поведения активных объектов в таких нелинейных системах [4]. В [5] в качестве активного объекта исследуется кварцевая наночастица в вакууме, захваченная в оптическую ловушку. При этом спиновый момент импульса лазерного света передается механическому угловому моменту частицы. Возникает вращение одиночных 100 нм частиц на частотах порядка 1 ГГц. Атомноподобные дефекты в двумерном гексагональном нитриде бора (hBN) в последнее время стали перспективными для квантовой информатики. В [6] исследуется однофотонная квантовая эмиссия из атомных дефектов в нанотрубках нитрида бора (BNNT). Эта система проявляет высокую стабильность при комнатной температуре, что является привлекательным для создания различных оптико-механических приборов.

С другой стороны, такие наночастицы [5, 6] являются модельными нанообъектами [7] для изучения физических свойств вакуума, фрактальных квантовых систем. Привлечение гипотезы иерархического строения Вселенной [8, 9] дает возможность использовать эти экспериментальные результаты в космологии: при исследовании анизотропных моделей [10] фрактальных космологических объектов; сверхизлучения [10 - 12] гравитационных волн, реликтовых фотонов от бинарных черных дыр, нейтронных звезд; природы частиц темной материи и темной энергии [13, 14], хиральных фрактальных структур Вселенной. Также возни-

кает задача описания сверхбезизлучательных состояний различных полей: гравитационных, реликтовых фотонов, поля Хиггса, нейтринного поля, физического вакуума. При описании таких различных нелинейных физических моделей возникают особые точки (аттракторы), линии, поверхности, особые объемные структуры (странные аттракторы). Многие физические свойства вблизи указанных особенностей носят стохастический характер, возникает необходимость моделирования стохастических процессов. Аттракторы и поле деформации, взаимовлияние аттракторов и стохастических процессов в связанных фрактальных многослойных наносистемах исследовались в работах [15 - 17].

Целью работы является описание: модельного нанообъекта и поля Хиггса; связей параметров нейтрино с бозоном Хиггса и полем Хиггса; сверхбезизлучательных состояний фрактальных объектов.

2. Описание модельной наночастицы. Для этого используем связи энергий покоя бозона Хиггса $E_{H0}=125.03238\text{ГэВ}$ и гравитационного поля $E_G=12.11753067\text{мкэВ}$ из [10 - 12]

$$E_{H0}/E_G = \nu_{H0}^*/\nu_{G0} = N_{HG}; \quad E_G/\nu_{G0} = E_{H0}/\nu_{H0}^* = 2\pi\hbar. \quad (1)$$

Здесь $\hbar$ – постоянная Планка. С учетом выражений (1) находим параметр $N_{HG}=1.031830522 \cdot 10^{16}$. Численные значения характерных частот равны $\nu_{G0}=2.9304515\text{ГГц}$, $\nu_{H0}^*=3.0237293 \cdot 10^{25}\text{Гц}$. На основе этих характерных частот находим частоты гравитона $\nu_G = \nu_{G0}/N_a$ и эффективного бозона Хиггса $\nu_{H0} = \nu_{H0}^*/N_a$. Здесь число Авогадро $N_a = 6.025438 \cdot 10^{23}$. Численные значения $\nu_G = 4.8634664 \cdot 10^{-15}\text{Гц}$, $\nu_{H0} = 50.182731\text{Гц}$. Для ускоренно расширяющейся Вселенной в [9] получены основные соотношения связей параметра $|\xi_{0H}|^2$ с массами покоя эффективного атома m_H и бозона Хиггса M_{H0} в виде

$$|\xi_{0H}|^2 = m_H/M_{H0} = M_H/m_{H0} = E_H/E_{H0} = R_H/R_{H0}; \quad M_{Ha} = N_a M_H; \\ M'_{H0} = N_a m_{H0}; \quad R_H = 2GM_{Ha}/c_0^2; \quad R_{H0} = 2GM'_{H0}/c_0^2. \quad (2)$$

Здесь $M_H = N_a m_H = 24.41158758\text{г}$ и $m_{H0} = N_a M_{H0} = 134.2770693\text{г}$ – молярные массы эффективного атома и бозона Хиггса; $E_H = 22.73090194\text{ГэВ}$ – энергия покоя эффективного атома; $R_H = 21.84067257\text{мкм}$, $R_{H0} = 120.1356321\text{мкм}$ допускают интерпретацию радиусов Шварцшильда черных дыр с массами M_{Ha} , M'_{H0} ; $G = 6.672 \cdot 10^{-8}\text{см}^3\text{г}^{-1}\text{с}^{-2}$ – гравитационная постоянная Ньютона; c_0 – скорость света в вакууме. С учетом значения $|\xi_{0H}|^2 = 0.181800122$ из (2) в [9] были получены основные спектральные параметры теории

$$|S'_{01}| = 0.039541282, \quad S'_{02} = 0.03409, \quad S'_{03} = 0.460458718, \quad S'_{04} = 0.53409. \quad (3)$$

Радиусы R_H , R_{H0} являются характерными параметрами, которые необходимо учитывать при моделировании активных микрообъектов и их использовании в лазерных нанотехнологиях. Возникает необходимость захвата, движения, перемещения, вращения наночастиц лазерным полем. В [5] вращение наночастицы в форме гантели достигалось лазером с круговой поляризацией. Лазер с линейной поляризацией заставляет вибрировать наночастицу. В нашей модели для оценки предельной частоты вращения наночастицы используем выражение $\nu_{rot} = 2Q_{H3}|\chi_{ef}|\nu_{G0}$. Здесь параметр $Q_{H3} = 0.700790572$ определяет положения точки перегиба для функции Q_G , локального минимума для функции V_Q , нуля функции A_Q из работы [9] для модели ускоренно расширяющейся Вселенной. Параметр $|\chi_{ef}| = 0.250425279$ описывает эффективную восприимчивость в анизотропной модели фрактальных космологических объектов [10, 11].

На основе ν_{rot} находим оценку $\nu_{rot} = 1.0285631 \text{ ГГц}$, которая находится вблизи экспериментально [5] полученной частоты 1.029 ГГц при давлении $7.2 \cdot 10^{-6} \text{ мбар}$. Частота вращения зависит от давления. В [5] при давлении $1.1 \cdot 10^{-5} \text{ мбар}$ фиксируется сигнал при 1.31 ГГц , что соответствует частоте вращения 655 МГц . В нашей модели частота вращения ν'_{c2} и плотность холодной темной материи Ω'_{c2} определяются из выражений [10]

$$\nu'_{c2} = \Omega'_{c2} \nu_{G0}; \quad \Omega'_{c2} = \nu_{\gamma b}^2 / 4 |\lambda|^2 N; \quad \nu_{\gamma b}^2 = \nu_0^2 / \Omega'_{c2}. \quad (4)$$

Здесь частота $\nu_{\gamma b} = 3.9749732 \text{ ГГц}$, $\Omega'_{c2} = 0.224091707$, эффективная скорость Ферми $\nu_{\gamma b} = 14.343536 \cdot 10^6 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, связанные с нейтронными звездами; скорость $\nu_0 = 6.7835402 \cdot 10^6 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ в модели плоской космологии. Находим значения $\nu'_{c2} = 656.6899 \text{ МГц}$, $2\nu'_{c2} = 1.3133798 \text{ ГГц}$, близкие к частотам из [5]. Это указывает на существенную роль давления при изменении частоты вращения наночастицы, зависимости ее свойств от состояния физического вакуума и космологических параметров.

Далее запишем выражения для основных энергий

$$\varepsilon_{G00} = N'_0 E_G |\xi_{0H}|^2; \quad \varepsilon_{G01} = N'_{01} E_G |\xi_{0H}|^2; \quad \varepsilon_{G02} = N'_{02} E_G |\xi_{0H}|^2; \\ E_{g00} = z'_\mu \varepsilon_{G00} = z'_\mu n_G \varepsilon_{\mu 00}; \quad E_{g01} = z'_\mu \varepsilon_{G01} = z'_\mu n_G \varepsilon_{\mu 01}; \quad E_{g02} = z'_\mu \varepsilon_{G02} = z'_\mu n_G \varepsilon_{\mu 02}. \quad (5)$$

Параметры $N'_0 = 3.73846796 \cdot 10^5$ и $N'_{01} = 3.795550194 \cdot 10^5$, $N'_{02} = 3.680500523 \cdot 10^5$ учитывают наличие Бозе конденсата и поля Хиггса [9]. На основе (6) находим численные значения $\varepsilon_{G00} = 823.5727356 \text{ мэВ}$, $\varepsilon_{G01} = 836.1477723 \text{ мэВ}$, $\varepsilon_{G02} = 820.8026915 \text{ мэВ}$. Далее с учетом космологического красного смещения $z'_\mu = 7.18418108$ [9] и числа квантов $n_G = 3$, которые переносятся гравитационными волнами [10 - 12], на основе (6) находим остальные энергии $E_{g00} = 5.9166956 \text{ эВ}$, $E_{g01} = 6.0070370 \text{ эВ}$, $E_{g02} = 5.8249533 \text{ эВ}$; $\varepsilon_{\mu 00} = 274.52425 \text{ мэВ}$, $\varepsilon_{\mu 01} = 278.71592 \text{ мэВ}$, $\varepsilon_{\mu 02} = 270.26756 \text{ мэВ}$. Энергия E_{g00} близка к энергетической щели 5.95 эВ для атомных дефектов в нанотрубках нитрида бора (BNNT) [6], из которых наблюдали эмиссию отдельных фотонов. На основе (5), (3) находим энергетические спектры

$$\varepsilon_{g0x} = E_{g00} S'_{0x}; \quad \varepsilon_{g1x} = E_{g01} S'_{0x}; \quad \varepsilon_{g2x} = E_{g02} S'_{0x}; \quad (6)$$

$$\varepsilon_{G0x}^* = \varepsilon_{G00} S'_{0x}; \quad \varepsilon_{G1x}^* = \varepsilon_{G01} S'_{0x}; \quad \varepsilon_{G2x}^* = \varepsilon_{G02} S'_{0x}; \quad (7)$$

$$\varepsilon_{v0x} = \varepsilon_{\mu 00} S'_{0x}; \quad \varepsilon_{v1x} = \varepsilon_{\mu 01} S'_{0x}; \quad \varepsilon_{v2x} = \varepsilon_{\mu 02} S'_{0x}. \quad (8)$$

Спектр (6) дает возможность выполнить оценки для среднего диаметра точечного дефекта d_a , рамановского сдвига $1/\lambda_{RS}$ в спектре BNNT по формулам

$$2d_a = \lambda_{g24} |\chi_{ef}|; \quad \lambda_{RS} = 2\pi n_G (1 + \Omega_{0\nu}) \lambda_{g14}; \quad \lambda_{g24} = a_\lambda / \varepsilon_{g24}; \quad \lambda_{g14} = a_\lambda / \varepsilon_{g14}. \quad (9)$$

Здесь постоянный параметр $a_\lambda = 1239644.01 \text{ мэВ} \cdot \text{нм}$, плотность нейтрино $\Omega_{0\nu} = 0.002939801$ [10 - 12]. Значения $d_a = 49.892844 \text{ нм}$ и $2d_a = 99.785688 \text{ нм}$ близки к средним оценкам размеров наночастиц 50 нм и 100 нм из [6] и [5], соответственно. Рамановский сдвиг $\lambda_{RS} = 7304.6019 \text{ нм}$ практически совпадает со значением $1/\lambda_{RS} = 1369 \text{ см}^{-1}$ из [6]. Далее находим $\delta\varepsilon_{g1} = \varepsilon_{g13} - \varepsilon_{g12} - \varepsilon_{g21} = 2330.8865 \text{ мэВ}$ разность энергий между ветвями спектра (6), длину волны $\lambda_{\delta 1} = a_\lambda / \delta\varepsilon_{g1} = 531.8337 \text{ нм}$. Указанный переход между ветвями спектра с

длиной волны $\lambda_{\delta 1}$ близок к длине волны 532 нм возбуждающего зеленого лазера из [6]. Переход с разностью энергий $\delta\epsilon_{g1}/2=1165.4433\text{мэВ}$ и длиной волны $2\lambda_{\delta 1}=1063.6674\text{нм}$ близок к длине волны 1064 нм лазера, используемого в [6] для оптической модуляции. В [6] были получены два различных дефекта в BNNT (два эмиттера) для наблюдения фотолуминесценции. Максимальное излучение отдельных фотонов из этих эмиттеров получено на длинах волн 571 нм и 569 нм. В нашей модели разности энергий между ветвями спектра (6) и соответствующие длины волн (близкие к данным для эмиттеров [6]) равны:

$$\begin{aligned}\delta\epsilon_{g2} &= \epsilon_{g13} - 3\epsilon_{g22} = 2170.274555\text{мэВ}, \quad \lambda_{\delta 2} = a_{\lambda} / \delta\epsilon_{g2} = 571.19225\text{нм}; \\ \delta\epsilon_{g3} &= \epsilon_{g13} - 3\epsilon_{g22} + \epsilon_{g11} - \epsilon_{g21} = 2177.474377\text{мэВ}, \quad \lambda_{\delta 3} = a_{\lambda} / \delta\epsilon_{g3} = 569.3036\text{нм}.\end{aligned}\quad (10)$$

Ветви спектра (8) находятся внутри запрещенной зоны спектра (6) и зависят от температуры. Стабильная квантовая эмиссия фотонов наблюдается в широкой области температур, включая комнатную. Оценка верхней границы для температуры порядка 800 К [6]. С учетом энергетического спектра (8) находим оценку верхней границы температуры

$$T_{vs} = a_T (\epsilon_{v13} + \epsilon_{v12}) = 799.84687\text{К}; \quad a_T = 5.802778417\text{К} \cdot (\text{мэВ})^{-1}. \quad (11)$$

В [9 - 12] в рамках анизотропной модели получены оценки температуры реликтового излучения $T_r = 2.72548\text{К}$, дипольной анизотропии реликтового излучения δT_r , средней величины колебаний температуры реликтового фона δT_A . Реликтовое излучение может влиять на основные параметры активных нанообъектов. В рамках теории сверхизлучения Дикке [18 - 20] нами определено максимальное число активных эффективных частиц $N = 17.0073101$ [10 - 12]. Выражения для указанных температур и характерных энергий ϵ_r , ϵ_{rA} , ϵ'_{rA} имеют вид

$$\begin{aligned}T_r &= T_{rA} + T'_{rA}; \quad T_{rA} = u_{rA}^2 T_r; \quad T'_{rA} = v_{rA}^2 T_r; \quad T_r = a_T \epsilon_r; \quad u_{rA}^2 + v_{rA}^2 = 1; \\ 1 - 2u_{rA}^2 &= (N+1) / z'_{A2}; \quad T_{rA} = a_T \epsilon_{rA}; \quad T'_{rA} = a_T \epsilon'_{rA}; \quad N_{rA} = z'_{A2} + N + 1.\end{aligned}\quad (12)$$

Параметры $T_{rA} = 1.3390101\text{К}$, $T'_{rA} = 1.3864699\text{К}$, $\epsilon_r = 469.68535\text{мкэВ}$, $\epsilon_{rA} = 230.75328\text{мкэВ}$, $\epsilon'_{rA} = 238.93207\text{мкэВ}$, обычное красное смещение $z'_{A2} = 1034.109294$, $N_{rA} = 1052.116604$.

Температуры фазовых переходов T'_A , T_A [10 - 12] определяются через числа квантов n_{zA} (для обычного красного смещения) и $n_{z\mu}$ (для космологического красного смещения z'_{μ}), общего числа квантов реликтового излучения N_{ra} по формулам

$$\begin{aligned}T'_A &= T_A + \delta T_A; \quad T_A = n_{zA} T'_A; \quad \delta T_A = n_{z\mu} T'_A; \quad n_{z\mu} = z'_{\mu} / N_{ra}; \quad n_{zA} + n_{z\mu} = 1; \\ N_{ra} &= z'_{A2} + z'_{\mu}; \quad \delta T_r = Q_{H3} T'_{rA} \delta T_A / T'_A; \quad 2T'_{rA} = N_{rA} T'_A.\end{aligned}\quad (13)$$

Параметры $T'_A = 2.6355822\text{мК}$, $T_A = 2.6173985\text{мК}$, $\delta T_A = 18.183633\text{мК}$, $\delta T_r = 6.7035181\text{мК}$.

На основе соотношений из [10 - 12] для космологических фрактальных объектов, в рамках модели сверхизлучения Дикке [18 - 20], запишем выражения для отношения ускорений

$$g_0 / g_{SE} = n_G (z'_{A2} - z'_{\mu} + I_m I_0^{-1}) / 2. \quad (14)$$

Здесь ускорение свободного падения на поверхности Земли $g_0 = 980.665\text{см} \cdot \text{с}^{-2}$; g_{SE} – ускорение Земли к Солнцу; отношение максимальной I_m к начальной I_0 интенсивностей излучения

$I_m I_0^{-1} = 81.06580421$. С учетом (14) находим значение $g_{SE} = 0.590056 \text{ см} \cdot \text{с}^{-2}$. С учетом параметров $n_{A0} = 58.04663887$ для черных дыр из [10 - 12], N_{HG} из (1) на основе

$$g_{SE} N_{HG} = g_{nS} n_{A0} \quad (15)$$

находим оценку гравитационного ускорения $g_{nS} = 1.0488769 \cdot 10^{12} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ на поверхности нейтронной звезды, которая согласуется с оценкой $10^{12} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ из [5].

3. Поле Хиггса. В рамках нашей анизотропной модели [10 - 12] основными параметрами являются $|\xi_{0H}|^2 = \chi_{11}$ и $(\xi'_0)^2 = N'_{01} / N'_{02}$. Для компонент тензора $\hat{\chi}_{ef}$ эффективной восприимчивости используем обозначения из работ [10 - 12]. Операторы $\hat{n}_{\xi 0}$ и $\hat{n}_{\xi 0}^+$ описывают основное и возбужденное состояния бозонного поля Хиггса. Усредненные значения $n_{\xi 0} = \langle \hat{n}_{\xi 0} \rangle$ и $n'_{\xi 0} = \langle \hat{n}_{\xi 0}^+ \rangle$ определяются выражениями вида

$$n'_{\xi 0} - n_{\xi 0} = 1; \quad n_{\xi 0} = k_\mu |\chi_{ef}| |\xi_{0H}|^2 \text{cn}(u_\mu; k_\mu); \quad n'_{\xi 0} = (\xi'_0)^2. \quad (16)$$

Если использовать из [10 - 12] численные значения компонент восприимчивости χ_{21} , χ_{11} , то получим численное значение $n_{\xi 0} = \chi_{21} \chi_{11} = 0.031259246$. В общем случае, $|\chi_{ef}| = n_{0u} / \chi_{11}$ является нелинейной функцией от $n_{\xi 0}$ и допустимо представление

$$n_{0u} = \sqrt{2} \{ \chi_{11}^4 - n_{\xi 0} (\chi_{11}^2 - n_{\xi 0}) \}^{1/2}; \quad n_{\xi 0} = k_\mu n_{0u} \text{cn}(u_\mu; k_\mu). \quad (17)$$

Из (17) следует: число квантов $n_{\xi 0} = n_{0u} \text{sech}(u_\mu)$ при $k_\mu = 1$; $n_{\xi 0} = 0$ при $k_\mu = 0$ или при $\text{cn}(u_\mu; k_\mu) = 0$. Если ввести параметры S_{2u} , S_{1u} соотношениями

$$S_{2u} = \chi_{11}^2; \quad |S_{1u}| = \sqrt{2} S_{2u}; \quad S_{4u} = 0.5 + S_{2u}; \quad S_{3u} = 0.5 - |S_{1u}|, \quad (18)$$

то находим основное нелинейное уравнение для функции n_{0u} от $n_{\xi 0}$, которое дает возможность выбора знака у различных ветвей

$$n_{0u}^2 |S_{1u}|^{-2} + n_{\xi 0} (S_{2u} - n_{\xi 0}) S_{2u}^{-2} = 1. \quad (19)$$

На основе численного значения χ_{11} из [10 - 12], выражений (18) получим численные значения параметров $S_{2u} = 0.033051284$, $|S_{1u}| = 0.046741575$, $S_{3u} = 0.453258425$, $S_{4u} = 0.533051284$.

По аналогии с [9] введем постоянную Хаббла $H_{0\nu}$ и основной параметр теории $Q_{0\nu}$

$$Q_{0\nu} = H_{0\nu} / H_{02} = v_{0\nu} / v_{02} = 1 + S_{2u}; \quad v_{0\nu} = H_{0\nu} L_0 = n_{A0} v_{h2} / 2;$$

$$\Omega_{tH0} = Q_{0\nu} + |S_{1u}|; \quad v_q = v_{01} - v_{02}; \quad v_{2\nu} = v_{0\nu} - v_{02}; \quad v_{1\nu} = v_{01} - v_{0\nu}. \quad (20)$$

На основе численных значений H_{02} , v_{02} , H_{01} , v_{01} , L_0 , n_{A0} из [9], параметров S_{2u} , $|S_{1u}|$ и выражений (20) находим численные значения: $Q_{0\nu} = 1.033051284$; скорости $v_{0\nu} = 7.2743002 \cdot 10^6 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, $v_{h2} = 2.5063640 \cdot 10^5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$; полную плотность Вселенной (нормированную на критическую плотность) $\Omega_{tH0} = 1.079792859$; разности скоростей

$v_q=2.784326 \cdot 10^5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$; $v_{2\nu}=2.3273284 \cdot 10^5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$; $v_{1\nu}=4.5699756 \cdot 10^4 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$. Отметим, что скорость $v_{0\nu}$ связана с характерной скоростью v_{h2} через основной параметр n_{A0} (который определяет спектр чисел заполнения) для черных дыр.

Числа квантов n'_F , n_F для частиц Ферми типа из [10 - 12] также являются нелинейными функциями от числа квантов поля Хиггса $n'_{\xi 0}$, $n_{\xi 0}$

$$n'_F = (S_{2u} - n_{\xi 0}) / S_{2u}; \quad n_F = n_{\xi 0} / S_{2u}; \quad n'_F + n_F = 1. \quad (21)$$

Из (21) следует, что плотность нейтрино $\Omega_{0\nu}$, определенная в [10 - 12], также является нелинейной функцией от числа квантов поля Хиггса

$$\Omega_{0\nu} = (n'_F)^2 = (Q_{0\nu} - n'_{\xi 0})^2 / S_{2u}^2 = (v_{2\nu} - n_{\xi 0} v_{02})^2 / v_{2\nu}^2. \quad (22)$$

Учет зависимости $v_{0\nu}$ от n_{A0} из (20) дает возможность записать (22) в виде

$$\Omega_{0\nu} = (n_{A0} - n'_{\xi 0} N_{h2})^2 / (n_{A0} - N_{h2})^2 = (n_{0\nu} - n_{\xi 0} N_{h2})^2 / n_{0\nu}^2; \\ N_{h2} = 2v_{02} / v_{h2} = 56.18950363; \quad n_{0\nu} = n_{A0} - N_{h2} = 1.857135243. \quad (23)$$

Выражения (23) определяют плотность нейтрино $\Omega_{0\nu}$ как функцию от числа квантов черной дыры n_{A0} , числа квантов поля Хиггса $n'_{\xi 0}$, $n_{\xi 0}$ и параметров N_{h2} , $n_{0\nu}$. Из (22), (23) можно получить предельные значения для плотности нейтрино: $\Omega_{0\nu} = 0.002939801$ при $n'_{\xi 0} = 1 + \chi_{21} \chi_{11} = 1.031259246$; $\Omega_{0\nu} = 0$ либо при $n'_{\xi 0} = Q_{0\nu} = 1.033051284$, либо при $v_{2\nu} = n_{\xi 0} v_{02}$, либо при $n_{A0} = n'_{\xi 0} N_{h2}$, либо при $n_{0\nu} = n_{\xi 0} N_{h2}$; $\Omega_{0\nu} = 1$ либо при $Q_{0\nu} - n'_{\xi 0} = S_{2u}$, либо при $n_{\xi 0} = 0$, либо при $n'_{\xi 0} = 1$. Это указывает на возможное гистерезисное поведение плотности нейтрино как функции от указанных аргументов. В [10 - 12] была получена связь n_{A0} с z'_μ в виде $n_{A0} + 3/4 = z'_\mu (z'_\mu + 1)$. Это позволяет записать (19) в виде

$$n_{0u}^2 n_{0u0}^{-2} - (n_{\xi 0} - n_{2u})^2 (2n_{2u})^{-2} = z'_\mu (z'_\mu + 1) - n_{A0} = n_Q / n_g; \\ n_{2u} = S_{2u} / 2; \quad n_{0u0} = |S_{1u}|; \quad n_g = n_{0u0}^2 / n_{2u}^2; \quad n_Q = 2n_G = 2 < \hat{c}_G \hat{c}_G^+ >. \quad (24)$$

Здесь $n_g = 8$, $n_Q = 6$, $n_G = < \hat{c}_G \hat{c}_G^+ > = 3$ и $n'_G = < \hat{c}_G^+ \hat{c}_G > = 2$ допускают интерпретацию как числа квантов глюонного, кваркового, возбужденного и основного состояний гравитационного полей, соответственно. При этом выражения (24) строго переходят в выражения (19), (22), (23). В общем случае, из (24) следуют другие возможные зависимости числа квантов n_{0u} , n_g как от числа квантов поля Хиггса $n_{\xi 0}$, так и от числа квантов для черных дыр n_{A0} , космологического красного смещения z'_μ . Возникают функции, зависящие от трех аргументов, что характерно для объемных фрактальных структур Вселенной. Так, например, из (24) можно получить зависимость для числа квантов глюонного поля $n_g = 2n_G / [z'_\mu (z'_\mu + 1) - n_{A0}]$ при заданном $n_G = 3$ как функцию от двух аргументов z'_μ , n_{A0} .

4. Связи параметров нейтрино с бозоном Хиггса. Для описания параметров нейтрино (числа солнечных $N_{0\nu}$ и электронных $N_{e\nu}$ нейтрино; массы m_{HG} и энергии ε_{HG} покоя нейтрино) и их связей с параметрами бозона Хиггса будем использовать анизотропную модель [10 - 12] и

выражения (1), (2), (24). Находим уравнение для характерной энергии $E_{H\nu}$

$$2E_{H0}/E_{ev} = 2E_H/\varepsilon_{ev} = z'_\mu + 0.5; \quad E_{ev} = N_{ev}E_{H\nu}; \quad N_{ev} = N_{0\nu}/n_G. \quad (25)$$

Здесь численные значения $n_G = 3$, $N_{ev} = 1.9997054 \cdot 10^{10}$, $N_{0\nu} = 5.9991163 \cdot 10^{10}$; энергии $E_{H\nu} = 1627.3796 \text{ мэВ}$, $E_{ev} = 32.542799 \text{ ГэВ}$, $\varepsilon_{ev} = 5.9162848 \text{ ГэВ}$. Ранее регистрировали только электронные нейтрино. Создание детекторов следующего поколения позволило обнаружить вклады от μ и τ -нейтрино в суммарное число солнечных нейтрино $N_{0\nu}$.

Действие тензора $\hat{\chi}_{ef}$ на энергию $E_{H\nu}$ приводит к тензору энергий $\hat{\varepsilon}_{H\nu} = \hat{\chi}_{ef} E_{H\nu}$ с компонентами $\varepsilon_{ij} = \chi_{ij} E_{H\nu}$ ($i, j = 1, 2, 3$). С учетом χ_{ij} из [10 - 12] находим численные значения

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} &= 295.85782 \text{ мэВ}; \quad \varepsilon_{12} = -280.27586 \text{ мэВ}; \quad \varepsilon_{13} = 0; \quad \varepsilon_{21} = 279.81642 \text{ мэВ}; \quad \varepsilon_{22} = 295.37284 \text{ мэВ}; \\ \varepsilon_{23} &= -23.32509 \text{ мэВ}; \quad \varepsilon_{31} = 16.041390 \text{ мэВ}; \quad \varepsilon_{32} = 16.933212 \text{ мэВ}; \quad \varepsilon_{33} = 406.86895 \text{ мэВ}. \end{aligned} \quad (26)$$

Задача о поиске собственных значений ε_R тензора энергии $\hat{\varepsilon}_{H\nu}$ сводится к уравнению

$$\begin{aligned} \varepsilon_{33} - \varepsilon_R &= \varepsilon_{23}\varepsilon_{32}(\varepsilon_{R3} - \varepsilon_R) / \{[\varepsilon_R - 0.5(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22})]^2 + \varepsilon_{R\gamma}^2\}; \quad \varepsilon_{HG} = |\varepsilon_{21}\varepsilon_{12}|^{1/2}; \\ \varepsilon_{R3} &= |\chi_{ef}|^2 E_{H\nu} / |\xi_{0H}|^2; \quad 2\varepsilon_{R\gamma} = [4|\varepsilon_{21}\varepsilon_{12}| - (\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})^2]^{1/2}. \end{aligned} \quad (27)$$

На основе (27) находим численные значения: энергии покоя нейтрино $\varepsilon_{HG} = 280.04605 \text{ мэВ}$; энергий $\varepsilon_{R\gamma} = 280.04594 \text{ мэВ}$, $\varepsilon_{R3} = 561.37238 \text{ мэВ}$. Знак у ε_{21} , ε_{12} (или ε_{23} , ε_{32}) определяется выбором знака у k_μ , k'_μ и значением угла φ_μ . Если $\varepsilon_{21}\varepsilon_{12} < 0$, то $\varepsilon_{HG}^2 = -\varepsilon_{21}\varepsilon_{12}$, при этом $2\varepsilon_{R\gamma}$ из (27) заменяется на $2\varepsilon_{R\gamma}^* = [(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})^2 + 4\varepsilon_{HG}^2]^{1/2}$, значение $\varepsilon_{R\gamma}^* = 280.04615 \text{ мэВ}$.

На основе энергии покоя нейтрино ε_{HG} и космологического красного смещения z'_μ можно определить характерную энергию $\varepsilon_{z\mu} = z'_\mu(z'_\mu + 2)\varepsilon_{HG}/4 = 4.61941696 \text{ эВ}$, которая допускает интерпретацию как энергии коррелированного (когерентного) состояния поля, связанного с космологическим красным смещением z'_μ для реликтового излучения.

На основе спектров $\varepsilon_{iHG} = 2\varepsilon_{HG}S'_{0i}$, $\varepsilon'_{iHG} = 2|\chi_{ef}|\varepsilon_{HG}S'_{0i}$ получим энергии ε_{HG}^* , ε'_{2HG}

$$\varepsilon_{HG}^* = \varepsilon_{HG} + \varepsilon'_{2HG}; \quad (\varepsilon_{HG}^*)^2 - \varepsilon_{HG}^2 = z'_{HG}(z'_{HG} + 2)\varepsilon_{HG}^2; \quad z'_{HG} = \varepsilon'_{2HG}/\varepsilon_{HG}, \quad (i = 1, 2, 3, 4). \quad (28)$$

Численные значения равны $\varepsilon_{HG}^* = 284.82755 \text{ мэВ}$, $\varepsilon'_{2HG} = 4.7815050 \text{ мэВ}$. Параметр $z'_{HG} = 0.017073996$ ($z'_{HG} < z'_\mu$) допускает интерпретацию как космологического красного смещения для нейтринного поля. Разность квадратов энергий $(\varepsilon_{HG}^*)^2 - \varepsilon_{HG}^2 = 2700.94592 (\text{мэВ})^2$ практически совпадает с данными $2.7 \cdot 10^{-3} (\text{эВ})^2$ по нейтринным осцилляциям [21, 22]. Эти эксперименты доказали существование массы покоя у нейтрино и возможность смены типа нейтрино. В нашей модели нейтрино с энергией покоя ε_{HG} сменяется на нейтрино с энергией покоя ε_{HG}^* из-за наличия космологического красного смещения z'_{HG} для нейтринного поля.

5. Сверхбезизлучательные состояния фрактальных объектов. Свойства наночастиц во фрак-

тальных квантовых системах зависят от давления, состояния физического вакуума и космологических параметров. Динамические модели позволяют описать не только сверхизлучение гравитационных волн, реликтовых фотонов от космологических объектов (типа бинарных нейтронных звезд и черных дыр) [10 - 12], но и сверхбезизлучательные состояния активных объектов. В [10 - 12] для интенсивности излучения $J(t)$ (в рамках модели сверхизлучения Дикке [18 - 20]) было записано выражение

$$J(t) = J_0(a_0 + a_m)[(a_0 - a_m) + 1]. \quad (29)$$

Здесь J_0 – начальная интенсивность излучения; параметры $a_0(t)$, $a_m(t)$ в общем случае зависят от времени t и других параметров. Сверхбезизлучательными состояниями (СБС) мы называем состояния с $J(t) = 0$. Эти состояния могут быть реализованы в процессе развития различных переходных эффектов (индукции, лавины, эхо, самоиндуцированной прозрачности). Из (29) следует, что эти состояния могут быть реализованы в рамках двух моделей.

Модель A_0 . В рамках этой модели полагаем $a_0 = -a_m$, где

$$a_m = (z'_{A2})^{1/2}; \quad a_0^2 = a_m^2 + z'_\mu(z'_\mu + 2)/4; \quad a_m^2 = z'_{A2}; \quad N_{ra} = z'_{A2} + z'_\mu. \quad (30)$$

Из (30) следует, что возможны два варианта: вариант 1 (B1), когда $z'_\mu = 0$, тогда $N_{ra} = z'_{A2}$; вариант 2 (B2), когда $z'_\mu = -2$, тогда $N_{ra} = z'_{A2} - 2$. Далее вводим вектор-строки $\hat{N}_{d1}$, $\hat{N}_{d2}$ и вектор-столбцы $\hat{N}_{d1}^+$, $\hat{N}_{d2}^+$, соответственно, для вариантов B1 и B2

$$\hat{N}_{d1} = (N_{ra}, z'_{A2}, z'_\mu) = (z'_{A2}, z'_{A2}, 0); \quad \hat{N}_{d2} = (z'_{A2} - 2, z'_{A2}, -2). \quad (31)$$

На основе (31) находим нормы $|N_{d1}|$, $|N_{d2}|$ и угол θ_{d12} как функций от аргумента z'_{A2}

$$\hat{N}_{d1}\hat{N}_{d1}^+ = 2(z'_{A2})^2 = |N_{d1}|^2; \quad \hat{N}_{d2}\hat{N}_{d2}^+ = 8 + 2z'_{A2}(z'_{A2} - 2) = |N_{d2}|^2; \quad \hat{N}_{d1}\hat{N}_{d2}^+ = \hat{N}_{d2}\hat{N}_{d1}^+ = 2z'_{A2}(z'_{A2} - 1);$$

$$\cos \theta_{d12} = \hat{N}_{d1}\hat{N}_{d2}^+ |N_{d1}|^{-1} |N_{d2}|^{-1} = \sqrt{2}(z'_{A2} - 1)[8 + 2z'_{A2}(z'_{A2} - 2)]^{-1/2}, \quad (32)$$

откуда следует изменение знака $\cos \theta_{d12}$ от z'_{A2} : так при $z'_{A2} = 0, 1, 2$ имеем $\cos \theta_{d12} = -0.5, 0, 0.5$, соответственно. Вводим функции плотности распределения Ферми типа n_{d12} и n'_{d12}

$$n'_{d12} + n_{d12} = 1; \quad n'_{d12} = \cos^2 \theta_{d12} = 2(z'_{A2} - 1)^2 [6 + 2(z'_{A2} - 1)^2]^{-1};$$

$$n_{d12} = \sin^2 \theta_{d12} = 6[6 + 2(z'_{A2} - 1)^2]^{-1}; \quad B_{d12} = n'_{d12} - n_{d12} = [(z'_{A2} - 1)^2 - 3] / [(z'_{A2} - 1)^2 + 3]. \quad (33)$$

Для параметра B_{d12} из (33) допустима интерпретация как разности населенности между состояниями (31), (32). Состояние с $B_{d12} = 0$ реализуется либо при $z'_{A2} = 1 + \sqrt{3}$, либо при $z'_{A2} = 1 - \sqrt{3}$. При этом $\cos^2 \theta_{d12} = \sin^2 \theta_{d12} = 1/2$, что указывает на наличие поперечной компоненты эффективных векторов из (31), (32). Это позволяет нам выполнить интерпретацию в терминах СБС с возможной киральностью (поляризованностью) структур из (31), образованного z'_{A2} . Значения $n_Q = 6$, $n_G = 3$ из (24) могут определять вклады кваркового и гравитационного полей в поведение параметров n_{d12} , n'_{d12} , B_{d12} , что следует из (33). Вводим функции для плотности распределения Бозе типа N_{zA} , N'_{zA} и n_{zA} , n'_{zA}

$$N'_{zA} - N_{zA} = 1; \quad N_{zA} = (z'_{A2} - 1)^2 / 3; \quad n'_{zA} - n_{zA} = 1; \quad n_{zA} = N_{zA}^{-1}. \quad (34)$$

На основе (34) и $z'_{A2} = 1034.109294$ находим значение числа бозонов в равновесном состоянии $N_{0A} = N_{zA}(z'_{A2}) = 3.5577160 \cdot 10^5$. Это позволяет ввести характерную энергию гравитационного поля $E_{0A} = N_{0A} E_G = 4.3110733 \text{ эВ}$ и записать спектр энергий $E_{0Ai} = 2E_{0A} S_{iu}$ ($i = 1, 2, 3, 4$). Значения энергий ветвей спектра равны: акустические ветви $E_{0A1} = 403.01271 \text{ мэВ}$, $E_{0A2} = 284.97302 \text{ мэВ}$ (близка к энергии ε_{HG}^*); оптические ветви $E_{0A3} = 3.9080606 \text{ эВ}$, $E_{0A4} = 4.5960463 \text{ эВ}$. Отметим, что энергии $\varepsilon_{z\mu}$, E_{0A} близки к граничной энергии 4.3 эВ , которая наблюдается при безнейтринном двойном β -распаде в экспериментах с изотопом ^{136}Xe [23]. Это дает возможность интерпретировать эти энергии как энергии покоя нейтрино Майорана. На основе E_{0A} , E_{H0} и условия $E_{d\nu} = N_{0H\nu} E_{0A} / 2 = E_{H0}(S'_{04} + 0.5) = 129.29473 \text{ ГэВ}$

получим оценку полного числа нейтрино $N_{0H\nu} = 5.9982619 \cdot 10^{10}$, близкую к $N_{0\nu}$ из (25). Энергия $E_{d\nu}$ близка к локальному минимуму между локальными максимумами на зависимостях числа фотонов от их энергии, которые фиксируются детекторами в экспериментах на большом адронном коллайдере (LHC) [24].

Далее находим оценки энергий акустической ветви темных реликтовых фотонов (виртуальные реликтовые фотоны в конденсате) $\varepsilon'_{dm2} = N_{0A} \varepsilon_r = 2\varepsilon'_{dm} S_{2u} = 167.07461 \text{ эВ}$, темной материи $\varepsilon'_{dm} = 2.5275057 \text{ кэВ}$. Между энергиями ветвей спектров $\varepsilon'_{dmi} = 2\varepsilon'_{dm} S_{iu}$ и $\varepsilon_{dmi} = 2\varepsilon_{dm} S_{iu}$ для темной материи с ε'_{dm} и $\varepsilon_{dm} = 1.7872164 \text{ кэВ}$ выполняются условия

$$\varepsilon'_{dm} = \varepsilon'_{dm4} - \varepsilon'_{dm2} = \varepsilon'_{dm3} + \varepsilon'_{dm1}; \quad \varepsilon_{dm} = \varepsilon_{dm4} - \varepsilon_{dm2} = \varepsilon_{dm3} + \varepsilon_{dm1}. \quad (35)$$

Значения энергий ветвей спектров равны: акустические ветви $\varepsilon'_{dm1} = 236.27919 \text{ эВ}$, $\varepsilon_{dm1} = 167.07461 \text{ эВ}$, $\varepsilon_{dm2} = 118.13959 \text{ эВ}$; оптические ветви $\varepsilon'_{dm3} = 2.2912264 \text{ кэВ}$, $\varepsilon'_{dm4} = 2.6945803 \text{ кэВ}$, $\varepsilon_{dm3} = 1.6201418 \text{ кэВ}$, $\varepsilon_{dm4} = 1.9053560 \text{ кэВ}$. Прямые эксперименты (DAMA/LIBRA, CoGeNT, CRESST-II collaborations) [13] по наблюдению спектра и углового распределения γ -излучения, спектра модуляции из галактического центра выявляют следующие особенности: на фоне стохастического поведения наблюдаются основной локальный максимум вблизи 2.4 кэВ и два локальных основных минимума вблизи 1.9 кэВ , 2.7 кэВ .

В нашей модели значения энергий ε_{dm4} , ε'_{dm4} соответствуют локальным минимумам (потенциальным ямам) оптических ветвей энергий для темной материи с энергиями покоя ε_{dm} , ε'_{dm} и практически совпадают с положением локальных минимумов в спектре модуляции. Значение энергии $\varepsilon'_{dm3} + \varepsilon_{dm2} = 2.4093661 \text{ кэВ}$ практически совпадает с положением основного локального максимума. Энергия ε_{dm2} лежит на акустической ветви спектра и несет информацию о передаваемом импульсе γ -излучения. Таким образом, информацию о наличии СБС, темной материи, темных реликтовых фотонов можно извлекать из экспериментальных спектров γ -излучения по наличию локальных минимумов на фоне стохастического поведения сигналов. Аналогично можно извлекать информацию о СБС гравитационного поля по наличию локальных минимумов с энергиями на оптических ветвях E_{0A3} , E_{0A4} (поля деформации), о передаваемых импульсах гравитационного поля (поля напряжений) с энергиями на акустических ветвях E_{0A1} ,

E_{0A2} и энергии покоя E_{0A} .

Модель A_1 . В рамках этой модели полагаем $a_0 = a_m - 1$. Вводим функции плотностей распределения a_m , a'_m для частиц Ферми типа и N_{zg} , N'_{zg} , n_{zg} , n'_{zg} , для частиц Бозе типа

$$a_m + a'_m = 1; \quad 2a_m = 1 - b_m; \quad 2a'_m = 1 + b_m; \quad 4b_m = z'_\mu(z'_\mu + 2); \quad z'_{A2} = N_{ra} - z'_\mu; \quad (36)$$

$$N'_{zg} - N_{zg} = 1; \quad N_{zg} = (1 + b_m) / (1 - b_m); \quad N'_{zg} = 8 / [4 - z'_\mu(z'_\mu + 2)]; \quad (37)$$

$$n'_{zg} - n_{zg} = 1; \quad n_{zg} = (1 - b_m) / (1 + b_m); \quad n'_{zg} = 8 / [4 + z'_\mu(z'_\mu + 2)]. \quad (38)$$

Параметр $b_m = a'_m - a_m$ (который допускает интерпретацию как разности заселенностей для частиц Ферми типа) из (36) подтверждает наличие сверхсостояния, связанного с космологическим красным смещением z'_μ . С другой стороны, числа заполнения N'_{zg} , n'_{zg} из (37), (38) подтверждают возможность описания СБС (темной материи) с помощью глюонного поля ($n_g = 8$), перенормированного вкладами за счет z'_μ . Выражения (36) – (38) записаны при выполнении условия $-1 \leq b_m \leq 1$. При увеличении z'_μ параметр b_m становится больше 1. При этом функции (36), (37), (38) переходят в новые функции плотностей распределения для частиц Бозе типа $a'_m - |a_m| = 1$, для частиц Бозе типа $|N_{zg}| - |N'_{zg}| = 1$, для частиц Ферми типа $n'_{zg} + |n_{zg}| = 1$, соответственно. При $z'_\mu = 7.18418108$ получим численные значения: $|a_m| = 7.7476025$, $|N'_{zg}| = 0.1290729$, $|n_{zg}| = 0.885682963$, $n'_{zg} = 0.1143170$. Это дает возможность определить частоту $\nu'_{zg} = n'_{zg} \nu_{G0} = 335.00053 \text{ МГц}$, близкую к частоте 330 МГц , на которой доминирует темная материя из наблюдений радиофиламентов [13]. Таким образом, в рамках этой модели A_1 возможны описания процессов взаимных превращений частиц Бозе и Ферми типов. Это может найти применение в физике нейтрино, нейромедицине (для описания нейромедиаторов).

6. Заключение. Предложено описание связей параметров модельного нанобъекта и фрактальных космологических объектов. В качестве активного нанобъекта рассмотрена кварцевая наночастица, захваченная в оптическую ловушку и помещенная в вакуум. Получены оценки размера этой наночастицы и предельной частоты вращения в лазерном поле с круговой поляризацией. Показано, что частота вращения зависит от свойств физического вакуума. Для нанобъектов (атомные дефекты в нанотрубках нитрида бора) получены оценки длин волн квантовой эмиссии отдельных фотонов. Получены зависимости компонент тензора $\hat{\chi}_{ef}$ как функций от числа квантов поля Хиггса, черных дыр (возможно гистерезисное поведение плотности нейтрино как функции от этих аргументов). Зависимость от z'_μ приводит к нелинейным функциям от трех аргументов. Установлена связь параметров нейтрино с бозоном и полем Хиггса, выполнены оценки числа, массы и энергии покоя нейтрино. Исследованы СБС активных фрактальных объектов в рамках моделей A_0 (учет z'_{2A}), A_1 (учет z'_μ). Показано, что информацию о наличии СБС, темной материи, темных реликтовых фотонов можно извлекать из спектров γ -излучения по наличию локальных минимумов на фоне стохастического поведения сигналов.

Автор выражает благодарность председателю организационного и программного комитетов XIV Международной научной школы-семинара «Фундаментальные исследования и инновации: нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия» д.ф.-м.н., профессору

И.И. Попову, заместителю председателя ученому секретарю к.ф.-м.н. К.Р. Каримуллину за поддержку данной научной тематики и всестороннюю организационную помощь при оформлении статьи.

Список литературы

- [1] Ashkin A. Optical Trapping and Manipulation of Neutral Particles Using Lasers. World Scientific Publishing Company, 2006.
- [2] Strickland D., Mourou G. // Optics Communications. 1985. V. 56. No 3. P. 219.
- [3] Нелинейности в периодических структурах и метаматериалах / под ред. Ю.С. Кившара и Н.Н. Розанова. М.: Физматлит, 2014.
- [4] Самарцев В.В., Никифоров В.Г. Фемтосекундная лазерная спектроскопия. М.: Тривант, 2017.
- [5] Reimann R. et al. // arXiv:1803.11160v2 [physics.optics] 5 p. 21 Jul 2018.
- [6] Ahn J. et al. // arXiv:1806.06146v1 [quant-ph] 4 p. 15 Jun 2018.
- [7] Abramov V.S. // Bull. of the Russian Academy of Sciences. Physics. 2018. No 82(8). P. 1062.
- [8] Abramov V. // XI International Symposium on Photon Echo and Coherent Spectroscopy (PECS-2017). EPJ Web Conf. 2017. V. 161. 02001. 2 p.
- [9] Abramov V.S. // CMSIM Journal. 2017. No 4. P. 441.
- [10] Абрамов В.С. // Вестник Донецкого ун-та. Сер. А. 2018. № 1. С. 55.
- [11] Abramov V.S. // Bull. of the Russian Academy of Sciences. Physics. 2019. No 83(3). P. 364.
- [12] Abramov V.S. // C. H. Skiadas and I. Lubashevsky (eds.). 11th Chaotic Modeling and Simulation International Conference. Springer Proceedings in Complexity. Springer Nature Switzerland AG 2019.
- [13] Hooper D. // Dark Universe. 2012. No 1. P. 1.
- [14] Suh P.K. // IJARPS. 2018. No 5. P. 19.
- [15] Abramova O.P., Abramov A.V. // CMSIM Journal. 2017. No 2. P. 169.
- [16] Абрамова О.П. // Вестник Донецкого ун-та. Сер. А. 2017. № 1. С. 50.
- [17] Абрамова О.П. // Вестник Донецкого ун-та. Сер. А. 2018. № 1. С. 3.
- [18] Dicke R.H. // Phys. Rev. 1954. V. 93. No 1. P. 99.
- [19] Bonifacio R., Schwendimann P., Haake F. // Phys. Rev. A4. 1971. No 1. P. 302.
- [20] Bonifacio R., Schwendimann P., Haake F. // Phys. Rev. A4. 1971. No 3. P. 854.
- [21] Fukuda Y. et al. // Phys. Rev. Lett. 1998. V. 81. No 8. P. 1562.
- [22] Ahmad Q. R. et al. // Phys. Rev. Lett. 2002. V. 89. No 1(011301). P. 1.
- [23] Barnett R. M. et al. // Phys. Rev. D54. 1996. No 1. P. 1.
- [24] Кэрролл Ш. Частица на краю вселенной. Как охота на бозон Хиггса ведет нас к границам нового мира. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.

1



МГУ им.М.В.Ломоносова
Институт спектроскопии РАН



Формирование кольцевых световых пуль в вихревом пучке фемтосекундного излучения

Кандидов В.П. (МГУ), Васильев Е.В. (МГУ), Чекалин С.В. (ИСАН),
Компанец В.О. (ИСАН), Шленов С.А. (МГУ)

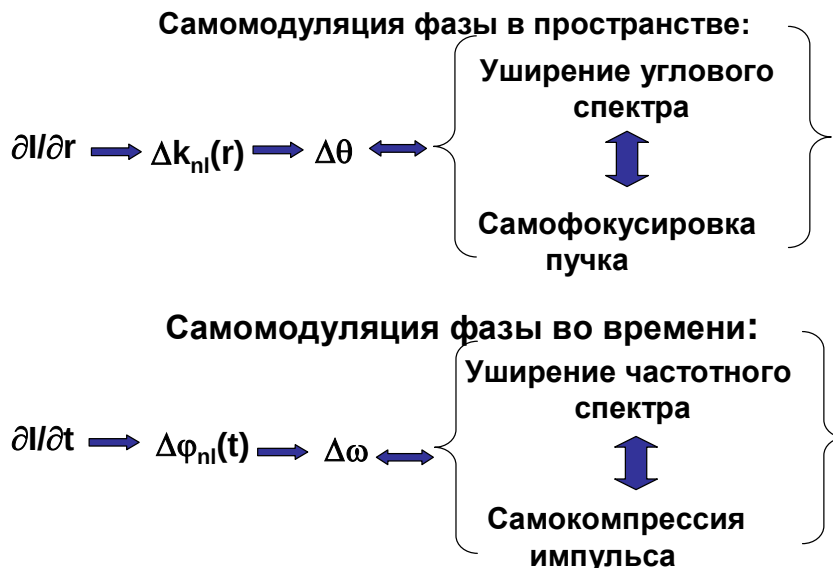
В докладе представлено современное состояние исследований световых пуль - экстремально сжатых волновых пакетов при филаментации фемтосекундного излучения в объеме прозрачного диэлектрика. Сформулированы условия образования световых пуль, основные закономерности формирования их спектра. Предсказана возможность генерации последовательности кольцевых световых пуль при самовоздействии в керровской среде кольцевых пучков фемтосекундного излучения с дислокацией фазы.

Ключевые слова: световые пули, фемтосекундная филаментация, вихревые пучки, суперконтинуум, антистоксово крыло

XIV Международная научная школа “Наука и инновации”,
Яльчик 1-7 июля 2019

2

Пространственно-временная компрессия волнового пакета



Световая пуля - результат согласованной самокомпрессии волнового пакета в пространстве и времени в объеме прозрачной среды без каких-либо направляющих структур.

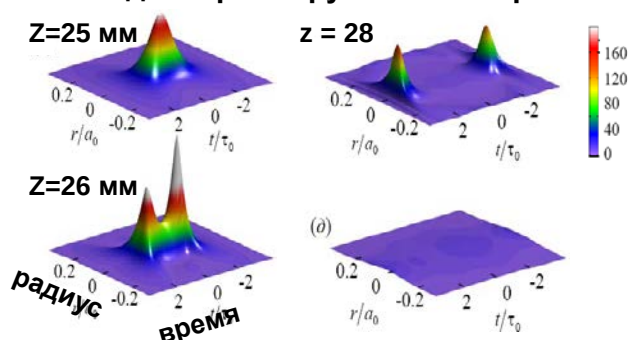
Y. Silberberg, OL 1990

3

Влияние дисперсии на сжатие волнового пакета

Нормальная дисперсия групповой скорости

Плавленый кварц



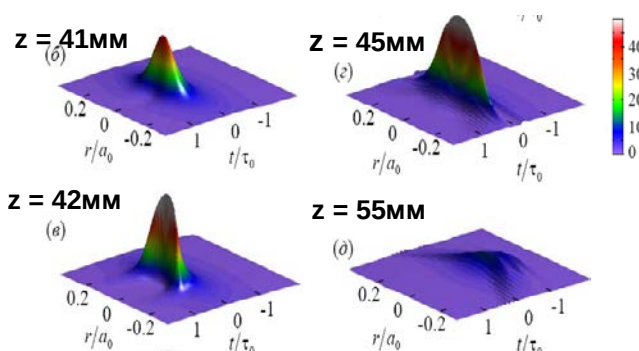
$$\partial^2 k / \partial \omega^2 > 0$$

$$k_2 = 975 \text{ фс}^2 \cdot \text{см}^{-1}$$

Импульс:
400 нм, 140 фс,
 $2,5 \times 10^{10} \text{ Вт/см}^2$, 70 мкм

Аномальная дисперсия групповой скорости

$$\partial^2 k / \partial \omega^2 < 0$$



$$k_2 \approx -2500 \text{ фс}^2 \cdot \text{см}^{-1}$$

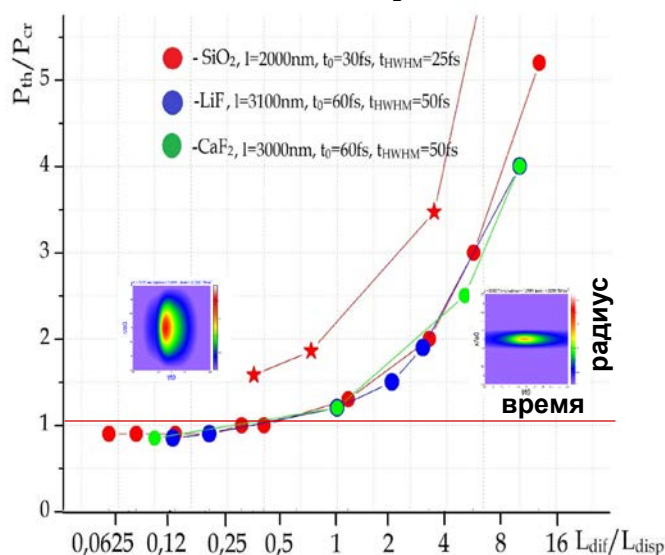
Импульс:
2500 нм, 40 фс,
 $9,5 \times 10^{11} \text{ Вт/см}^2$, 70 мкм

Яльчик 2019

4



Пороговая мощность образования световой пули



Пороговая мощность P_{th} в зависимости от параметра подобия

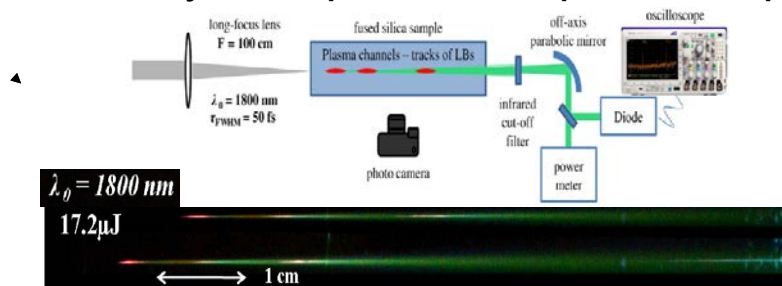
L_{diff}/L_{disp} - параметр подобия образования световой пули

Яльчик 2019

5

Регистрация световых пуль

Многоимпульсный режим записи треков и спектра



Метод лазерной колорации в LiF

Запись распределения интенсивности в **одионочной** световой пуле по наведенным ею центрам окраски.

Энергии экситонной полосы поглощения 12,8 эВ,.

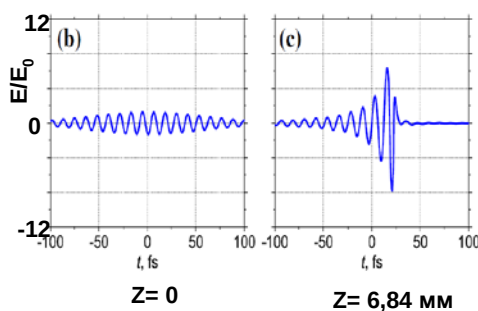


Люминесценция возбуждается излучением на длине волны 450 нм

6

Электрическое поле световой пули

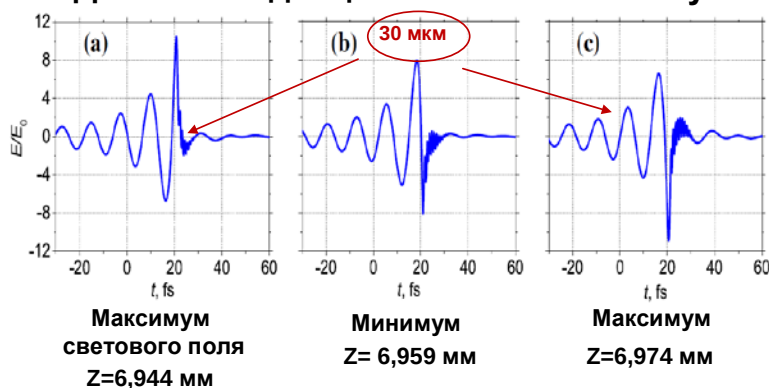
Импульс: 3500 нм, 100 фс, Ø 100 мкм, 20 мкДж; LiF



Компрессия волнового пакета, вызванная керровской нелинейностью в начале распространения

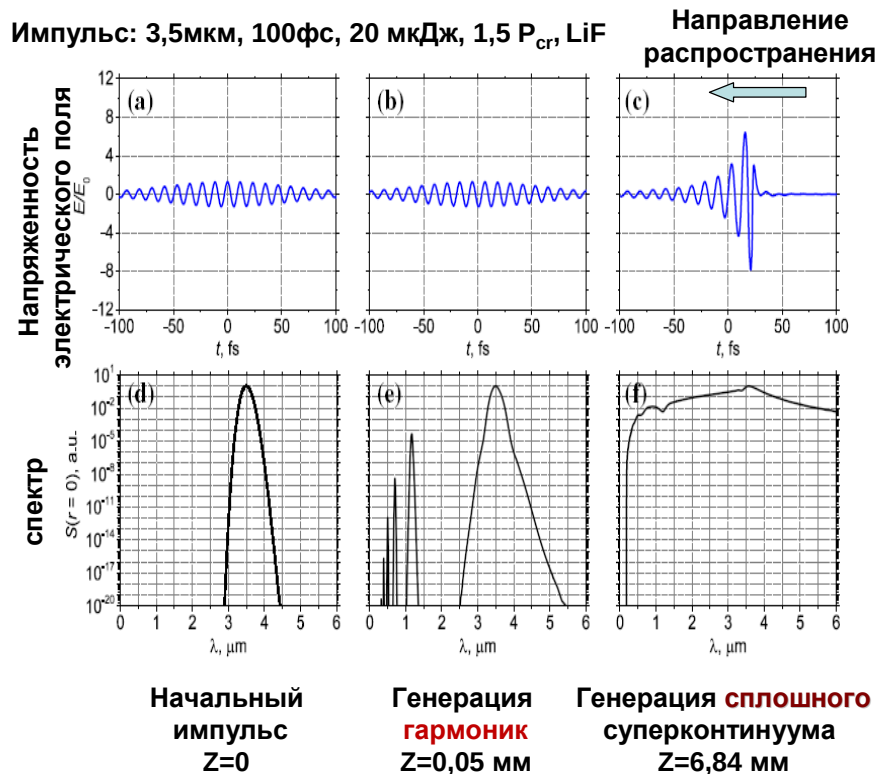
← Направление распространения

“Дыхание” одноцикловой световой пули



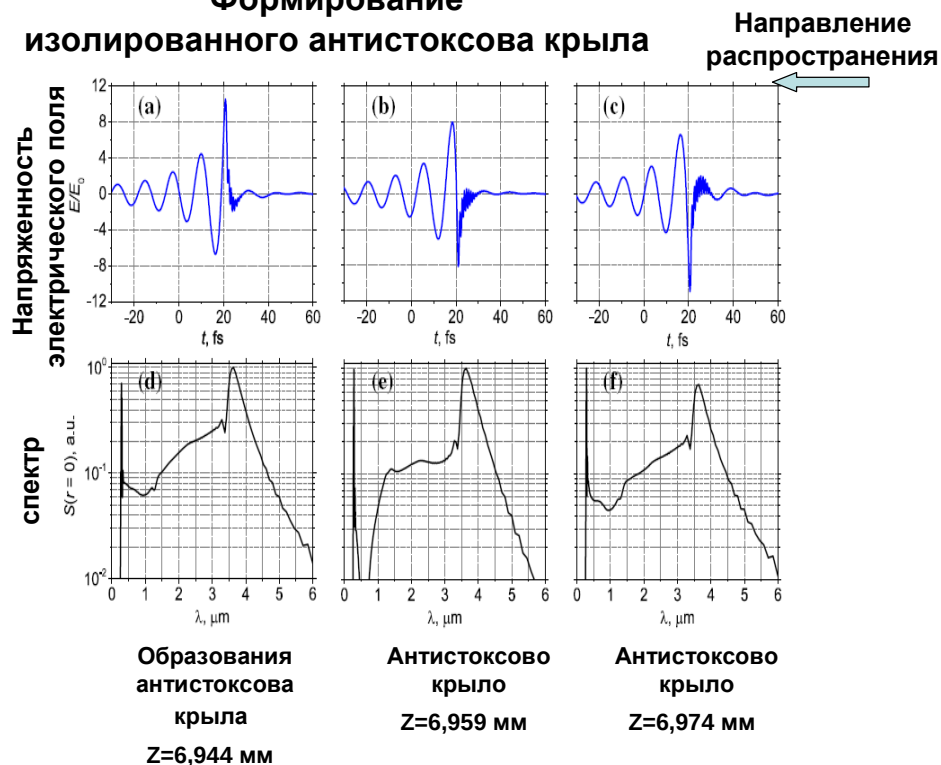
7

Генерация гармоник и суперконтинуума световой пучей



8

Формирование изолированного антистоксова крыла



В сплошном суперконтинууме формируется изолированное крыло при пролете пучей некоторого расстояния ~ 100 мкм !

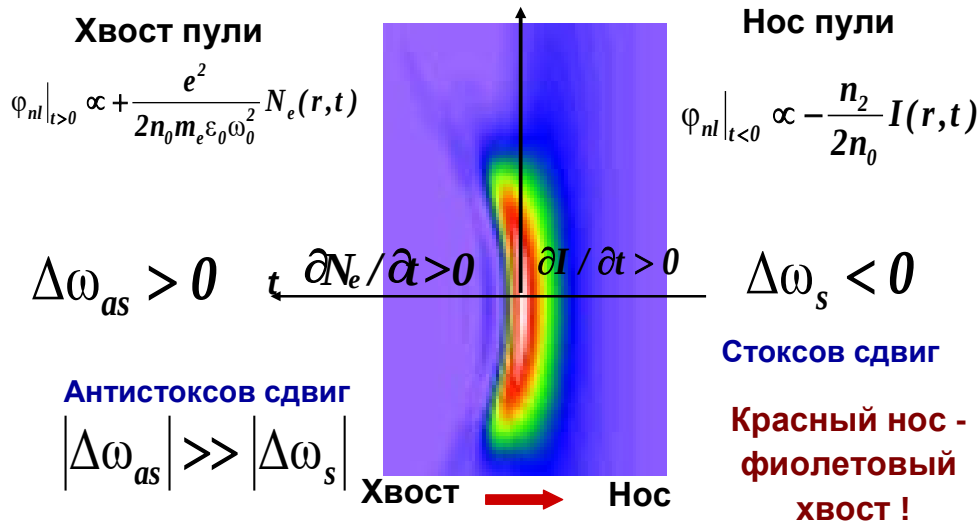
9

Фазовая самомодуляция в световой пуле

$$E(r, t, z) = E_0 \exp\{i(\omega_0 t - k_0 z + \varphi_{nl}(r, t, z))\}$$

$$\varphi_{nl}(r, t, z) \cong \varphi_{nl}(0) + \frac{\partial \varphi_{nl}}{\partial t} t + \frac{\partial \varphi_{nl}}{\partial r} r$$

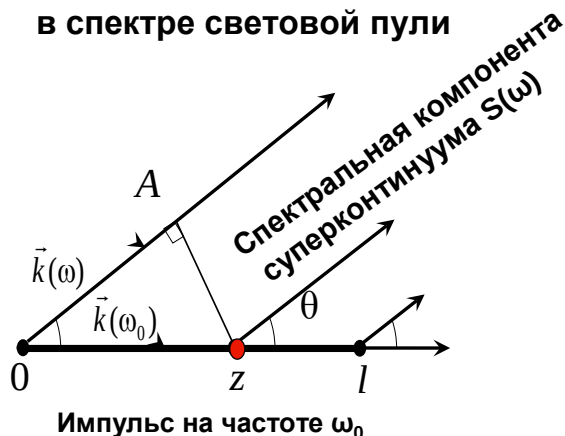
$\Delta\omega$ $-\Delta k$



Яльчик 2019

10

Модель формирования антистоксова крыла в спектре световой пулы



1. Световая пула является движущимся источником суперконтинуума, генерируемого при фазовой самомодуляции в нелинейной среде
2. Спектр формируется в результате интерференции суперконтинуума в условиях аномальной дисперсии групповой скорости

- * Фаза суперконтинуума совпадает с фазой импульса
- * Излучение суперконтинуума когерентно
- * Источник суперконтинуума точечный
- * Источник движется с групповой скоростью импульса

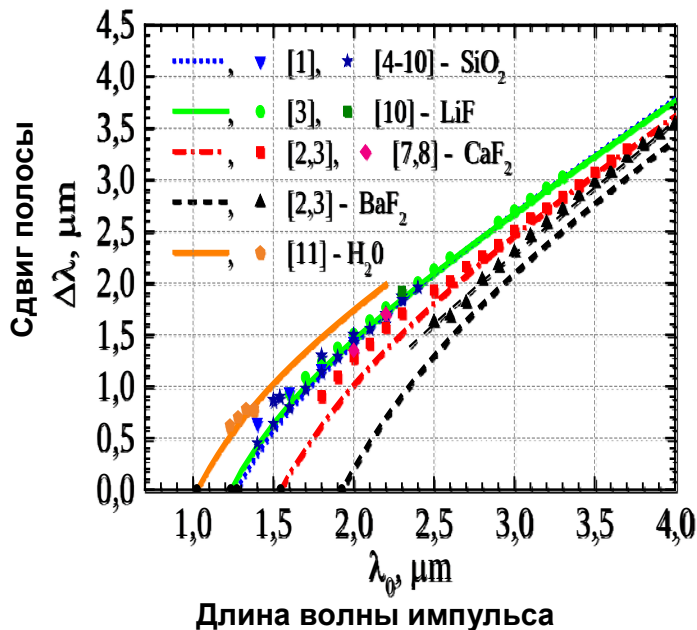
Яльчик 2019

11

Дисперсия антистоксова сдвига

$$\lambda_0 n(\lambda) - \lambda n_0 - \frac{c}{v_g} (\lambda_0 - \lambda) = 0$$

Уравнение для сдвига $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$
антистоксовой полосы,
обобщающее все эксперименты



Эксперимент:

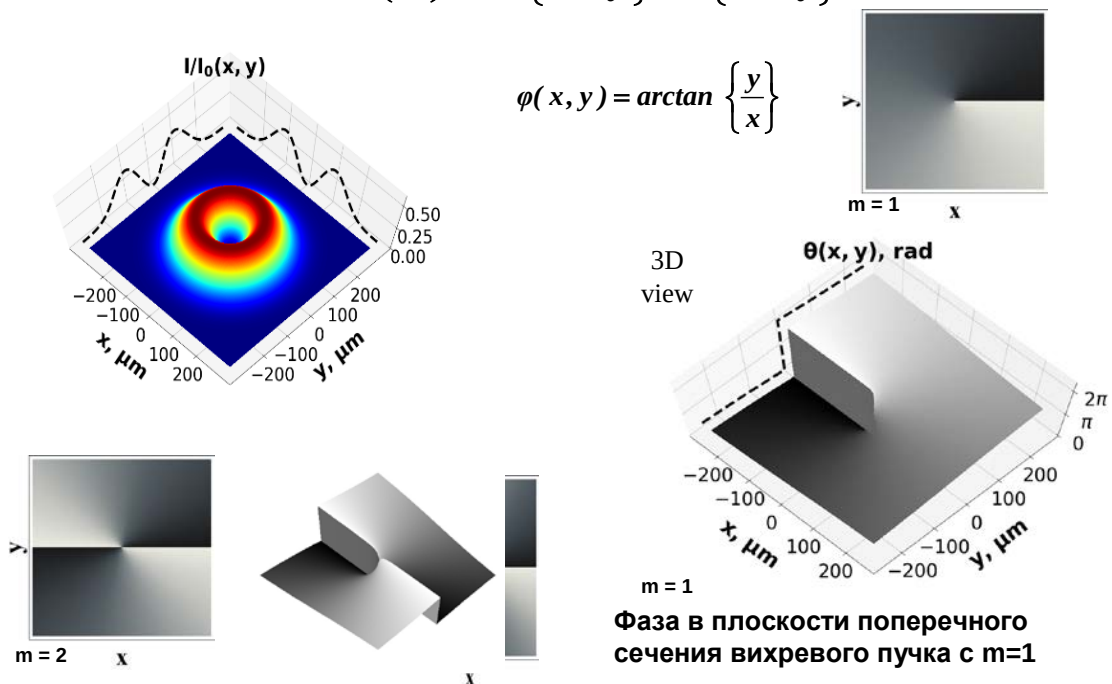
- [1] Smetanina 2011
- [2] Dormidonov 2015
- [3] Dormidonov 2016
- [4] Saliminia 2005
- [5] Naudeau 2006
- [6] Durand 2013
- [7] Darginavicius 2013
- [8] Dharmadhikari 2014
- [9] Grazuleviciute 2015
- [10] Garejev 2017
- [11] Vasa 2014

Яльчик 2019

12

Оптический вихрь с фазовой дислокацией

$$A_V(r, \varphi, t, z=0) = A_0 \left(\frac{r}{r_0} \right)^m \exp \left\{ -\frac{r^2}{2r_0^2} \right\} \exp \left\{ -\frac{t^2}{2\tau_0^2} \right\} \exp \{ im\varphi \}$$

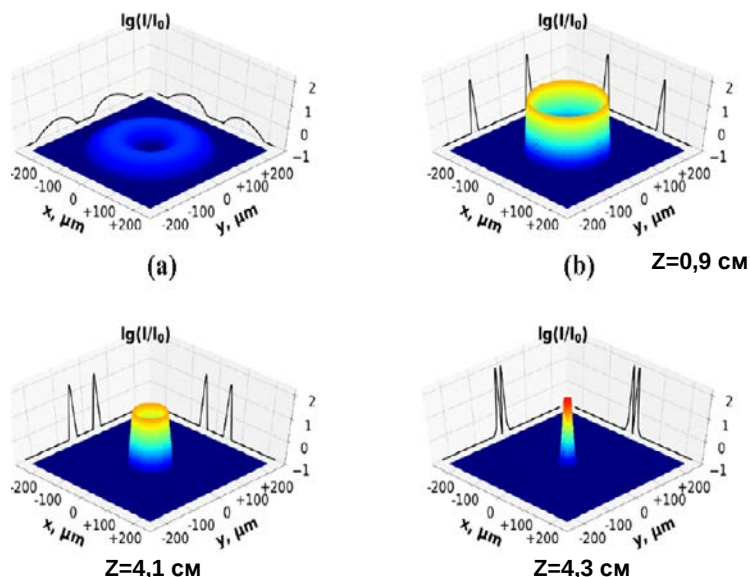


Яльчик 2019

13

Кольцевые световые пули в вихревом пучке

Импульс: 1800 нм, 36 фс, $2 \cdot 10^{11}$ Вт/см² SiO₂: k₂ = - 62 фс²/мм
радиус кольца 100 мкм, ширина 185 мкм



Радиус

50 мкм

Ширина

$\sim 5 \lambda_0$

Длительность ~ 10 фс

Параметры кольцевых световых пуль

10 мкм

$< 5 \lambda_0$

~ 10 фс

Интенсивность $5 \cdot 10^{13}$ Вт/см²

Яльчик 2019

14



Выводы



В гауссовом волновом пакете при филаментации в условиях аномальной дисперсии групповой скорости:

1. формируется одноцикловая световая пуля, если мощность пакета превышает пороговую величину, которая определяется параметром подобия, не зависящем от физических характеристик излучения и среды.
2. длительность световой пули $1 \div 2$ оптических осцилляций, диаметр ~ 5 длин волн, длина пробега ~ 500 мкм, интенсивность $\sim 5 \cdot 10^{13}$ Вт/см².
3. амплитуда светового поля в одноцикловой световой пуле меняется периодически с расстоянием вследствие различия фазовой и групповой

В вихревом пучке фемтосекундного излучения при самовоздействии в условиях аномальной дисперсии групповой скорости:

1. формируется последовательность кольцевых световых пуль, длительностью
 - одна-две оптических осцилляций, радиус кольца $10 \div 50$ мкм, ширина кольца около 5λ , интенсивность – $5 \cdot 10^{13}$ Вт/см², плотность энергии – $0,2$ Дж/см².
2. возможно образование без плазменных кольцевых световых пуль, в которые насыщение интенсивности достигается в результате баланса нелинейного сокращения ширины кольцевого профиля и дифракционной расходимости.

Список литературы

1. С.В. Чекалин, В.Л. Кандидов От самофокусировки световых пучков - к филаментации лазерных импульсов. // УФН, 183. №2.133, (2013)
2. E.O. Smetanina, V.O. Kompanets, S.V. Chekalin, A.E. Dormidonov, V.P. Kandidov And-Stokes wing of femtosecond laser filament supercontinuum in fused silica. // Optics Letters, 38.16, (2013)
3. A.E. Dormidonov, V.O. Kompanets, S.V. Chekalin, V.P. Kandidov Giantly blue-shifted visible light in femtosecond mid-IR filament in fluorides // Opt. Express 23, 29202 (2015).
4. S. Chekalin, A. Dokukina, A. Dormidonov, V. Kompanets E. Smetanina V. Kandidov Light bullets from a femtosecond filament // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics 48. P. 094008 (2015)
5. С.В. Чекалин, В.О. Компанец А.Э. Докукина, А.Е. Дормидонов, Е.О. Сметанина, В.П. Кандидов Видимое излучение суперконтинуума световых пучков при фемтосекундной филаментации ИК импульсов в плавленом кварце // Квантовая Электроника, 45,401 (2015).
6. А.Е. Дормидонов, В.О. Компанец, С.В. Чекалин, В.П. Кандидов Дисперсия антистоксовой полосы в спектре световой пули фемтосекундного филамента // Письма в ЖЭТФ, 104 (3). 173 (2016)
7. S.V. Chekalin, V.O. Kompanets, A.V. Kuznetsov, A.E. Dormidonov, V.P. Kandidov Regular 'breathing' of a near-single-cycle light bullet in Mid-IR. Filament // LaserPhys Lett. 13 065401 (2016)
8. E.V. Vasilyev, S.A. Shlenov, V.P. Kandidov Annular light bullets of a femtosecond optical vortex in a medium with anomalous group velocity dispersion // Laser Physics Letters, 15,115402, (2018).
9. Е.Д. Залозная, В.О. Компанец, А.Е. Дормидонов, С.В. Чекалин, В.П. Кандидов Параметр подобия процесса образования световых пучков среднего ИК диапазона / Квантовая электроника, 48, 366, (2018).
10. С.В. Чекалин, В.О. Компанец А.Е. Дормидонов, В.П. Кандидов Динамика световых пучков в однородных диэлектриках УФН, 189, №3, (2019)

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СПИРАЛЬНЫХ ПУЧКОВ СВЕТА

Д.В. Прокопова, К.В. Ефимова, С.А. Кишкин, С.П. Котова, Н.Н. Лосевский, С.А. Самагин

Самарский филиал ФИАН, Самара, 443011, Россия

Спиральные пучки [1-4] – световые поля, сохраняющие свою структуру с точностью до масштаба и поворота. Они могут иметь весьма разнообразную пространственную структуру распределения интенсивности. В частности, в семействе спиральных пучков теоретически найдены и на отдельных примерах экспериментально реализованы спиральные пучки в форме кривых или их совокупности. Примеры спиральных пучков приведены на рисунке 1. Они обладают ненулевым угловым моментом количества движения. Это проявляется в том, что микроскопические объекты размерами в несколько микрометров (например, живые клетки), помещенные в область фокусировки такого пучка, могут приводиться во вращение вокруг своего центра инерции, перемещаться по заданной траектории, подвергаться неоднородным заданным деформациям и т.п. Отмеченное свойство позволяет существенно расширить функциональные возможности оптических пинцетов, широко используемых сейчас для исследования биологических микроструктур, аэрозолей, а также в микромеханических системах с оптическим управлением. Кроме этого, спиральные пучки представляют большой интерес для квантовых систем передачи информации для увеличения продольного разрешения оптических микроскопов, а их математический формализм нашел свое применение для распознавания контурных изображений и кардиограмм.

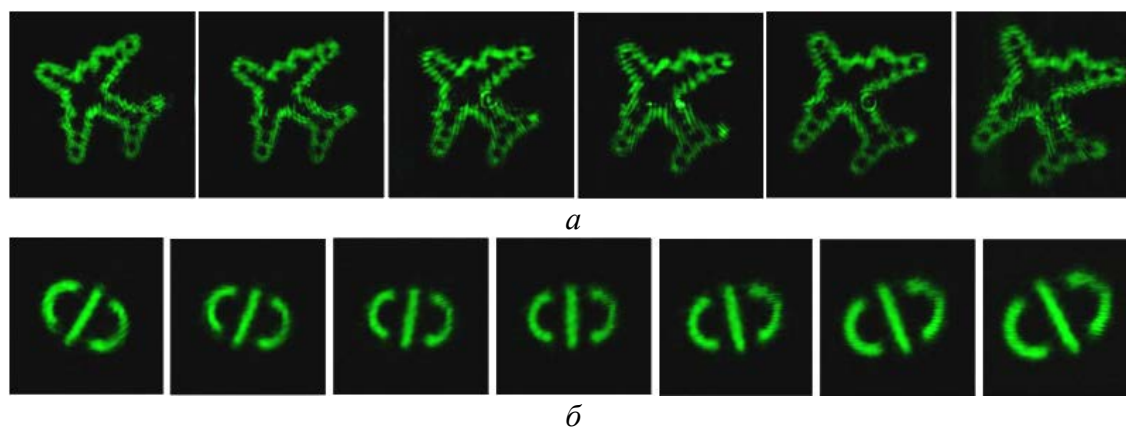


Рис. 1. Экспериментально полученные распределения интенсивности спиральных пучков в форме контура самолета (а) и буквы «Ф»(б) в различных сечениях

В связи с этим актуальной задачей является исследование методов формирования и поиск практически удобного способа генерации [4] спиральных пучков. Простым удобным способом их получения является голографический. В работе [6] было предложено формировать спиральные пучки света при помощи тонкой фазовой голограммы, содержащей только интерференционный член результата сложения амплитуд спирального пучка и плоской однородной волны. В статье [7] для увеличения дифракционной эффективности при формировании аксиально симметричных по интенсивности оптических вихрей используются голограммы с асимметричным профилем штриха. В основе подхода асимметризации профиля полос решётки голограммы лежит преобразование его к пилообразному виду. В этой работе предложенный метод был применен для формирования более сложных световых полей спиральных пучков, содержащих оптические вихри в своей структуре (рисунок 2).

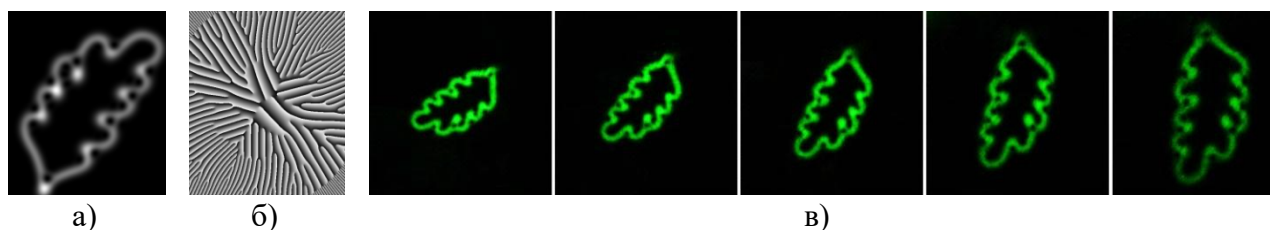


Рис. 2. Распределение интенсивности спирального пучка в виде контура дубового листа (а), фазы (б) и распределения интенсивности восстановленное тонкой фазовой голограммой в различных сечениях при фокусировке линзой с $F=45$ мм расстояние между соседними сечениями 40 мм

Мы исследовали различные подходы для формирования спиральных пучков при помощи дифракционных оптических элементов. Были рассмотрены такие методы как: бинарный по амплитуде метод амплитудно-фазовых масок [8] и голографический метод с синусоидальным и асимметричным профилем штриха.

Для анализа качества распределения интенсивности сформированных полей были введены следующие параметры: дифракционная эффективность (η) неоднородность кривой по ширине ($RMSw$) и отклонение ширины сформированной кривой относительно расчетной (nw) [9]. Дифракционная эффективность формирования спирального пучка рассчитывалась как отношение мощности излучения в полученном изображении, к мощности пучка, освещающего дифракционный элемент. Максимальная дифракционная эффективность экспериментально зарегистрирована для голографического метода с асимметричным профилем штриха (таблица 1). При переходе от синусоидального к асимметричному профилю штриха решетки она возросла в 2,3 раза.

При сравнении методов использовались изображения световых полей, полученные в Фурье-плоскости. Лучшими характеристиками обладают световые поля, полученные голографическим методом с асимметричной формой штриха. Данный метод был выбран в качестве базового для создания аппаратно-программно комплекса для формирования спиральных пучков. Отметим, что закономерности изменения дифракционной эффективности и качества в зависимости от метода формирования, установленные по результатам численного моделирования, совпадают с результатами натурального эксперимента.

Таблица

Результаты анализа эффективности и качества сформированных контурных вихревых полей по результатам численного моделирования / эксперимента

Метод	$\eta_{\text{числ}}/\eta_{\text{эксп}}, \%$	$RMSw_{\text{числ}}/RMS_{\text{эксп}}, \%$	$nw_{\text{числ}}/nw_{\text{эксп}}, \%$
Бинарный по амплитуде метод амплитудно-фазовых масок	17 / 9	12 / 25	33 / 36
Голографический с синусоидальным профилем штриха	7 / 5	88 / 42	96 / 39
Голографический с асимметричным профилем штриха	16 / 12	9 / 22	6 / 2

Для экспериментального формирования голограмм применялся жидкокристаллический пространственный модулятор света (ЖК ПМС) HOLOEYE 1080P (разрешение: 1920 x 1080 пикселей, размер одного пикселя: 8 мкм). Источником излучения служил твердотельный лазер ($\lambda=532$ нм, $P_{\text{max}}=50$ мВ). Изображения регистрировались с помощью фотоприемного устройства (ФПУ) Canon EOS 350D в линейном режиме работы. Управление ЖК ПМС производится с помощью персонального компьютера (ПК) с разработанным нами специализированным программным обеспечением, экранная форма которого представлена на рисунке 3. Схема экспериментальной установки аппаратно-программно комплекса приведена на рисунке 4.

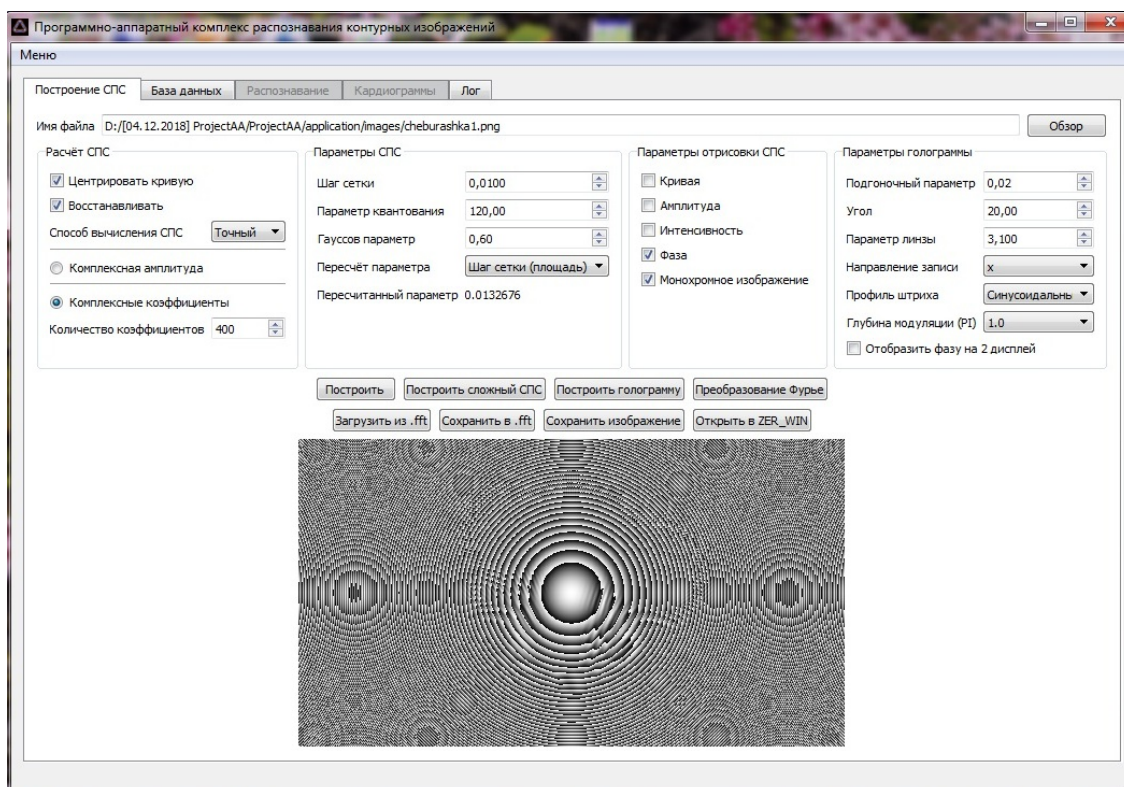


Рис. 3. Экранная форма разработанного программного обеспечения

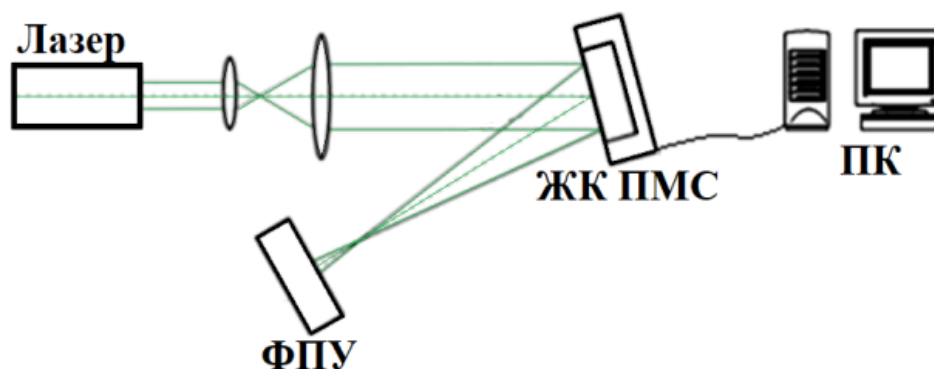


Рис. 4. Схема экспериментальной установки

Нашим коллективом был разработан программно-аппаратный комплекс, позволяющий в реальном времени рассчитывать комплексную амплитуду спирального пучка в форме произвольно заданной кривой и его голограмму, далее формировать голограмму с помощью ЖК ПМС и восстанавливать с нее спиральный пучок света.

Алгоритм работы комплекса состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Выбор кривой, в форме которой будет создаваться спиральный пучок света. На рисунке 5 а изображен рисунок, выбранный в качестве исходного, на рисунке 5 б – контур выделенный из рисунка, в форме которого будет построен спиральный пучок. Это контурное изображение загружается в разработанное ПО.

Шаг 2. Расчет комплексной амплитуды спирального пучка в форме заданной кривой.

Шаг 3. Расчет интенсивности и фазы спирального пучка (рисунок 5 в).

Шаг 4. Задание параметров цифровой голограммы и ее расчет. К полученному фазовому профилю голограммы добавляется линза для наглядной демонстрации свойства вращения распределения интенсивности при распространении восстановленного спирального пучка. Пример рассчитанного фазового профиля можно видеть на рисунке 3.

Шаг 5. Формирование рассчитанного фазового профиля голограммы с помощью ЖК ПМС, восстановление спирального пучка с голограммы.



Рис. 5. Исходное изображение (а), выделенный контур (б), рассчитанные распределения интенсивности и фазы (слева и справа соответственно) спирального пучка в форме заданной кривой (в)

На рисунке 6 изображены распределения интенсивности сформированных спиральных пучков, имеющих структуру в форме контура ели и сердца, сформированные с помощью разработанного комплекса.

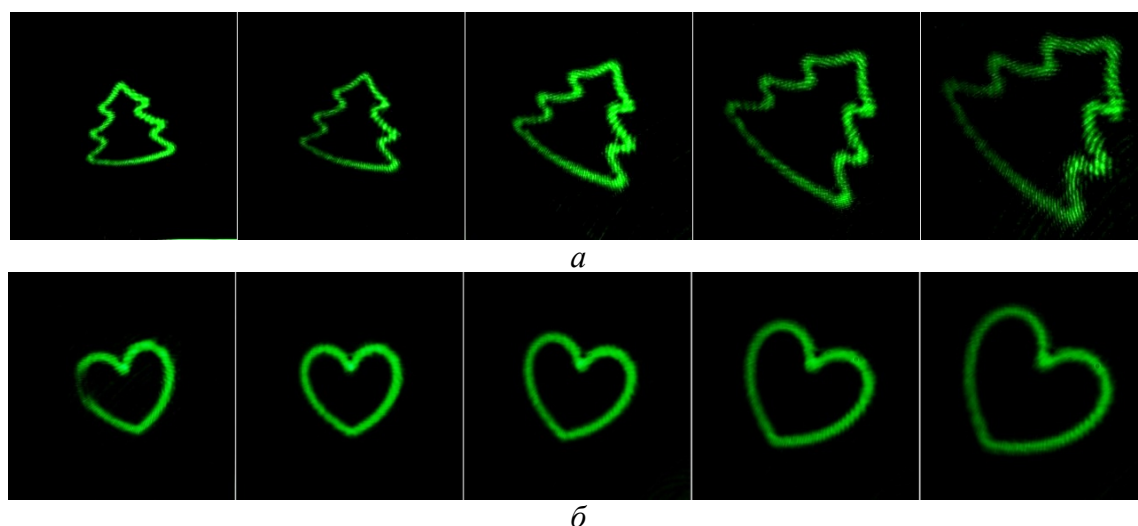


Рис. 6. Распределения интенсивности спиральных пучков в форме ели (а) и сердца (б), сформированных при помощи аппаратно-программного комплекса

Список литературы

1. Abramochkin E., Volostnikov V. Spiral-type beams // Optics Communications. 1993. Vol.102. № 3-4. P. 336-350.
2. Абрамочкин Е.Г., Волостников В.Г. Спиральные пучки света// Успехи физических наук. 2004. Т.174. № 12. С.1273-1300.
3. Абрамочкин Е.Г., Волостников В.Г. Современная оптика гауссовых пучков.// М.:ФИЗМАТЛИТ, 2010, 184 с.
4. Волостников В.Г. Методы анализа и синтеза когерентных световых полей.// М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014, 256с.
5. Rubinsztein-Dunlop H., Forbes, A., Berry M.V. et al. Roadmap on structured light // Journal of Optics. 2017. Vol. 19. № 1. 013001.

6. Афанасьев К.Н., Кишкин С.А. Формирование спиральных пучков при помощи фазовых голограмм // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. №4. С. 184-188.
7. В.П. Аксенов, В.Ю. Венедиктов, А.А. Севрюгин, И.М. Турсунов // Оптика и спектроскопия. 2018. Т. 124. №2. С. 275-279.
8. К. В. Ефимова, С. П. Котова, Н. Н. Лосевский, Д. В. Прокопова, С. А. Самагин Формирование контурных вихревых полей с помощью фазовых элементов на основе спиральных пучков света// Краткие сообщения по физике ФИАН – 2019. – Т. 46, № 4, С. 61-67.
9. К.В. Ефимова, Н.Н. Лосевский, Д.В. Прокопова, С.А. Самагин (XVI Всероссийский молодежный Самарский конкурс-конференция научных работ по оптике и лазерной физике, Самара, 2018), 300-307. <http://laser-optics.ru/proceedings2018.pdf>.

ЭКСИТОННАЯ НУТАЦИЯ В СЛОЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

В. В. Самарцев¹, Т. Г. Митрофанова¹, О. Х. Хасанов²

¹ Казанский физико-технический институт им. Е. К. Завойского – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»

Казань 420029, ул. Сибирский тракт, 10/7

² НПЦ НАН Беларуси по материаловедению,

Беларусь, Минск 220072, ул. П. Бровки, 19/1

E-mail: samartsev@kfti.knc.ru

Теоретически показана возможность наблюдения экситонной нутации в тонком слое полупроводниковых квантовых точек типа CdSe/CdS/ZnS.

Ключевые слова: экситон, нутация, полупроводник, квантовые точки

The possibility of an exciton nutation observation in a thin layer of the CdSe/CdS/ZnS semiconductor quantum dots is shown theoretically.

Keywords: exciton, nutation, semiconductor, quantum dots

1. Введение. Постановка задачи и общие сведения о полупроводниковых квантовых точках типа cdse/cds/zns. Данная работа посвящена теоретическому исследованию возможности и условий наблюдения экситонной нутации (эн) в тонком слое полупроводниковых квантовых точек (пкт). В оптике нутационный эффект впервые наблюден г. Хоккером и к. Тангом [1]. Позднее в работе [2] был предложен и реализован эффективный метод возбуждения этого нелинейного явления, когда на резонансную среду воздействуют два лазерных импульса: один – слабый и протяженный, и второй – мощный и короткий на фоне первого. В результате, второй мощный импульс образует по отношению к слабому необходимый (близкий к 90°-ному) «пье-дестал», который на выходе из среды оказывается модулированным с частотой раби. Модуляционная картина оказывается затухающей и из её спада обычно удаётся оценить время поперечной необратимой релаксации m_2 .

В качестве образца мы предлагаем использовать тонкий слой ПКТ CdSe/CdS/ZnS в толуоле, нанесённый на подложку. О синтезе таких ПКТ сообщалось в работе [3]. Позднее появилась экспериментальная работа [4], посвящённая исследованию таких ПКТ, изготавливаемых также в России производством «QDlight» методом коллоидного синтеза. Заявленный размер коллоидных ПКТ CdSe/CdS/ZnS равен 3–7 нм. В работе [4] отмечалось, что наличие двух оболочек из CdS и ZnS вокруг ядра CdSe способствует улучшению излучательных свойств, фотостабильности и высокому квантовому выходу по сравнению с нанокристаллами с одной оболочкой и без оболочки. Была разработана специальная методика для получения однородных и качественных образцов и создан экспериментальный стенд, позволяющий наносить однородные плёнки ПКТ CdSe/CdS/ZnS из раствора на поверхность стеклянной подложки. Оптические свойства образцов исследовались методом конфокальной люминесцентной микроспектроскопии [5]. В итоге было показано, что ПКТ распределены равномерно по тонкому слою плёнки. Согласно [4], возбуждение следует вести на длине волны 580 нм при температуре образца 10 К, когда время необратимой релаксации составляет 0,75 пс. В этом случае пикосекундный лазер, согласно [6], возбудит сначала свободные электронно-дырочные пары, которые затем, теряя энергию, превращаются в связанные электронно-дырочные пары, т.е. в экситоны Ванье–Мотта, – единственную форму существования фотонного возбуждения в ПКТ [7, 8], причём размер экситона Ванье–Мотта примерно равен размеру ПКТ. Поскольку тонкий слой ПКТ CdSe/CdS/ZnS нанесён на стеклянную подложку, то возбуждение и съём пикосекундных оптических импульсов удобно вести с помощью призм полного внутреннего отражения [9].

2. Экситонная нутация в тонком слое пкт cdse/cds/zns. В случае относительно протяжённого лазерного импульса псевдоэлектрический диполь совершает нутационное движение, приводящее к модуляции временной формы импульса с частотой раби. Корректный расчёт требует учёта во время действия импульса необратимой дефазировки (m_1 и m_2), что для отдельных частных импульсов выполнено г. Торри [10]. Это приводит к затуханию модуляции

по закону: $\exp\left[-\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right)t\right]$, где m_1 и m_2 – времена релаксации, t – время.

Экситонная нутация была предсказана в работе [11] (см. также более позднюю статью [12] и обзор [13]). Следуя [11], запишем электрическое поле лазерного импульса в виде:

$$\vec{E} = \vec{E}_0(z, t) \exp\{-i(\vec{k}\vec{z} - \omega t)\} + \text{э.с.}, \quad (1)$$

где $\vec{E}_0(z, t)$, ω и $\vec{k}$ – амплитуда, частота и волновой вектор лазерного импульса, э.с. – эрмитово-сопряжённый член. Обратим внимание, что в работе [11] теоретический расчёт ведётся в системе единиц, где постоянная Планка $\hbar = 1$. Гамильтониан слоя экситонов ПКТ, взаимодействующих с электрическим полем импульса, следуя [1], запишем в виде:

$$H = \sum_{\vec{k}} E_{\vec{k}_f} B_{\vec{k}_f}^+ B_{\vec{k}_f} - \frac{\omega_f}{2\omega} \sqrt{N} \left\{ (\vec{E}_0 \vec{d}_f) B_{\vec{k}_f}^+ \exp(-i\omega t) + \text{э.с.} \right\}, \quad (2)$$

где $E_{\vec{k}_f}$ – энергия экситона с волновым вектором $\vec{k}$, возбуждённого на f -ом электронном переходе атома ПКТ, ω_f – частота f -го электронного перехода, ω – частота лазера, N – число элементарных ячеек в слое ПКТ, $\vec{d}_f$ – электрический дипольный момент перехода f -го электрона; $B_{\vec{k}_f}^+$ и $B_{\vec{k}_f}$ – операторы рождения и уничтожения экситонов, удовлетворяющие следующим небозонным коммутационным соотношениям:

$$[B_{\vec{k}}, B_{\vec{k}'}^+] = \delta_{\vec{k}\vec{k}'} - \frac{2}{N} \sum_n B_n^+ B_n \exp\{-i\vec{n}(\vec{k}' - \vec{k})\}, \quad (3)$$

где B_n^+ и B_n – операторы рождения и уничтожения электронного возбуждения на n -ом атоме ПКТ, причём

$$[B_n, B_n^+] = 1 - 2B_n^+ B_n. \quad (4)$$

Согласно [11], электрическая поляризация ПКТ в момент t имеет вид:

$$\vec{P}(t, \vec{n}) = \left(\frac{\vec{d}_f}{V\sqrt{N}} \right) \sum_{\vec{k}} \{ B_{\vec{k}}^+ \exp(-i\vec{k}\vec{n}) + B_{\vec{k}} \exp(i\vec{k}\vec{n}) \}, \quad (5)$$

где V – объём элементарной ячейки. В работе [11] получена совместная система дифференциальных уравнений Гейзенберга для электрической поляризации $\vec{P}(t, \vec{n})$ и уравнений

Максвелла для амплитуды электрического поля и фазы. Одно из частных решений Г. Торри [10] получено для случая $\Delta\omega_{\vec{k}} = \omega_f - \omega = 0$. В этом случае из пяти дифференциальных уравнений связанной системы остаются только три, а поперечная компонента поляризации $\vec{P}_{\perp}(t)$, согласно [11], будет удовлетворять следующему уравнению:

$$\frac{d^2 \vec{P}_{\perp}(t)}{dt^2} + \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) \frac{d\vec{P}_{\perp}(t)}{dt} + \left(d_f^2 E_0^2 + \frac{1}{T_1 T_2} \right) \vec{P}_{\perp}(t) = -\frac{d_f^2 \vec{E}_0}{v T_1}, \quad (6)$$

где v – групповая скорость световой волны. Видно, что решение Торри [10] позволяет учесть времена релаксации (T_1 и T_2) во время импульса. Решение (6) получено в [11] и имеет вид:

$$\vec{P}_{\perp}(t) = -\frac{|\vec{d}_f|}{v} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right)t} \cdot \sin \left\{ \sqrt{d_f^2 E_0^2 - \frac{1}{4}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)^2} \cdot t \right\} - d_f^2 E_0 T_2 \left[v(d_f^2 E_0^2 T_1 T_2 + 1) \right]^{-1}. \quad (7)$$

Таким образом, экситонная поляризация среды в случае ЭН изменяется по гармоническому закону с частотой

$$\Omega = \sqrt{d_f^2 E_0^2 - \frac{1}{4}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)^2}, \quad (8)$$

получившей название частоты экситонной нутации. Обратим внимание на последний постоянный член в решении (7), который соответствует стационарному решению самосогласованной задачи. В случае $\left| d_f^2 E_0^2 \right| \ll \left| \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right|$, решение (7) приобретает вид:

$$\vec{P}_{\perp}(t) = -\frac{|\vec{d}_f|}{v} e^{-\frac{t}{T_2}} \cdot \sin \left\{ \vec{d}_f \vec{E}_0 t \right\} - d_f^2 E_0 T_2 \left[v(d_f^2 E_0^2 T_1 T_2 + 1) \right]^{-1}. \quad (9)$$

Подставляя (9) в уравнение Максвелла

$$\frac{\partial E_0(z, t)}{\partial z} + \frac{n}{c} \frac{\partial E_0(z, t)}{\partial t} = \frac{2\pi\omega}{cn} P_{\perp}(t), \quad (10)$$

получаем решение для амплитуды поля:

$$E_0(z, t) = E_0 \left(1 - \frac{\alpha z}{\Omega T_2} \sin \Omega t \cdot e^{-t/T_2} - \frac{\alpha z}{\Omega^2 T^2 + 1} \right), \quad (11)$$

где $\alpha = 2\pi\omega Nd_f^2 T_2 / cnv$, c – скорость света в вакууме, n – показатель преломления, $v = (5 \div 6) \frac{c}{n}$. Сигнал экситонной нутации промодулирован с частотой Ω . Модуляция затухает за время T_2 . Согласно [4], в тонком слое ПКТ CdSe/CdS/ZnS при 10°K время $T_2 \approx 0.75$ пс. Период нутации должен быть короче T_2 .

5. Заключение. Эффект экситонной нутации может быть использован для определения времени t_2 на экситонном переходе пкт тогда, когда наблюдение экситон-эха затруднено.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №17-02-00701-а и №18-52-00026_Бел-а.

Список литературы

- [1] Hocker G.B., Tang C.L. Observation of the optical transient nutation effect // Phys. Rev. Lett. – 1968. – V. 21, № 10. – P. 631-634.
- [2] Алимпиев С.С., Карлов Н.В. Экспериментальные методы наблюдения и исследования эффектов когерентного взаимодействия импульсного инфракрасного излучения с молекулярными газами // Известия АН СССР. Сер. физ. – 1973. – Т. 37, № 10. – С. 2073-2075.
- [3] Karimullin K.R., Knyazev M.V., Arzhanov A.I., Nurtidinova L.A., Naumov A.V. Photon echo in the ensemble of semiconductor quantum dots spread on a glass substrate// Jour. of Physics. Conf. ser. – 2017. – V. 859. – P. 012010.
- [4] Karimullin K.R., Arzhanov A.I., Naumov A.V. Two-pulse incoherent photon echo in a thin layer of CdSe/CdS/ZnS quantum dots // Bull. RAS. Physics. – 2018. – V. 82, № 11. – P. 1620-1623.
- [5] Karimullin K.R., Naumov A.V., Arzhanov A.I. Preparation and optical characterization of nanocomposites with semiconductor colloidal quantum dots // Bull. RAS. Physics. – 2017. – V. 81, № 12. – P. 1396-1400.
- [6] Осадько И.С. Флукутирующая флюоресценция наночастиц. – М.: Наука, 2011. – С.299-303.
- [7] Li X., Wu Y., Steel D., Gammon D., Stievater T.H., Katzer D.S., Park D., Piermarocchi C., Sham L.J. An all-optical quantum gate in a semiconductor quantum dot // Science. – 2003. – V. 301. – P. 809-811.
- [8] Ikezawa M., Nairs S., Masumoto Y. et. al. Photon echo study of excitons and excitonic complexes in self-assembled quantum dots // Jour. of Lumin. – 2007. – V. 122-123. – P. 730-734.
- [9] Власов Р.А., Гадомский О.Н., Гадомская И.В., Самарцев В.В. Нелинейное отражение и преломление сверхкоротких импульсов света на поверхности резонансных сред и эффекты фазовой памяти // ЖЭТФ. – 1986. – Т. 90, № 6. – С. 1938-1951.
- [10] Torrey H.C. Transient nutation in nuclear magnetic resonance // Phys. Rev. – 1949. – V. 76, № 9. – P. 1059-1069.
- [11] Kopvillem U. Kh., Samartsev V.V., Sheibut Yu. E. Exciton superradiance // Phys. Stat. Sol.(b). – 1975. – V. 70. – P. 799-810.
- [12] Samartsev V.V., Sheibut Yu. E., Ivanov Yu. S. The nutation effect and SIT on the exciton levels // Spectr. Lett. – 1976. – V. 9, № 1. – P. 57-61.
- [13] Samartsev V.V., Sheibut Yu. E. Coherent optical phenomena in the exciton spectra range. Review // Laser Phys. – 1991. – V. 1, № 5. – P. 482-503.

ОЦЕНКА ВКЛАДА ЭКСИТОН-ФОНОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОДНОРОДНОЕ УШИРЕНИЕ КВАНТОВЫХ УРОВНЕЙ ЭКСИТОННЫХ СОСТОЯНИЙ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ РЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕХОДА В ПЛЕНКАХ ZNO

И.А. Архиреев, А.И. Аленбаев, Н.С. Вашурин, Д.Е. Воронин, А.А. Гладышева,
Д.А. Никитин, И.И. Попов, С.А. Степанов, Н.И. Сушенцов

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет,
424001, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д.3
porov@volgatech.net

Проведены экспериментальные исследования по оптимизации параметров технологического процесса получения тонких пленок ZnO методом магнетронного распыления. Сняты зависимости спада первичного фотонного эха (ПФЭ) и стимулированного фотонного эха (СФЭ) при увеличении временного интервала между возбуждающими импульсами в тонких пленках ZnO. На основе кривых спада интенсивности эхо-сигналов разработана методика оценки вклада экситон-фононного взаимодействия в однородное уширение квантовых уровней экситонных состояний, локализованных на поверхностных дефектах, расположенных внутри зоны с размерами от 10 до 100 нм, и спектральных линий квантового перехода между этими уровнями. Методика применена для пленок ZnO толщиной 100, 600 и 800 нм.

В связи с получением материалов с квантоворазмерными структурами возникла новая область приборостроения – наноэлектроника. Ученые во всех странах мира активно ведут исследования по выявлению новых физических свойств и технологических возможностей получения наноэлектронных материалов и сред. Несмотря на то, что хорошие технические результаты получены на основе эпитаксиальных и ионноплазменных технологий формирования тонких функциональных пленок, на их основе не всегда удается получить дешевые наноэлектронные изделия массового спроса.

В работах [1] с помощью технологии магнетронного распыления получены тонкие пленки с квантоворазмерными элементами их текстуры на поверхностных дефектах кристаллической структуры волокон этих тонких пленок. Сами кристаллические волокна имеют поперечные линейные размеры в среднем около 100 нм. Эти размеры зависят от распыляемого материала и параметров технологического режима формирования пленок. В силу малости волокон на их криволинейной поверхности возникают зоны поверхностных дефектов, плавно переходящие в участки, ограниченные замкнутой криволинейной границей из неповрежденных участков кристаллической структуры. Размеры таких зон локализации поверхностных дефектов в зависимости от кривизны поверхности имеют линейные размеры вдоль этой поверхности пленки в среднем в районе 10 нм. Степень повреждения кристаллической решетки доходит до значений, превышающих половину расстояния между узлами кристаллической решетки. Поверхностные дефекты внутри своей зоны локализации имеют энергию возбуждения экситонных состояний в форме лунки (рис.1). В центре лунки энергия возбуждения экситонного состояния более, чем в 2 раза меньше энергии, требующейся для возбуждения экситонного состояния электрона, расположенного в узле бездефектного участка кристаллической решетки. Это позволяет при отсутствии линии поглощения оптического излучения на 800 нм лазерным излучением на 800 нм в режиме двухквантового возбуждения формировать экситонные состояния на линии 400 нм. Возникающие экситонные состояния при комнатной температуре быстро распадаются или в результате миграции по поверхности локализуются преимущественно на поверхностных дефектах внутри зон их локализации. При этом экситоны, локализуясь на дефектах кристаллической решетки, отдают ей часть своей энергии, переходящей в тепло или в излучаемое фононное излучение. Часть экситонов, локализованных на квантовых уровнях, отличающихся по энергии от уровней энергии, характерной для электронов, находящихся в бездефектных узлах кристаллической решетки, на величину, меньшую энергии

их теплового движения, быстро распадаются при высокой комнатной температуре. Оставшиеся внутри зоны локализации, разряженные экситоны испытывают движение, характерное для экситонного газа. В отличие от атомарного и молекулярного газа кроме упругих и неупругих столкновений частицы экситонного газа испытывают еще и экситон-фоонное взаимодействие с фоонным излучением кристаллической решетки.

Экситоны, локализующиеся внутри зоны формирования поверхностных дефектов, распределяются на этих дефектах с сохранением энергии квантового уровня возбуждения экситонных состояний, соответствующей этому дефекту.

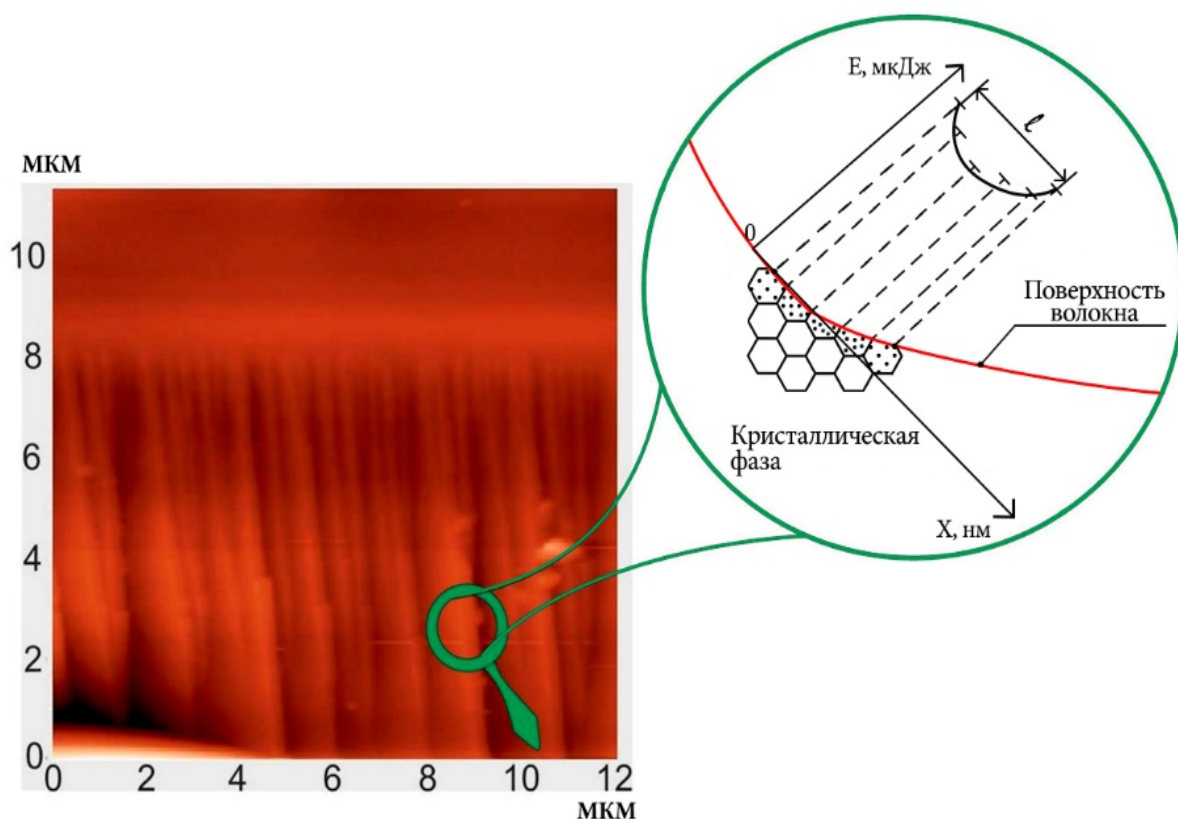


Рис. 1. Скол тонкой пленки, полученной методом магнетронного распыления: l – максимальный линейный размер зоны максимальной локализации дефектов кристаллической поверхности; E – энергия возбуждения экситонного состояния; X – координата поверхностных дефектов кристаллической решетки вдоль максимального линейного размера зоны их локального скопления.

Внутри каждой зоны локализации поверхностных дефектов экситонные состояния могут мигрировать, переходя с дефекта на дефект как без затрат энергии, так и с обменом энергией. После установления внутри зоны локализации поверхностных дефектов равновесного распределения экситонов по квантовым уровням этих дефектов, под воздействием внешнего излучения возможен переход экситона с низшего по энергии квантового уровня на высший. При этом происходит поглощение энергии возбуждающего излучения на частоте, соответствующей разности энергий, задействованных квантовых уровней энергии. Также возможен спонтанный или индуцированный переход с высшего по энергии квантового уровня – на низший с излучением кванта электромагнитной энергии. При двухквантовом возбуждении экситонных состояний излучением 800 нм, возможно получение одноквантового излучения на длине 800 нм, индуцированного излучением с длиной волны, также равной 800 нм. Это возможно только в случае, если глубина проседания энергии квантового уровня электрона из-за дефекта кристаллической решетки превышает половину энергии двухквантового возбуждения экситонных состояний. При этом становится возможным запуск переходных процессов между квантовыми уровнями экситонных состояний и формирование сигналов фотонного эха. А, следовательно,

становится возможным и исследование характеристик экситонных состояний методами оптической эхо-спектроскопии.

Условия эксперимента. При проведении работ в данном цикле экспериментальных исследований решались три задачи. В том числе, оптимизации технологических режимов магнетронного распыления тонких пленок оксида цинка (ZnO), разработка методики оценки вклада экситон-фононных взаимодействий в однородное уширение резонансных квантовых уровней экситонных состояний и спектральной линии резонансного перехода на основе анализа спадов интенсивности сигналов фотонного эха и применение этой методики для оценки механизмов однородного уширения в пленках ZnO (рис.2), толщиной 100, 600 и 800 нм.

На рис.1 приведен скан тонкой пленки, полученной методом магнетронного распыления. На скане показаны профили кристаллических волокон пленки, увеличиваясь в объеме по мере приближения к основанию волокна. Лупой выделен участок на поверхности волокна, схематично отображенный на рисунке. В плоскости полученного среза волокна показана зона с линейным размером l показаны неповрежденные участки кристаллической структуры по краям размера l участки с нарастающим дефектом по мере приближения к центру зоны (участка l). Сверху на эту зону наложена диаграмма распределения энергии возбуждения экситонов по сечению поверхности волокна. Возбужденные в пленке локализованные в этой зоне экситоны со всех сторон ограничены энергетическими барьерами. При этом верхнее ограничение определяется малой энергией теплового движения экситона по сравнению с энергией возбуждения экситона на краях зоны. В то же время экситоны, локализованные внутри зоны поверхностных дефектов, могут мигрировать внутри зоны с одного дефекта на другой, иногда испытывать упругие и неупругие столкновения между собой, как обычный газ. В отличие от поведения частиц газа локализованные экситоны имеют дополнительное взаимодействие с фононами, излучаемыми кристаллической решеткой волокна, что вносит свой вклад в механизмы однородного уширения как самого квантового перехода, так и его уровней.

Технология получения пленок ZnO (рис.2) включала оптимизацию параметров технологического режима и контроль получаемой поверхности с помощью сканирующего зондового микроскопа СЗМ комплекс NT-MDT NTEGRA Prima и химического состава пленки с помощью электронного микроскопа VEGA3 SB. В процессе эксперимента оптимизировались параметры технологического режима, включающие температуру, ток разряда, плотность тока, его мощность на мишени, величину индукции магнитного поля, рабочее давление инертного газа Аргона и рабочего газа кислорода.

Сигналы фотонного эха возбуждались поочередно в пленках толщиной 10, 600 и 800 нм последовательно разнесенных во времени импульсов лазерного излучения на длине волны 800 нм с длительностью лазерных импульсов, равной 60 фс. При возбуждении ПФЭ импульсная площадь возбуждения при первом импульсе была близка к $\pi/2$, а при втором – π . При возбуждении СФЭ – для всех импульсов импульсная площадь составляла $\pi/2$. При оценке на спектрофотометре линии поглощения для пленки ZnO на 800 нм не обнаружено. Выявлено поглощение оптического излучения только на длине волны 400 нм. Линии поглощения и испускания на 800 нм имели только экситонные состояния, возбуждаемые мощным лазерным излучением. Поскольку при работе на спектрофотометре экситонных состояний не возникало, поэтому и не было поглощения света на длине волны 800 нм. Выполняя условие для двухфотонного возбуждения квантовых переходов, возбуждались экситоны на 400 нм, которые после миграции по поверхности, локализовывались на поверхностных дефектах кристаллической решетки материала пленки с уровнями энергии меньшими значений, соответствующих 800 нм. Переходы, возникающие между отдельными парами уровней экситонных состояний, локализованных на поверхностных дефектах, имели значение энергии возбуждения близкими к значениям, соответствующим 800 нм. Некоторый разброс значений энергий между различными парами квантовых уровней в пределах ширины спектра лазерного излучения, обеспечивал

условия неоднородного уширения резонансной спектральной линии, являющегося обязательным условием возбуждения в этой среде сигналов фотонного эха.

Оценка вклада экситон-фононного взаимодействия в однородное уширение квантовых уровней трионных состояний, задействованных в эксперименте, и спектральной линии резонансного квантового проводилась перехода путем анализа быстрого и медленного спада интенсивности сигналов ПФЭ и СФЭ. Использовались результаты экспериментального исследования спада интенсивности сигналов ПФЭ и СФЭ в зависимости от величины временного интервала, отделяющего возбуждающие импульсы. При формировании СФЭ первый и второй возбуждающие импульсы совмещались по времени, но разделялись в пространстве. Графики кривой, отражающей зависимости этих спадов приведены на рис. 3 и рис. 4, соответственно для ПФЭ и СФЭ. На участке кривой, соответствующем быстрому спаду между точками, выбиралось до 30 пар точек с различными значениями координат и по формулам (1) и (2) вычислялись (для каждой кривой) 30 значений, соответственно, времени поперечной необратимой релаксации T_2 и продольной необратимой релаксации T_1 . Из времен релаксаций определялись обратные им значения однородного уширения квантовых уровней резонансного перехода. Путем обработки полученного ряда значений однородного уширения квантового уровня и резонансной спектральной линии определялось его среднее значение и среднеквадратичное отклонение.

$$T_2 = T_2 = \frac{4(\tau_{12}^{(2)} - \tau_{12}^{(1)})}{\ln\left(\frac{I_{cp.n}^{(1)}}{I_{cp.n}^{(2)}}\right)} \quad (1)$$

где $I_{cp.n}^{(1)}$ и $I_{cp.n}^{(2)}$ – значения средней интенсивностей сигналов ПФЭ, соответствующие временным интервалам между возбуждающими импульсами, равными, соответственно, $\tau_{12}^{(1)}$ и $\tau_{12}^{(2)}$.

$$T_1 = \frac{2(\tau_{23}^{(2)} - \tau_{23}^{(1)})}{\ln\left(\frac{I_{cp.c}^{(1)}}{I_{cp.c}^{(2)}}\right)}, \quad (2)$$

где $I_{cp.c}^{(1)}$ и $I_{cp.c}^{(2)}$ – значения средней интенсивности сигналов СФЭ, соответствующие временным интервалам между возбуждающими импульсами, соответственно, равными $\tau_{23}^{(1)}$ и $\tau_{23}^{(2)}$.

Вычитая из значения ширины квантового уровня, полученного для участка быстрого спада, соответствующее значение для участка медленного спада эхо-сигнала, получаем величину вклада в однородную ширину квантового уровня экситон-фононных взаимодействий.

Результаты и их обсуждение. Напыление пленок ZnO производилось в вакуумной камере с давлением $3 \cdot 10^{-3}$ Па, которое достигается с помощью паромасляного насоса и механического. Осаждались пленки на стеклянную подложку размером 60×48 и толщиной 2 мм. Температура нагрева подложек составляла 100 °С. Рабочее давление 2 Па. Напряжение и разрядный ток на мишени были равны 350 В и 0,3 А соответственно. В процессе напыления изменялось время напыления, соответствующее требуемой толщине пленки. Концентрация кислорода в

вакуумной камере распыления пленки была равна 80%, а аргона 20%. Контроль параметров и их регулировка осуществляется при помощи специального программного обеспечения, встроенного в установку магнетронного распыления. На рис. 2 приведено изображение сканированной поверхности пленки ZnO, изготовленных при оптимальных параметрах технологического процесса.

В данной работе путем сопоставления быстрого и медленного отдельно для спада сигналов первичного фотонного эха (рис.3) и стимулированного фотонного эха (рис.4) по мере увеличения временных интервалов, разделяющих возбуждающие лазерные импульсы установлено, что доля фононного крыла в контуре однородного уширения задействованных квантовых уровней экситонного состояния составляла до 20% от общей однородной ширины уровня, а в спектральной линии доля однородного уширения из-за экситон-фононного взаимодействия доходит в разных образцах до 5-10 % общего ее однородного уширения. Чем тоньше была пленка, тем меньше был диаметр волокон пленки, то есть тем выше была кривизна поверхности волокон, а, следовательно, и глубина локализации уровня экситонного состояния.

Этому соответствовало большее значение пар резонансных квантовых уровней, пропорционально квадрату числа которых равнялась интенсивность эхо-сигнала. Большой интервал энергий, на котором возникали пары квантовых уровней, обеспечивал условия для более медленного затухания интенсивности эхо-сигналов. Большим значениям времен релаксации соответствовали меньшие значения однородного уширения.

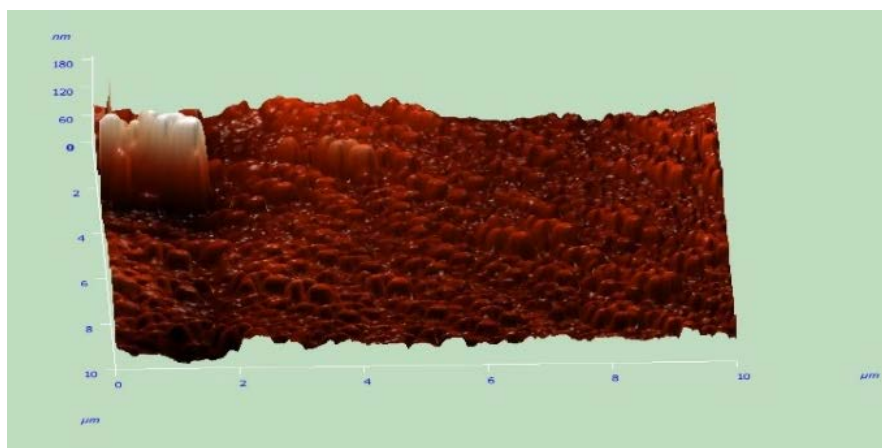


Рис. 2. СЗМ-изображение образца пленки ZnO.

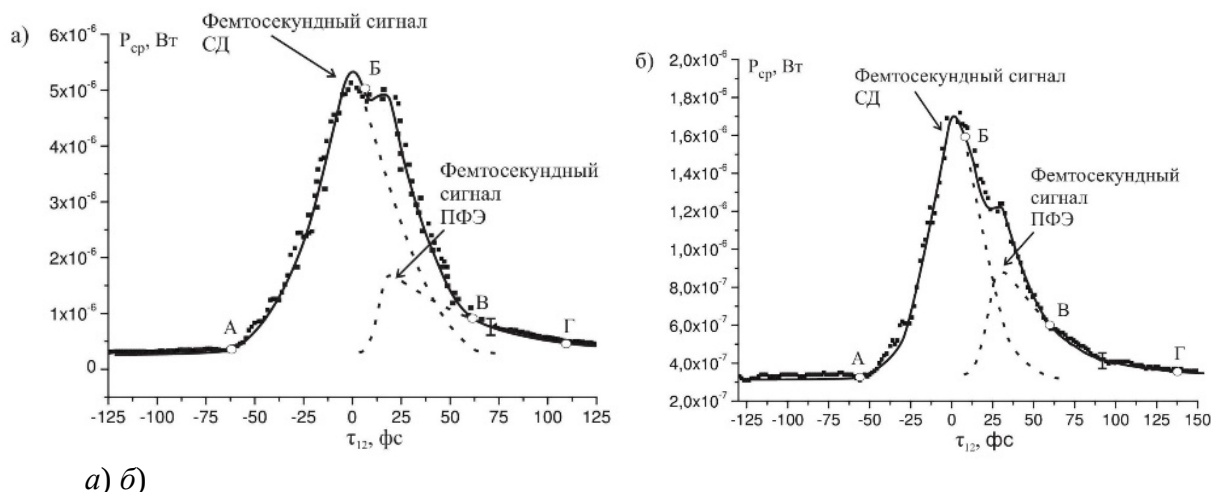


Рис. 3. Зависимость средней мощности сигналов СД и ПФЭ в пленке ZnO толщиной 800 нм (а) и 600 нм (б) от временного интервала между возбуждающими лазерными импульсами: участок АБ-регистрация сигнала СД; участок БВ-регистрация сигналов СД+ПФЭ; участок ВГ-регистрация сигнала ПФЭ.

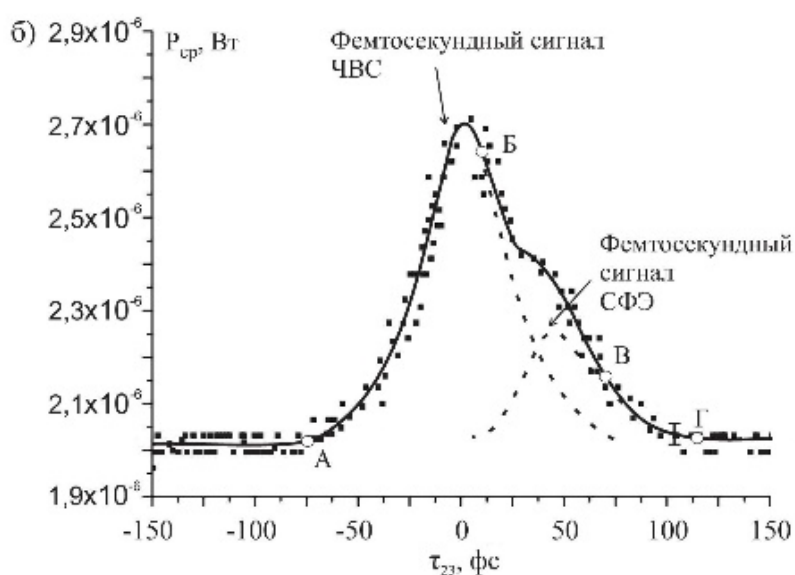


Рис. 4. Зависимости средней мощности сигналов СФЭ от времени между возбуждающими импульсами τ_{23} – в пленке ZnO.

Заключение. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что методом магнетронного распыления можно создавать тонкие пленки с равномерными текстурой, размерами и плотностью расположения наноразмерных зон поверхностных дефектов кристаллической структуры материала изготавливаемых тонких пленок. Установлено, что в отличие от обычного газа в экситонном газе, сформированном за счет локализации экситонов на поверхностных дефектах кристаллической структуры тонких пленок, на однородное уширение квантовых уровней резонансного перехода и его спектральной линии влияют экситон-фононные взаимодействия. Уширение квантовых уровней, обусловленное фононами кристаллической решетки волокон пленки, увеличивается от 5 до 10%, а спектральной линии до 20%. Продемонстрировано, что увеличение толщины пленки приводит к увеличению однородного уширения квантовых уровней и спектральной ширины резонансного перехода.

Список литературы

1. I.I. Popov, N.S. Vashurin, S.E. Putilin and it.el.// Physics of Wave Phenomena, 2015, Volume 23, Issue 2, pp 101-104.

ПРОСТРАНСТВЕННО-СПЕКТРАЛЬНЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ В ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ЖК-НАНОКОМПОЗИТОВ: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ И ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

К.А. Магарян^{1,*}, К.Р. Каримуллин^{1,2}, И.А. Васильева¹, А.В. Наумов^{1,2}, Ю.В. Григорьев³

¹Московский педагогический государственный университет,
119435, г. Москва, ул. Малая Пироговская, д. 29

²Институт спектроскопии Российской академии наук,
108840, г. Москва, г. Троцк, ул. Физическая, д. 5

³ЦКП ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук,
119333, г. Москва, Ленинский проспект, д. 59
e-mail: ka.magaryan@mpgu.su

В работе исследованы нанокристаллы CdSe размером 2,3 нм, высаженные на поверхность подложки из слабоконцентрированного толуольного раствора. Методом люминесцентной микроскопии зарегистрированы спектры люминесценции от малых ансамблей КТ вплоть до одиночных нанокристаллов. Выполнено пространственно-спектральное томографирование образцов, результаты которого позволили сделать вывод о неоднородной природе спектров люминесценции объемного нанокompозитного материала. Дополнительные исследования состава и структуры ЖК-нанокompозитов были проведены методом просвечивающей электронной микроскопии.

Введение. Совокупность уникальных свойств новых функциональных наноматериалов и особенностей жидкокристаллических (ЖК) структур предполагает значительное расширение потенциальных возможностей для их применения. На сегодняшний день существует три основных способа получения композитов на основе ЖК материалов и наноструктур: допирование наночастицами ЖК матрицы, поверхностное напыление наноструктур на подложку и *in-situ* метод прямого синтеза внутри ЖК материала [1].

Нами были исследованы нанокompозиты с КТ CdSe, выращенными непосредственно в ионной смектической ЖК матрице [2]. Данный метод позволил приготовить два типа образцов – в застеклованном виде и в виде толуольного раствора с поликристаллическим порошком. Первый тип образцов был приготовлен в результате быстрого охлаждения ЖК фазы до комнатной температуры, что привело к стеклованию и стабилизации КТ между слоями смектической ЖК матрицы. Образец второго типа был приготовлен путем диспергирования порошка, образовавшегося в результате медленного охлаждения ЖК фазы, в химически чистом толуоле. Затем данный раствор был исследован при помощи просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) и методом спектроскопии одиночных молекул (СОМ) [3]. Проведение исследования нанокompозита в виде тонких твердых пленок методом ПЭМ не представлялось возможным по причине наличия толстых покрывных стекол. Использование метода ПЭМ стало важным дополнительным инструментом для исследования ЖК-наноструктур, хорошо дополняющим оптические методы исследования.

Результаты исследований толуольного раствора методом ПЭМ представлены на рис. 1. Измерения были проведены с помощью ПЭМ FEI Osiris с ускоряющим напряжением 200 кВ в Центре коллективного пользования ФНИЦ «Кристаллографии и фотоника» Российской академии наук. При помощи ПЭМ получены микрофотографии при различных увеличениях, включая высокоразрешающую просвечивающую электронную микроскопию (ПЭМ ВР).

Предварительный анализ образца в виде твердого композитного материала [4], и в виде толуольного раствора [5] на оптическом микроскопе показал наличие агломераций различного размера. Наличие данных скоплений приводило к сильной модификации спектров люминесценции, исследованных в мезоскопическом объеме. С помощью ПЭМ удалось исследовать область свободную от кластеров частиц, которую не представлялось возможным разрешить при помощи оптического микроскопа.

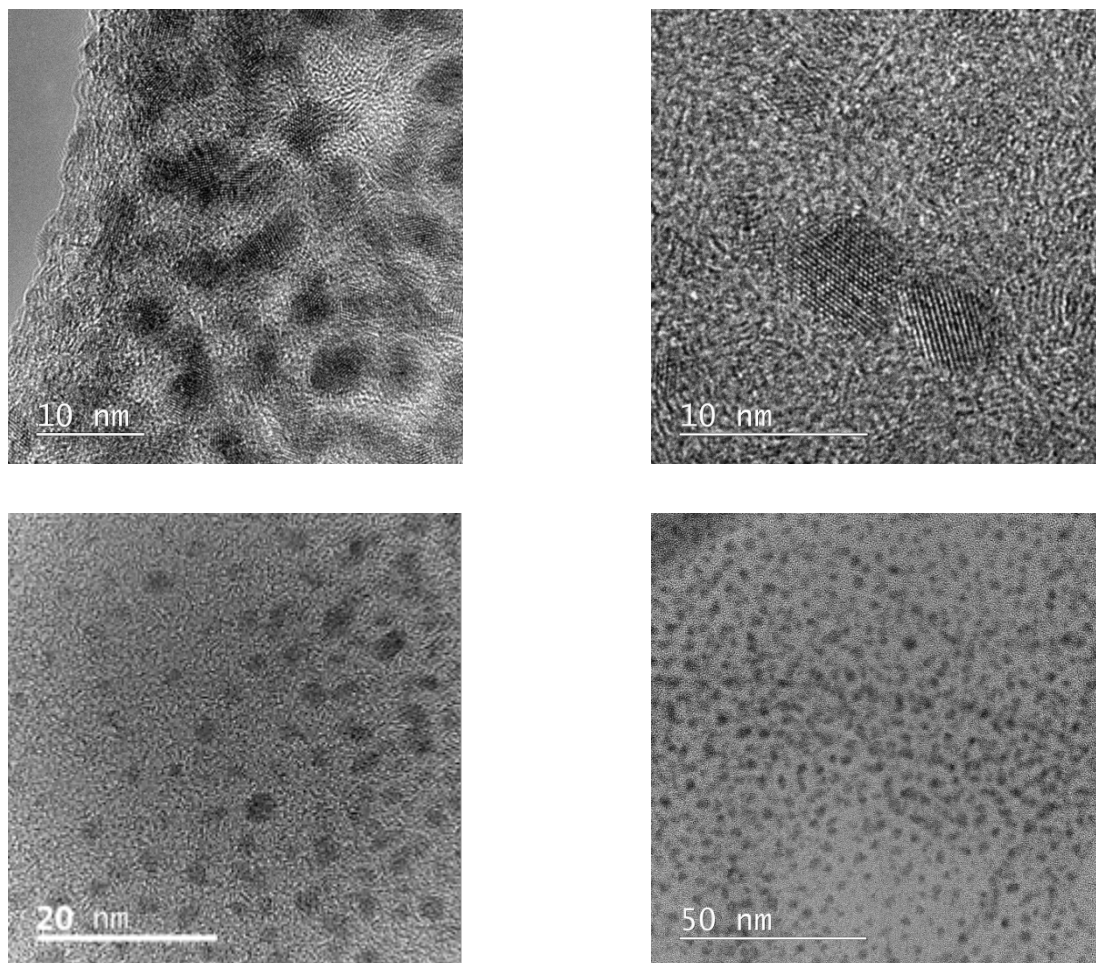
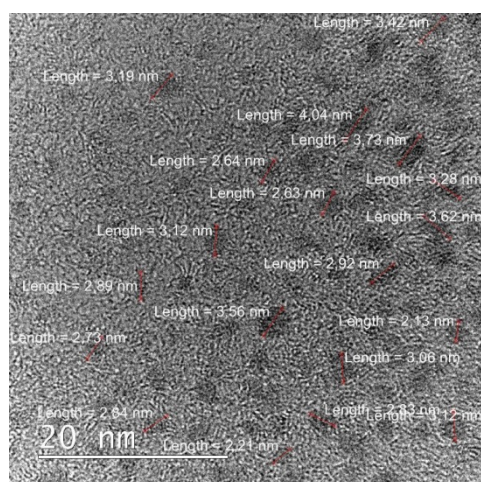


Рис. 1. Снимки, полученные на электронном микроскопе при разном увеличении. Видны отдельные квантовые точки CdSe.

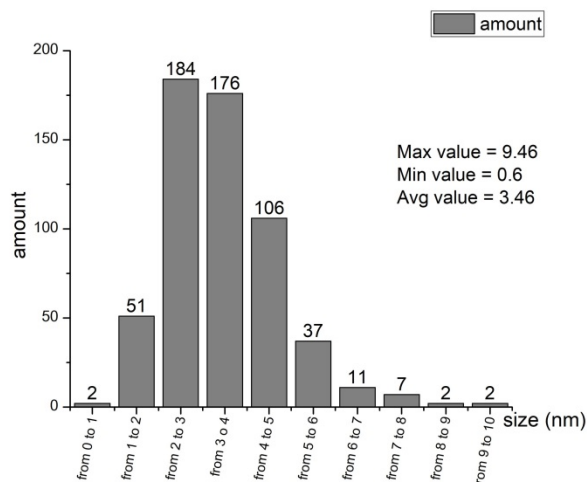
По полученным на электронном микроскопе снимкам (рис. 1) можно охарактеризовать состав нанокompозита и численность КТ разного диаметра в составе случайно выбранного наноскопического объема. По представленным снимкам можно качественно характеризовать упаковку атомов в нанокристаллах. Порядок атомных рядов и колонок не нарушается наличием дислокаций в подавляющем большинстве объектов, которые дают возможность провести такую оценку. Это указывает на высокое качество синтезированных нанокристаллов и малое количество дефектов кристаллической структуры на интерфейсе. На основе анализа величин атомных рядов и колонок, межплоскостных расстояний можно сделать выводы о том, что представленные КТ имеют сферическую форму. Значения углов между плоскостями и межплоскостные расстояния демонстрируют характерную кристаллам селенида кадмия гексагональную структуру. Элементный анализ, выполненный на электронном микроскопе, также подтвердил нахождение в составе нанокристаллов атомов Se и Cd.

Пример расчёта размеров для КТ по снимкам с ПЭМ приведен на рис. 2а. На основе анализа 578 объектов была построена гистограмма, которая отображает распределение нанокристаллов по размерам (рис. 2б). Из данной гистограммы видно, что преобладающий размер КТ находится в диапазоне от 2 до 4 нм (две трети всех найденных частиц). Также среди исследуемых нанокристаллов было обнаружено около 10 % частиц, размер которых превышает 5 нм, что больше чем в два раза превосходит заявленный размер. Наличие сильного разброса размеров КТ зарегистрированного при помощи ПЭМ подтверждает результаты спектральных исследований, выполненных ранее. На основании анализа полученных экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что неоднородное уширение спектров люминесценции

объемных ЖК-наноконпозитов определяется, в значительной мере, полидисперсным составом наноконпозита.

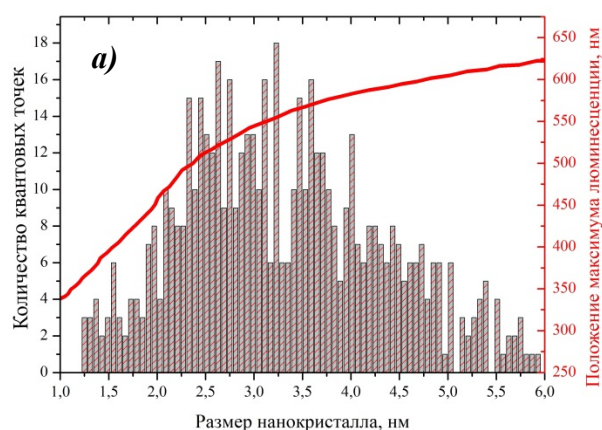


а)

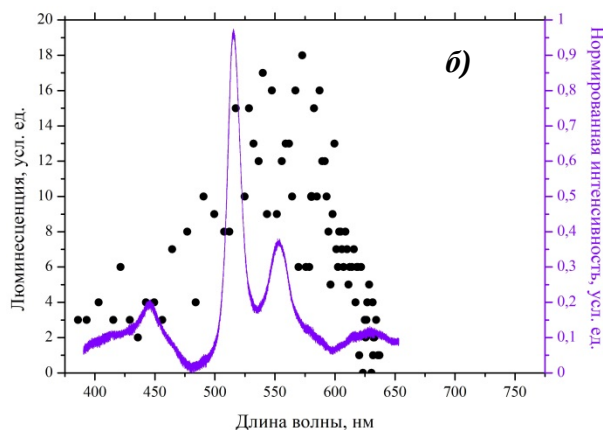


б)

Рис. 2. а) Пример расчёта размеров КТ, по снимку с электронного микроскопа; б) гистограмма распределений КТ по размерам.



а)



б)

Рис. 1. (а) Гистограмма распределения размеров КТ в наноконпозите с заявленным размером 2.3 нм, полученная с использованием просвечивающего электронного микроскопа. (б) Спектр люминесценции наноконпозита с КТ 2.3 нм (сплошная линия) и рассчитанная на основе гистограммы (а) форма спектра (точки).

Гистограмма распределения размеров КТ построенная с мелким шагом (рис. 3а) может быть пересчитана в кривую, определяющую форму спектра люминесценции. Для этого была использована зависимость положения первого экситонного максимума в спектре поглощения КТ CdSe от их размера (красная кривая на рис. 3а), с учетом стока сдвига. С использованием графического метода для каждой точки гистограммы на рис. 3а размер КТ был пересчитан в соответствующее значение положения максимума экситонной люминесценции. Соответствующая форма ожидаемого сигнала экситонной люминесценции от композита с таким составом КТ CdSe отображена точками на рис. 3б. Для сравнения на этом же графике приведен один из спектров люминесценции, полученный из макроскопической области стеклованного образца. Как видно, полидисперсный характер наноконпозита со значительной дисперсией размеров КТ во многом определяет широкий спектр люминесценции со сложной структурой.

Для детализации распределения КТ внутри ЖК-образцов было выполнено пространственно-люминесцентное томографирование (рис. 4). Для приготовления образцов поликристаллический порошок с КТ CdSe был диспергирован в химически чистом толуоле и высажен

на подложку, которая в свою очередь помещалась на прецизионную платформу люминесцентного микроскопа–спектрометра [6]. Далее проводилось сканирование участка размером 25×25 мкм с шагом в 0,5 мкм, причем, на каждом шаге проводилась запись спектра люминесценции. Все спектры люминесценции получены при комнатной температуре при возбуждении твердотельным лазером с диодной накачкой на длине волны 405 нм.

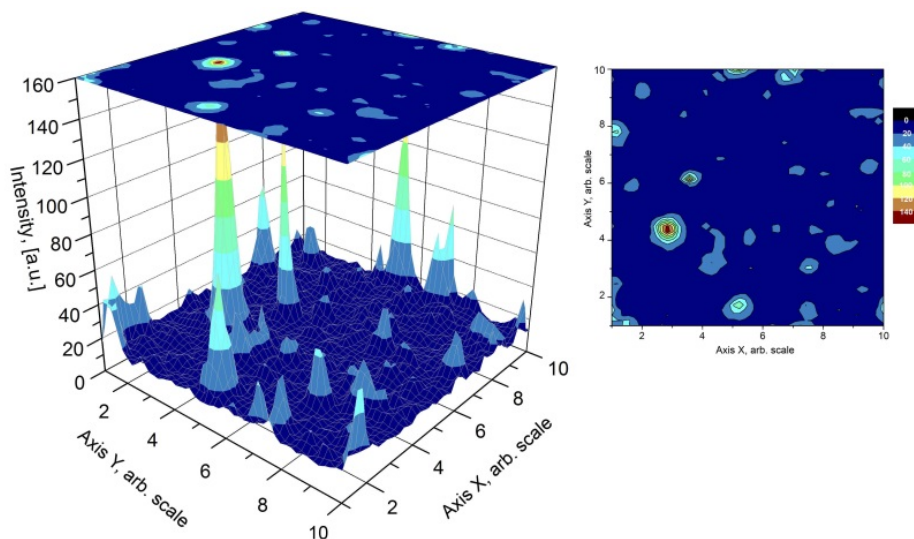


Рис. 2. Люминесцентная томограмма участка пленки с нанокристаллами CdSe, высаженными на поверхность стеклянной подложки.

На рис. 4 слева приведена трёхмерная томограмма, представляющая собой результат исследования области размером 25×25 мкм на поверхности тонкой пленки со случайно распределенными на ней нанокристаллами CdSe. Справа представлена двумерное изображение, где цветом проградуировано значение интенсивности сигнала люминесценции. Как видно, на томограмме есть высокоинтенсивные участки и участки со слабой интенсивностью люминесценции. По-видимому, это связано с возможным стохастическим переходом КТ в безызлучательное off-состояние в момент экспонирования [7, 8]. Присутствие «ярких» точек на томограмме может быть связано с наличием в области, ограниченной дифракционным пределом, нескольких одинаковых по размеру и свойствам КТ.

В спектре люминесценции нанокмпозитов в мезоскопическом объеме можно выделить ярко выраженную полосу, соответствующую экситонной люминесценции, и широкое длинноволновое крыло, отвечающее за рекомбинацию экситонов на структурных дефектах [9]. Такие же полосы наблюдались и в спектре люминесценции из объемной области стекло-ванного нанокмпозита [4]. Нами были зарегистрированы спектры люминесценции для множества разных точек на пленке. Затем, на этапе постобработки, были выбраны характерные спектры люминесценции и проведена оценка количества наноразмерных областей на поверхности данной пленки, которым соответствуют аналогичные спектры. Таким образом, в каждой точке томограммы была построена карта распределения интенсивностей люминесценции, соответствующих одному и тому же виду спектра люминесценции (рис. 5).

Каждой из трех томограмм (а, б, в на рис. 5) соответствует выбранный диапазон длин волн, в который попадает та или иная часть спектра люминесценции (г, д, е на рис. 5). Таким образом, можно судить о том, в каком количестве распределены наночастицы (излучающие в том или ином спектральном диапазоне) по поверхности исследуемой пленке. Обработка полученных данных показала, что наиболее часто встречающимся спектром люминесценции КТ, высаженных на поверхности подложки, является участок спектра, в котором наблюдалась экситонная люминесценция. В данном случае это диапазон 510–520 нм, изображенный на рис.

5г, где наблюдается узкая линия, соответствующая межзонному переходу в КТ CdSe размером 2,3 нм. На данной томограмме изображено большое количество областей с разной интенсивностью, что может объясняться двумя причинами. КТ за время экспозиции детектора – 30 мс перешла в безызлучательное («темное») состояние. В областях с высокой интенсивностью – КТ, по-видимому, излучает, не переходя в «темное» состояние.

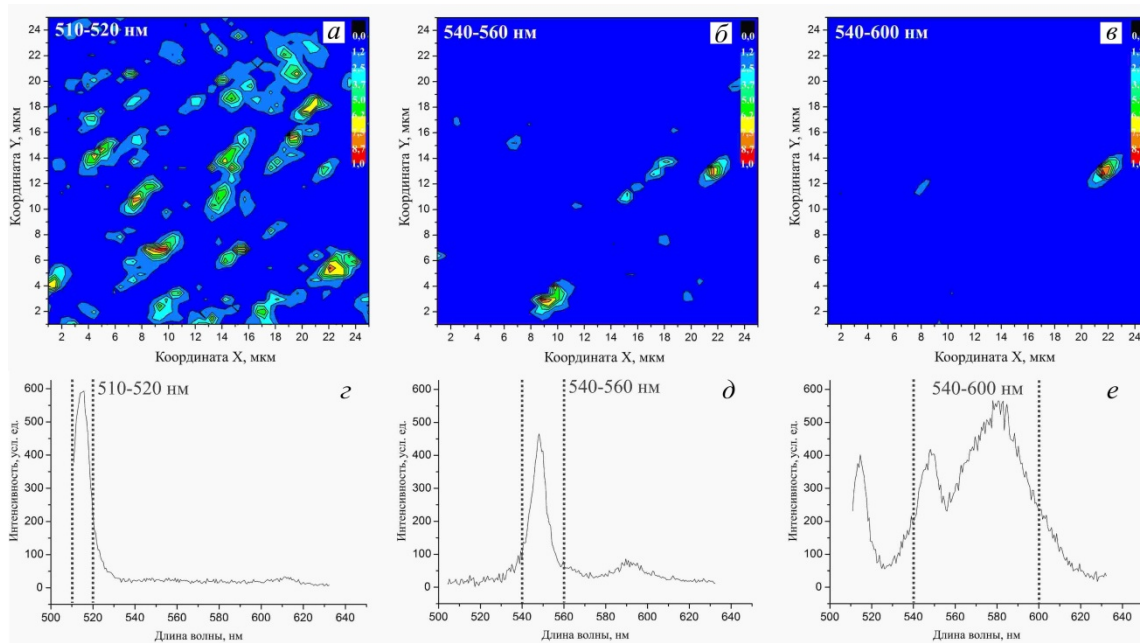


Рис. 3. Спектральные томограммы (а, б, в) и соответствующие ярким областям на томограммах спектры люминесценции (г, д, е) КТ CdSe 2,3 нм.

На томограмме, изображенной на рис. 5д, показано распределение по поверхности пленки нанокристаллов, имеющих в составе спектра люминесценции только максимум, лежащий в границах 540–560 нм. В спектрах люминесценции макро- и мезоскопических областей в данном диапазоне находится узкий максимум, проявлявший зависимость от температуры [4]. Поскольку спектр люминесценции напрямую связан с размером КТ, то по зарегистрированному спектру люминесценции можно сделать вывод о том, что размер соответствующих этому спектру частиц больше. Количество таких частиц невелико, о чём свидетельствует характер распределения таких КТ на томограмме. Наличие таких частиц вносит существенный вклад в спектр люминесценции объемного нанокompозита тем, что в нем появляется индивидуальный узкий максимум, зависящий от температуры. Его интенсивность, меньшая по отношению к более коротковолновому максимуму свидетельствует о малом количества таких частиц, что и подтверждает томограмма на рис. 5б. Зависимость этого максимума люминесценции от температуры показывает, что природа частиц-источников такого излучения аналогична природе источников более коротковолновой люминесценции, а значит ими также являются КТ, но большего диаметра.

Спектр на Рис. 5г состоит из нескольких полос, занимающих диапазон от 540 до 600 нм. Широкое длинноволновое крыло в спектре является рекомбинационной (дефектной) люминесценцией, наблюдаемой ранее. Наиболее ярко выраженная область с подобным видом спектра только одна, и, поскольку в масштабе 25×25 мкм такая особенность обнаружена в единственном экземпляре, можно утверждать, что количество подобных агломераций во всем объеме образца мало.

На основании описанных результатов показан характер распределения, вид и относительное количество КТ CdSe основного синтезируемого размера – 2.3 нм. Также показано

наличие связи между количеством КТ разного размера и их вкладом в контур спектра люминесценции нанокompозита. Авторы выражают благодарность д.ф.-м.н. Г.В. Климушевой (Институт физики НАНУ, Киев, Украина) и д.х.н. Т.А. Мирной (Институт общей и неорганической химии им. В.И. Вернадского НАНУ, Киев, Украина) за предоставленные для изучения образцы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-02-01121-а).

Список литературы

1. Li Quan (Ed.). Nanoscience with Liquid Crystals. From Self-Organized Nanostructures to Applications. USA: NanoScience and Technology, 2014. 420 p.
2. Zhulai D. et al. // Nanoscale Res Lett. 2015. V. 10. P. 66.
3. Наумов А. В. // УФН. 2013. Т. 183. С. 633
4. Магарян К.А. и др. // Изв. РАН Сер. физ. 2014. Т. 78. № 12. С. 1629.
5. Магарян К.А. и др. // Труды школы-семинара «Волны-2018». Секция "Спектроскопия и томография". 2018. С. 44.
6. Naumov A.V. et al. // Eur. Phys. J. D 2014. V. 68. P. 348.
7. Осадько И. С. // Изв. РАН Сер. физ. 2014. Т. 78, № 3. С. 285.
8. Осадько И. С. // УФН. 2016. Т. 186. С. 489.
9. Magaryan K. A. et al. // J. Lumin. 2016. V. 169. P. 799.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВКЛАДА ЭКСИТОН-ФОНОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОДНОРОДНОЕ УШИРЕНИЕ КВАНТОВЫХ УРОВНЕЙ ТРИОННОГО СОСТОЯНИЯ И СПЕКТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ РЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕХОДА В ПЛЕНКЕ Si(P)/Si(B)/ZnO

И.А. Архиреев, Н.С. Вашурин, Д.Е. Воронин, А.А. Гладышева,
С.И. Ксенофонов, Д.А. Никитин, И.И. Попов, С.А. Степанов, Н.И. Сушенцов

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет,
424001, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д.3
popov@volgatech.net

Выполнены эксперименты по технологической возможности воспроизводства параметров трехслойных пленок Si(P)/Si(B)/ZnO и создан макет резонансной среды для исследования трионных состояний. Разработана методика оценка вклада экситон-фононного взаимодействия в однородное уширение квантовых уровней трионных состояний резонансного перехода, в том числе и при воздействии продольного однородного магнитного поля.

Появление новых материалов с квантоворазмерными структурами сформировало новую область науки и техники – наноэлектронику. Ученые многих стран мира уделяют большое внимание исследованиям по изучению физических свойств этих новых материалов и развитию технологий их получения. Хотя технологии эпитаксиального и ионно-плазменного нанесения тонких пленок успешно используются в создании квантоворазмерных структур, в том числе квантовых точек, получение дешевых приборов для массового спроса они не обеспечивают. Главный недостаток таких технологий – это высокая трудоемкость изготовления и большая стоимость получаемых изделий. Технологии получения квантовых точек на химической основе также активно развиваются, но они тоже имеют серьезных недостатков, ограничивающих их массовое применение. В работах [1] с помощью технологии магнетронного распыления получены тонкие пленки с наноразмерными элементами их текстуры, позволяющими реализовать свойства в плоскости ортогональной поверхности пленки (рис.1), аналогичные тем, которыми обладают квантовые точки. Тонкие пленки методом магнетронного распыления формируются в виде кристаллических волокон, ориентированных преимущественно в ортогональном направлении по отношению к плоскости подложки. Расстояние между кристаллическими волокнами заполняется мелкодисперсной рентгеноаморфной фазой напыляемого вещества. На поверхности кристаллических волокон, на границе этих двух фаз формируется большое количество поверхностных дефектов кристаллической структуры распыляемого материала в силу высокой кривизны этой поверхности. Сами кристаллические волокна имеют поперечные линейные размеры в среднем около 100 нм. Эти размеры зависят от распыляемого материала и параметров технологического режима формирования пленок. В силу малости диаметра волокон на их поверхности, обладающей большой кривизной, возникают зоны поверхностных дефектов плавно переходящих в замкнутые линии из неповрежденных (или слабо поврежденных) участков кристаллической структуры материала пленок. Внутри этих наноразмерных зон находятся дефектные участки кристаллической решетки материала пленок. Линейные размеры вдоль поверхности пленки таких зон локализации этих поверхностных дефектов составляют порядка 10 нм. На практике имеется небольшой разброс этих размеров в зависимости от материала пленок и технологического режима их получения. На поврежденных участках поверхности энергия квантовых уровней экситонных состояний, локализуемых на поверхностных дефектах кристаллической решетки, уменьшается по сравнению с уровнем экситонов, возбуждаемых на электронах неповрежденных узлов кристаллической решетки. Поверхность распределения энергии квантовых уровней локализованных экситонных состояний на дефектах, расположенных внутри этих зон, ориентированного в плоскости ортогональной поверхности пленки, имеет форму лунки (рис.1). При возбуждении сигналов фотонного эха на таких,

локально ограниченных в объеме, зонах поверхностных дефектов кристаллической структуры волокон пленки, обнаружены свойства фотонного эха, имеющиеся при его возбуждении в квантовых точках [2].

При возбуждении такого полупроводникового материала квантом лазерного излучения на этих дефектах локализуется множество экситонных состояний. Часть этих экситонных состояний, наиболее близких к краям зоны поверхностных дефектов распадается. Оставшиеся (разряженные) экситоны существуют внутри зоны в режиме экситонного газа. Тепловой энергии этого газа даже при комнатной температуре не хватает для преодоления энергетического барьера, сформированного неповрежденными участками кристаллической структуры материала пленки, формирующими на поверхности кристаллического волокна контур, огибающий эту зону. При формировании трехслойной пленки из полупроводниковых материалов разных типов проводимости, благодаря диффузии электронов или дырок из одного слоя пленки в другой, нам удалось получить состояния заряженных экситонов (так называемых трионов) [1]. Если к экситону притягивалась вторая дырка, то формировался положительный трион, если притягивался электрон, то возникал отрицательный трион.

В работе [3] нам удалось обнаружить в положительно заряженном экситонном (трионном) газе, образованном в трехслойной пленке Si(P)/Si(B)/ZnO , эффект нефарадеевского поворота плоскости поляризации стимулированного фотонного эха. Ранее этот эффект наблюдался только в обычном газе, состоящем из паров молекулярного йода [4]. Этот эффект заключается в том, что при формировании стимулированного фотонного эха в газе при наличии продольного однородного магнитного поля происходит поворот плоскости поляризации линейно поляризованного фотонного эха. Величина угла этого поворота зависела от напряженности приложенного магнитного поля и величины временных интервалов, отделяющих возбуждающие лазерные импульсы, в том числе от g -фактора резонансного квантового перехода. В отличие от известного эффекта фарадеевского поворота плоскости линейной поляризации света в резонансной среде, этот угол поворота не зависел от длины пути оптического излучения в резонансной среде и имел значения значения, на три порядка большее, чем при повороте Фарадея, при одном и том же значении напряженности магнитного поля.

Теоретические основы эффекта нефарадеевского поворота плоскости поляризации стимулированного фотонного эха сформированы авторами работы [5], теоретически предсказавшими этот эффект специфического поворота плоскости поляризации стимулированного фотонного эха, формируемого при наличие продольного однородного магнитного поля в газовой среде. По этой причине для оценки характеристик и свойств этого эффекта в экситонном газе нами был взят этот математический аппарат. В то же время, мы понимали, что полученные нами результаты оценки механизмов однородного уширения экситонных и трионных спектральных линий нуждаются в уточнении в силу внесения в это уширение экситон-фоонных взаимодействий в газе локализованных экситонных и трионных состояний. Потому в данной работе мы решаем задачу учета доли этих взаимодействий в механизме однородного уширения квантовых уровней резонансного перехода.

В работе [6] с помощью эффекта нефарадеевского поворота плоскости поляризации линейно поляризованного стимулированного фотонного эха нам удалось зарегистрировать в режиме *on-line* фемтосекундные временные интервалы величиной от 40 фс до 10 пс с разрешающей способностью 24 фемтосекунды на градус. При этом эталоны временных интервалов до настоящего времени находились в районе 1 пс. Для того, чтобы на базе обнаруженного физического принципа получить эталон сверхмалого временного интервала, значительно меньшего существующих эталонов, в данной работе решается задача нахождения путей получения резонансной среды с хорошо воспроизводимыми параметрами и способов воздействия на эффективность формирования трионных состояний.

Условия эксперимента. В эксперименте решались три задачи. В том числе отработка технологии получения трехслойной пленки Si(P)/Si(B)/ZnO , с равномерно распределенной

повторяющейся формой кристаллических волокон, соответственно, содержащей наименьший разброс линейных размеров квантово-размерных зон локализации поверхностных дефектов. Определялась возможность технологической реализации трехслойной пленки Si(P)/Si(B)/ZnO с нанесением с двух сторон каждого слоя токопроводящих электродов, позволяющих прикладывать разность потенциалов к различным однослойным, двухслойным и трехслойным тонкопленочным структурам. В этом случае появляется возможность управления процессом образования трионов и формирования особых режимов работы приборов, построенных на основе применения этих состояний. Также разработана методика оценки вклада экситон-фононного взаимодействия в величину однородного уширения задействованных квантовых уровней трионных состояний и спектральной линии резонансного перехода. При обработке результатов выполненного эксперимента по наблюдению спада стимулированного фотонного эха в данной трехслойной пленке, имевшего место при увеличении временного интервала между 2 и 3 возбуждающими импульсами, изучались особенности быстрого и медленного спада интенсивности эхо-сигнала. Это проводилось с целью определения вклада в однородное уширение резонансных спектральных линий экситон-фононных взаимодействий. Эта работа проводилась как без приложения к резонансной среде продольного однородного магнитного поля, так и при его наличии.

На рис.1 приведен скан тонкой пленки ZnO , полученной методом магнетронного распыления, на примере которой дается описание резонансной среды для формирования сигналов СФЭ на локализованных и заряженных экситонных состояниях. На скане показаны профили кристаллических волокон пленки, увеличиваясь в объеме по мере приближения к основанию волокна. Лупой выделен участок на поверхности волокна, схематично отображенный на рисунке. В плоскости полученного среза волокна показана зона с линейным размером l показаны неповрежденные участки кристаллической структуры по краям размера l участки с нарастающим дефектом по мере приближения к центру зоны (участка l). Сверху на эту зону наложена диаграмма распределения энергии возбуждения экситонов по сечению поверхности волокна. Возбужденные в пленке локализованные в этой зоне экситоны со всех сторон ограничены энергетическими барьерами. При этом верхнее ограничение определяется малой энергией теплового движения экситона по сравнению с энергией возбуждения экситона на краях зоны. В то же время экситоны, локализованные внутри зоны поверхностных дефектов, могут мигрировать внутри зоны с одного дефекта на другой, иногда испытывать упругие и неупругие столкновения между собой, как обычный газ. В отличие от поведения частиц газа локализованные экситоны имеют дополнительное взаимодействие с фононами, излучаемыми кристаллической решеткой волокна, что вносит свой вклад в механизмы однородного уширения как самого квантового перехода, так и его уровней.

Технология получения трехслойной пленки (рис. 2) включала оптимизацию параметров технологического режима и контроль получаемой поверхности с помощью сканирующего зондового микроскопа СЗМ комплекс NT-MDT NTEGRA Prima и химического состава пленки с помощью электронного микроскопа VEGA3 SB. В процессе эксперимента оптимизировались параметры технологического режима, включающие температуру, ток разряда, плотность тока, его мощность на мишени, величину индукции магнитного поля, рабочее давление инертного газа Аргона и рабочего газа кислорода.

Технология получения макета образца трехслойной пленки Si(P)/Si(B)/ZnO с встроенными электродами с обеих сторон всех слоев пленки включала разработку масок для напыления каждого слоя пленок и соответствующего электрода на определенном участке подложки (рис.2). Также оптимизировались технологические режимы нанесения каждого из трех слоев пленки и пленок хрома, из которого изготавливались электроды. Использовался контроль формы электродов и рабочих слоев пленки с помощью видеокамеры, формы волокон пленки – с помощью зондового микроскопа, химического состава пленки с помощью электронного микроскопа.

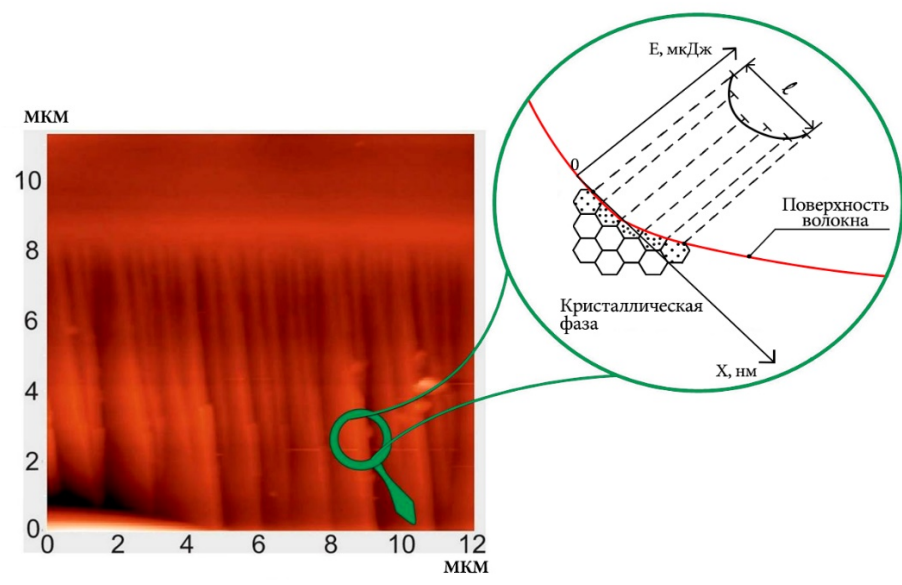


Рис. 1. Скол тонкой пленки, полученной методом магнетронного распыления: l – максимальный линейный размер зоны максимальной локализации дефектов кристаллической поверхности; E – энергия возбуждения экситонного состояния; X – координата поверхностных дефектов кристаллической решетки вдоль максимального линейного размера зоны их локального скопления.

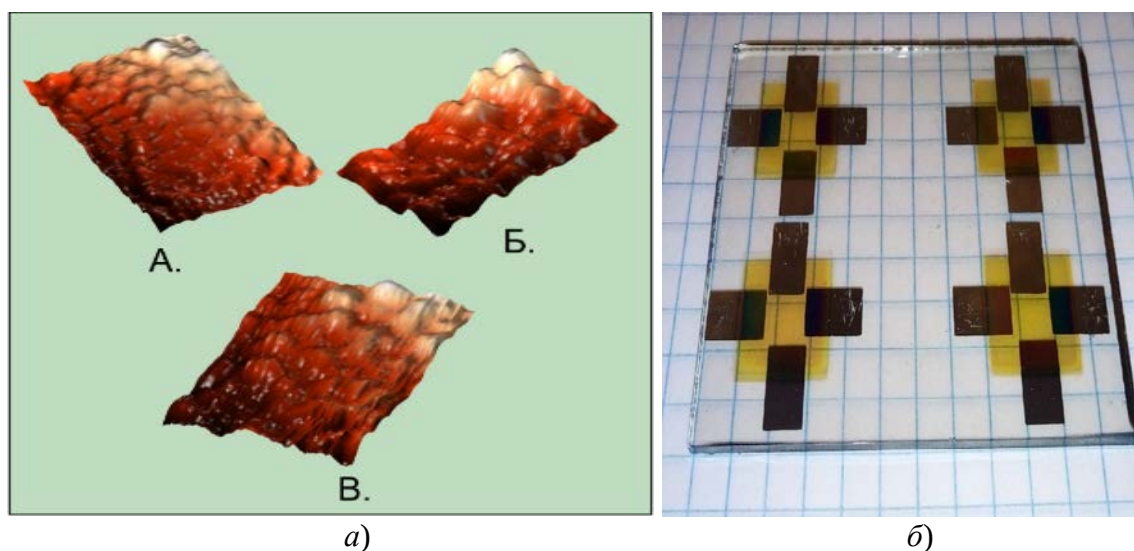


Рис. 2. Варианты трехслойной пленки Si(P)/Si(B)/ZnO : *a* – сканированная на зондовом микроскопе поверхность трехслойной пленки с различными наиболее приемлемыми режимами напыления: среднее значение высоты волокон – 50 нм (вариант «А»), 65 нм (вариант «Б») и 65 нм (вариант «В»). Вариант «В» – наиболее оптимальный; *б* – макет образца резонансной среды для исследования свойств и характеристик трионных состояний.

Оценка вклада экситон-фононного взаимодействия в величину однородного уширения квантовых уровней трионных состояний резонансных переходов путем изучения быстрого и медленного спадов интенсивности сигнала стимулированного фотонного эха как без приложения продольного однородного магнитного поля, так и при его наличии. Использовались результаты экспериментального исследования спада интенсивности стимулированного фотонного эха в зависимости от величины временного интервала, отделяющего второй возбуждающий импульс от третьего. При этом первый и второй возбуждающие импульсы совмещались по времени, но разделялись в пространстве. График кривой, отражающей зависимость этого спада приведен на рис. 3. На участке кривой быстрого спада между точками «В» и «1» выбиралось до 30 пар точек с различными значениями координат и по формуле (1) вычислялись 30

значений времени продольной необратимой релаксации T_1 . Из времен релаксаций определялись обратные им значения однородного уширения квантовых уровней резонансного перехода. Путем обработки полученного ряда значений однородного уширения квантовых уровней трионных состояний определялось его среднее значение и среднеквадратичное отклонение.

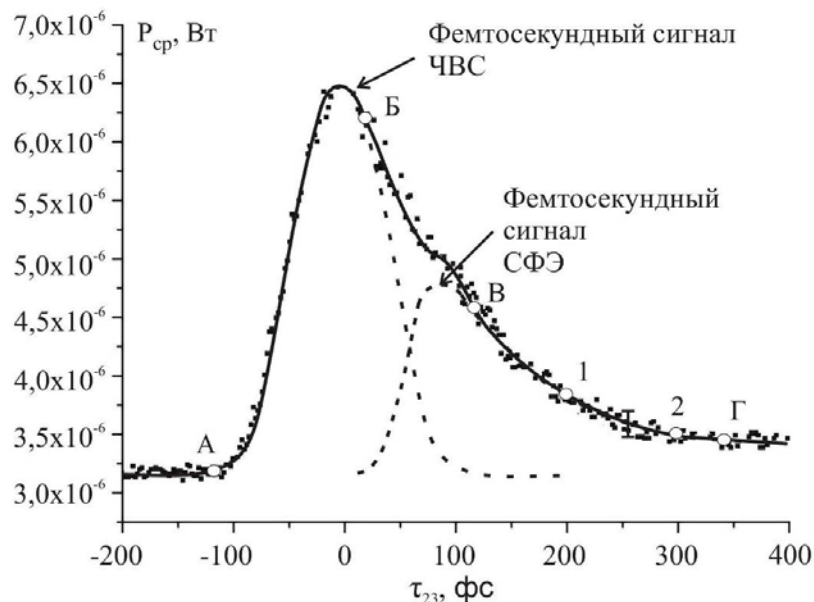


Рис. 3. График кривой спада стимулированного фотонного эха в трехслойной пленке Si(P)/Si(B)/ZnO при увеличении временного интервала между вторым и третьим возбуждающими импульсами τ_{23} (при временном интервале τ_{12} , равном нулю): ЧВС – сигнал четвертьволнового смещения; СФЭ – стимулированное фотонное эхо.

Аналогичным образом определялось среднее значение и среднеквадратичное отклонение однородного уширения квантовых уровней резонансного перехода для участка между точками «2» и «Г» кривой медленного спада интенсивности сигнала стимулированного фотонного эха, показанного на рис. 4.

$$T_1 = \frac{2(\tau_{23}^{(2)} - \tau_{23}^{(1)})}{\ln\left(\frac{I_{ср.с}^{(1)}}{I_{ср.с}^{(2)}}\right)}, \quad (1)$$

где $I_{ср.с}^{(1)}$ и $I_{ср.с}^{(2)}$ – значения средней интенсивности сигналов СФЭ, соответствующие временным интервалам между возбуждающими импульсами, соответственно, равными $\tau_{23}^{(1)}$ и $\tau_{23}^{(2)}$.

Вычитая из значения ширины квантового уровня, полученного для участка быстрого спада, соответствующее значение для участка медленного спада эхо-сигнала, получаем величину вклада в однородную ширину квантового уровня экситон-фононных взаимодействий.

Определяя значение однородного уширения квантовых уровней резонансного перехода для быстрых и медленных спадов стимулированного фотонного эха, возбуждаемого при наличии продольного однородного магнитного поля (рис. 4 в работе [7]), снятых при различных комбинациях временных интервалов между первым и вторым возбуждающими импульсами определяется степень влияния продольного однородного магнитного поля на механизм однородного уширения квантовых уровней резонансного перехода. Из рисунка видно, что различные режимы реализации поворота плоскости поляризации СФЭ сопровождалась различными соотношениями быстрого и медленного спадов интенсивности эхо-сигнала.

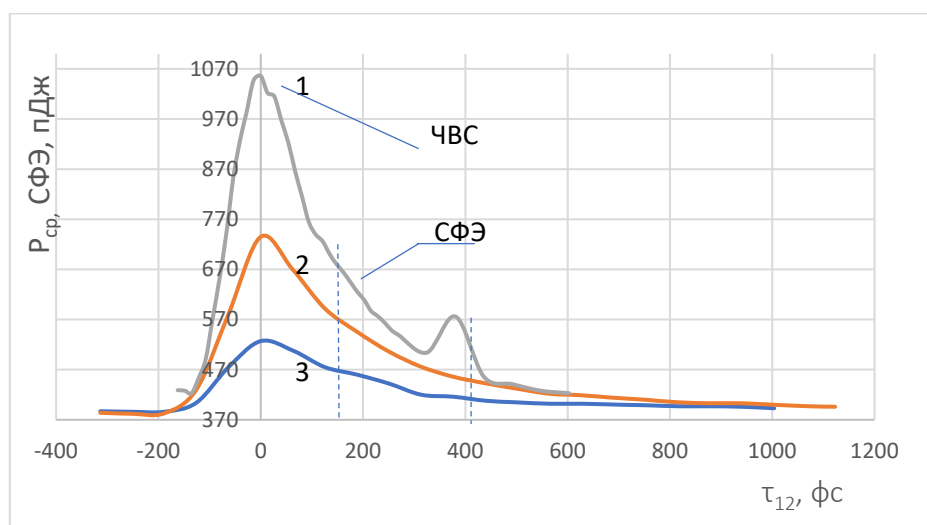


Рис. 4. Зависимость спада интенсивности сигнала СФЭ, сформированного при воздействии поперечного однородного магнитного поля, от времени τ_{23} при $\tau_{12}=0$ фс (кривая 1), при $\tau_{12}=35$ фс (кривая 2), $\tau_{12}=49$ фс (кривая 3).

Результаты и дискуссия. Результаты оптимизации параметров технологического процесса получения пленок приведены в таблице 1. Полученные оптимальные параметры технологического процесса не превышают значения, допустимые для установки магнетронного распыления. На рис. 2а рисунки сканированной поверхности трехслойных пленок, изготовленных при различных параметрах технологического процесса. Полученный вариант «В» пленки имеет наиболее однотипную текстуру, потому он использовался для исследования трионных состояний. Полученный химический состава пленки показал наличие посторонних примесей, большинство из которых не превышают значения в 1%. Значения олова (Sn) и кальция (Ca) составляет 1,5% и 4,5% соответственно. Процентное содержание, их достаточно велико и в случае получения неудовлетворительных результатов оптической эхо-спектроскопии следует уделить внимание более тщательной очистке вакуумной камеры от следов предшествующих экспериментов, выполнявшимся с другими мишенями. Их влияние может оказывать воздействие на проводимость трехслойной пленки при изменении параметров окружающей среды. Был проведен отжиг полученных пленок при температуре 300 °С в течение 30 минут, это позволило снизить сопротивление на парах электродов с 9,9 ГОм до некоторых значений КОм. Минимальное значение сопротивлений составило 10,3 КОм, а максимальное 195,7 КОм. По результатам измерения сопротивления между электродами, встроенными в конструкцию трехслойной пленки удалось установить наличие р-п перехода, а, следовательно, и возможность управления диффузией электронов и дырок путем воздействия на него электрического напряжения. Что, безусловно, окажет влияние на процесс формирования трионных состояний.

Таблица 1

Технологические режимы получения трехслойной пленки Si(P)/Si(B)/ZnO

Параметры технологического режима напыления пленок	Виды пленок		
	Si(P)	Si(B)	ZnO
Время напыления, t сек.	80; 240	80; 240	300; 600
Температура нагревателя, $T_{\text{н}}$, °С	100	100	100
I, А	0,5	0,3	0,3
U, В	455	460	385
Аргон, Ar, %	100	100	20; 30
Кислород, O ₂ , %	-	-	80; 70
Давление, P, Па.	2	2	2
Порядок напыления	1	2	3

В данной работе путем сопоставления быстрого и медленного спадов сигналов стимулированного фотонного эха по мере увеличения временных интервалов, разделяющих второй и третий возбуждающие лазерные импульсы установлено, что доля фононного крыла в контуре однородного уширения квантовых уровней трионных состояний резонансного перехода из-за экситон-фононного взаимодействия доходит в разных образцах до 5-10 %. Получен качественный результат влияния продольного однородного магнитного поля на значение регистрируемого неоднородного уширения квантовых уровней резонансного перехода. Вывод о причинах этого влияния можно сделать после проведения хорошо организованного эксперимента, направленного на эти цели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что методом магнетронного распыления можно создавать тонкие пленки с равномерными текстурой, размерами и плотностью расположения наноразмерных зон поверхностных дефектов кристаллической структуры материала изготавливаемых тонких пленок. Установлено, что в отличие от обычного газа в экситонном газе, сформированном за счет локализации экситонов и трионов на поверхностных дефектах кристаллической структуры тонких пленок, на однородное уширение квантовых уровней трионных состояний резонансного перехода влияют экситон-фононные взаимодействия. Уширение, обусловленное фононами кристаллической решетки волокон пленки, увеличивается от 5 до 10%. При наличии продольного однородного магнитного поля эти соотношения механизмов однородного уширения изменяются.

Список литературы

1. И. И. Попов, А. У. Бахадуров, и др.// Известия РАН, сер. физическая.2018, том 82, № 12, с. 1627–1631; I. I. Popov, A. U. Bakhodurov and it.el.// Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2018, Vol. 82, No. 12, pp. 1506–1509.
2. I.I. Popov, N.S. Vashurin, S.E. Putilin and it.el.// Physics of Wave Phenomena, 2015, Volume 23, Issue 2, pp 101-104.
3. Попов И.И. и др.// Изв.РАН. Сер. физ. 2017. Т. 81. № 5. С. 586; Vashurin N.S., Popov I.I. and it.el.// Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.2017. V. 81. № 5. P. 551.
4. Bikbov I.S., Popov I.I. и др. // Laser phys.- 1995. – V.5.- №3.- P. 580-583.
5. Евсеев И.В., Ермаченко В.М., Решетов В.А.// Оптика и спектроскопия. 1982. Т.52. №3.- С. 444-449.
6. Бахадуров А.У., Вашурин Н.С., Виноградов Е.А. и др. // Известия РАН, сер. физическая.2018, том 82, № 12, С. 1632–1635; A.U. Bakhodurov, N. S. Vashurin, E. A. Vinogradov and it. El. //Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2018, Vol. 82, No. 12, pp. 1510–1513. И.И. Попов, Н.С. Вашурин, Е.А. Виноградов и др.// Известия РАН, сер. физическая.2018, том 82, № 8 С.1113-1116; Popov, I.I., Vashurin N.S., Vinogradov, E.A. and it.el. //Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2018, Vol. 82, No. 12

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

А.Г. Козырев, А.В. Мороз, Е.В. Михеева

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»
(г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3)*

Представлены технологические процессы формирования тонкопленочных оптических фильтров методом магнетронного распыления. Проведен анализ их спектральных характеристик и предложена методика оценки перспективности многослойных оптических фильтров.

Ключевые слова: оптический фильтр, тонкая пленка, магнетронное распыление, спектральная характеристика.

Technological processes of formation of thin-film optical filters by magnetron sputtering are presented. The analysis of their spectral characteristics is carried out and the method of estimation of prospects of multilayer optical filters is offered.

Key words: optical filter, thin film, magnetron sputtering, spectral characteristic.

1. Введение. Развитие электроники сопровождается совершенствованием и разработкой электронных приборов и устройств, а также различных методов исследования в данной области. Одним из основных направлений развития является оптоэлектроника. В устройствах оптоэлектроники в качестве пассивных оптических элементов могут выступать тонкопленочные оптические фильтры с заданными спектральными характеристиками (спектрами пропускания или отражения).

Изготовление светофильтров производится на основе различных материалов с применением специальных методов. Часто в этих целях используются методы резистивного и электронно-лучевого испарения [1]. Наиболее перспективным методом получения тонкопленочных фильтров является магнетронное распыление [2]. Однако данный метод в малой степени отработан для получения оптических пленок, поэтому исследования спектральных характеристик оптических фильтров, полученных магнетронным распылением, имеет большое значение.

В качестве тонкопленочных оптических материалов для фильтров выступают ZrO_2 , TiO_2 , AlN и др. Пленки оксида циркония хорошо совместимы с другими оксидами и обладают хорошими механическими и химическими свойствами, однако имеют неоднородную структуру при получении методами термического испарения. Пленки ZrO_2 обычно получают электронно-лучевым испарением. Полоса пропускания лежит в области 0,34–12 мкм [1].

Пленки TiO_2 получают методом реактивного испарения, при этом показатель преломления и структура пленки зависит от условий ее получения. Диоксид титана может быть аморфным или принимать структуру рутила или анатаза в зависимости от температуры подложки. Пленки двуокиси титана прозрачны в видимой и ближней ИК-областях [1].

Пленки нитрида алюминия обладают прозрачностью в видимой и ИК-областях спектра. Методами получения слоев AlN чаще всего являются реактивное испарение и термическое азотирование. Нитрид алюминия обладает высокими механической прочностью, термостабильностью и химической стойкостью.

2. Цель и задачи. Целью работы является разработка технологии получения тонкопленочных оптических фильтров и их исследование.

Задачи, поставленные для достижения цели:

- разработать технологический процесс получения тонкопленочных светофильтров методом магнетронного распыления;
- по разработанному техпроцессу получить светофильтры на основе различных материалов;
- исследовать спектры пропускания полученных образцов;

3. Получение тонкопленочных оптических фильтров. Для проведения исследований были получены образцы тонких пленок TiO_2 , ZrO_2 , AlN , CuO , C . Напыление проводилось методом магнетронного распыления на лабораторной установке УМР-71 [3] и на промышленной установке магнетронного распыления. Для данного оборудования были разработаны технологические процессы получения пленок, представленные далее.

Пленки TiO_2 и ZrO_2 получались на установке УМР-71 в атмосфере аргона с кислородом в соотношении $\text{Ar} - 20\%$, $\text{O}_2 - 80\%$ при рабочем давлении в камере 1 Па. Напыление проводилось на нагретые до 100°C стеклянные подложки.

Получение тонких оптических пленок AlN , CuO и C осуществлялось на различном расстоянии «мишень-подложка». Рабочее давление в камере поддерживалось на уровне 0,5 Па. В таблице 1 приведены условия получения пленок AlN , CuO и C .

Таблица 1

Условия получения пленок AlN , CuO и C

Материал пленки	AlN	CuO	C
Материал мишени	Al	Cu	C
Соотношение газов	Ar – 50 %, N_2 – 50 %	Ar – 40 %, O_2 – 60 %	Ar – 100 %
Температура подложки	120°C	120°C	без нагрева
Параметры разряда	$I = 10\text{ A}$; $U = 270\text{ В}$	$I = 10\text{ A}$; $U = 405\text{ В}$	$I = 6\text{ A}$; $U = 370\text{ В}$
Расстояние «мишень-подложка»	14; 15,5; 17; 18,5 см	14; 15,5; 17; 18,5 см	14; 15,5; 17; 18,5 см
Время напыления	30 мин	5 мин	30 мин

Таким образом, были получены серии из 4 образцов нитрида алюминия, оксида меди и графита.

4. Исследование спектральных характеристик. В качестве спектральных характеристик рассматривалась зависимость коэффициента пропускания от длины волны излучения. Спектры пропускания полученных тонких пленок регистрировались с помощью спектрофотометра СФ-2000. В качестве нулевой пробы выступала чистая стеклянная подложка для исключения поглощения самой подложки и регистрации спектра пропускания пленочного слоя.

На рис. 1 представлены спектры пропускания полученных пленок диоксидов титана и циркония.

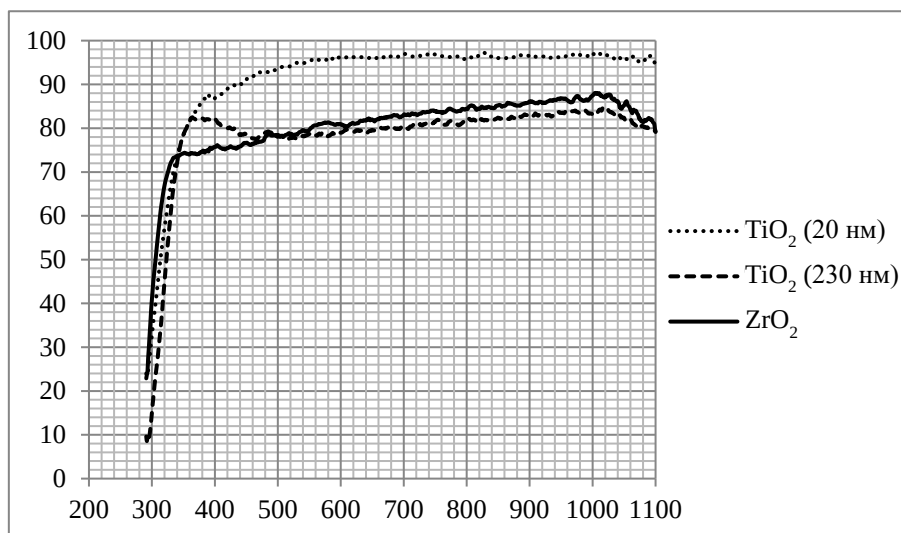


Рис. 1. Спектры пропускания диоксидов титана и циркония

В таблице 2 представлены основные параметры спектральных характеристик пленок диоксидов титана и циркония.

Таблица 2

Параметры спектральных характеристик пленок TiO_2 и ZrO_2

Материал	Толщина, нм	Максимум пропускания, %	Длина волны максимума, нм	Крутизна коротковолновой границы спектра, нм^{-1}
TiO_2	20	97,34	826	$9,36 \cdot 10^{-3}$
	230	84,74	1017	$1,51 \cdot 10^{-2}$
ZrO_2	210	88,06	1005	$1,34 \cdot 10^{-2}$

По полученным спектрам (см. рис. 1) видно, что пленки TiO_2 и ZrO_2 могут использоваться в качестве коротковолновых отрезающих светофильтра.

Далее на рисунках 2–4 представлены полученные спектральные характеристики пленок AlN , CuO и C , полученных на различном расстоянии «мишень-подложка». Полученные пленки нитрида алюминия имеют различную толщину, что сказывается на их спектральных характеристиках. При анализе спектров (рис. 2) видно, что с ростом толщины пленок их пропускание снижается, а максимум пропускания сдвигается в коротковолновую область спектра.

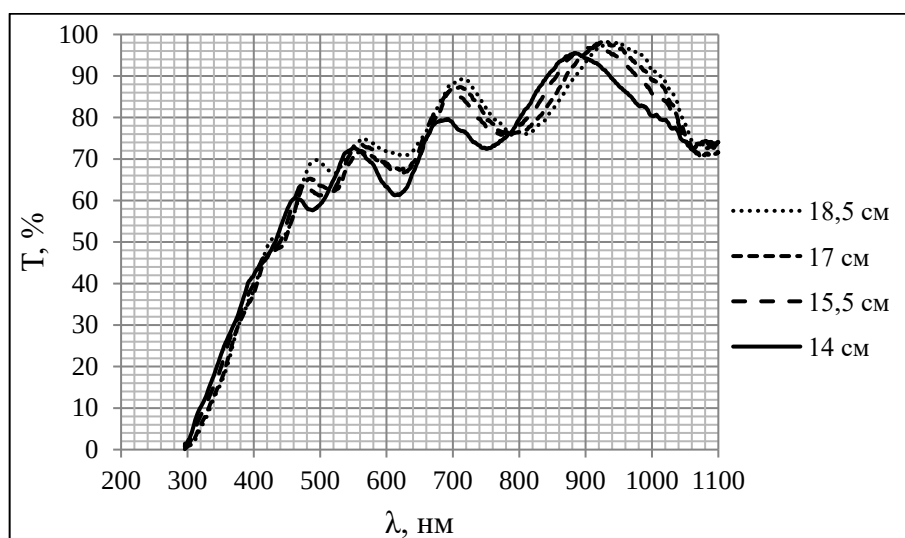


Рис. 2. Спектры пропускания пленок AlN , полученных на расстояниях «мишень-подложка» равных 14; 15,5; 17 и 18,5 см

Параметры спектров пропускания пленок AlN указаны в таблице 3.

Таблица 3

Параметры спектров пропускания тонких пленок AlN , полученных на различном расстоянии «мишень-подложка»

Расстояние «мишень-подложка», см	Толщина пленки, нм	Максимум пропускания, %	Длина волны максимума, нм
18,5	$260 \pm 19,9$	98,29	943
17	$370 \pm 19,9$	98,32	923
15,5	$450 \pm 18,0$	98,08	918
14	$620 \pm 17,1$	95,48	883

В таблице 4 представлены значения параметров спектральных характеристик пленок оксида меди, полученных на различном расстоянии от мишени.

Снижение пропускания пленки оксида меди (рис. 3) связано с возрастанием толщины полученных пленок. У трех пленок оксида меди максимум пропускания наблюдается на одной и той же длине волны ИК-излучения и не зависит от толщины пленки.

В таблице 5 представлены значения параметров спектров пропускания пленок графита. Сдвиг коротковолновой границы спектра определялся при значении коэффициента пропускания 50 % от границы спектра графитовой пленки, полученной в 18,5 см от мишени.

Полосу пропускания по уровню $0,7 \cdot T_{\text{max}}$ возможно определить только у самой толстой пленки, ширина полосы пропускания составляет 421 нм в диапазоне 640–1061 нм (рис. 4).

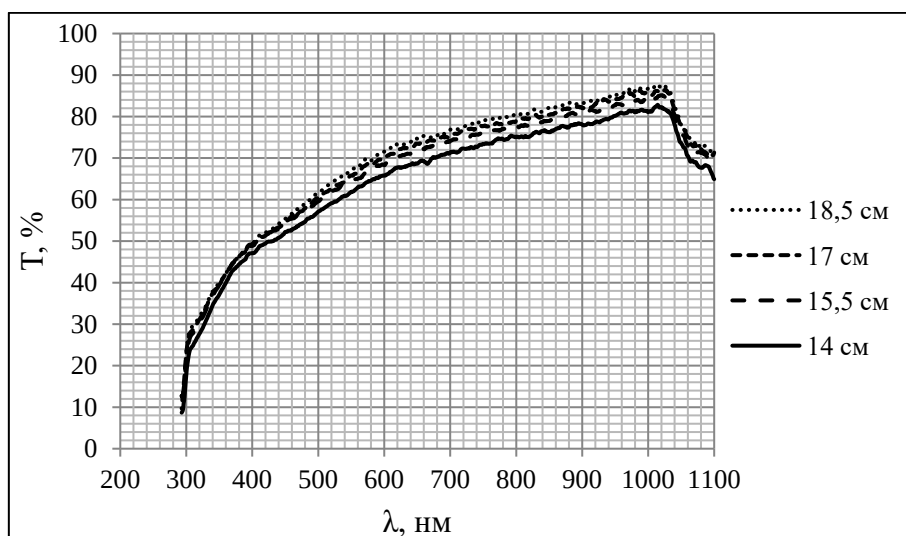


Рис. 3. Спектры пропускания пленок CuO, полученных на различных расстояниях «мишень-подложка»

Таблица 4

Значения параметров спектральных характеристик пленок CuO

Расстояние «мишень-подложка», см	Максимум пропускания, %	Длина волны максимума, нм
18,5	87,36	1014
17	86,48	1021
15,5	85,09	1014
14	82,8	1014

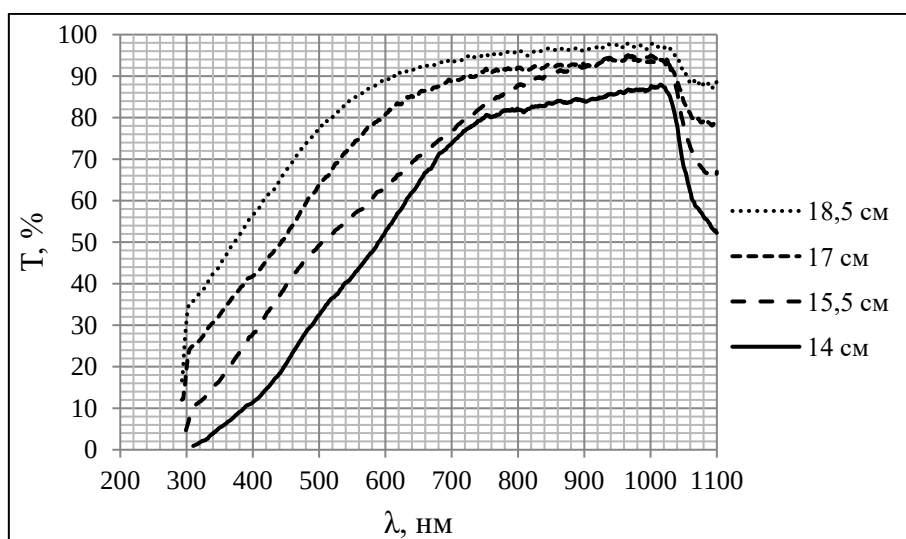


Рис. 4. Спектры пропускания пленок C, полученных на различных расстояниях «мишень-подложка»

Таблица 5

Значения параметров спектральных характеристик пленок C

Расстояние «мишень-подложка», см	Максимум пропускания, %	Длина волны максимума, нм	Величина сдвига коротковолновой границы спектра, нм
18,5	97,91	1003	0
17	94,72	965	71
15,5	95,05	966	138
14	87,98	1015	218

5. Методика исследования спектров пропускания многослойных оптических фильтров. Для изготовления многослойных оптических фильтров на основе тонких пленок необходимо разработать технологию их получения. Результаты таких работ не всегда приводят к желаемому результату. Поэтому для исключения лишней работы необходимо иметь возможность оценить спектральную характеристику интересующего многослойного светофильтра еще до стадии разработки технологии получения такой структуры. В этих целях предлагается методика, позволяющая получить спектр пропускания интересующей структуры на основе измерения спектра комбинации отдельных образцов с пленками интересующих материалов.

Для проверки возможности реализации разрабатываемого метода проводились эксперименты по измерению спектров пропускания комбинаций из двух стеклянных подложек с пленками титаната бария-стронция и оксида цинка. Подложки устанавливались в кювету спектрофотометра СФ-2000 так, чтобы излучение проходило через обе пленки. Проводилось четыре измерения для различных способов расположения пленок относительно друг друга (см. рис. 5), при этом в кювету для нулевой пробы помещаются две такие же чистые стеклянные подложки.

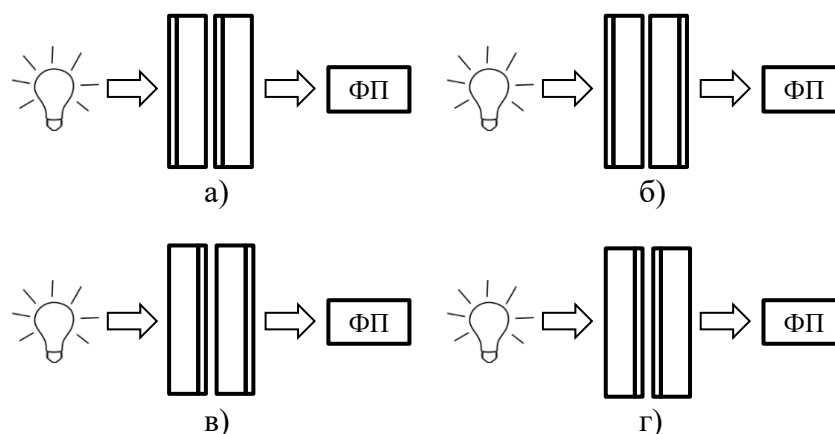


Рис. 5. Схемы расположения образцов при проведении эксперимента: ФП – фотоприемник

Результаты эксперимента, полученные в виде спектров, представлены на рис. 6. По полученным спектральным характеристикам видно, что спектр пропускания комбинации пленок не зависит от способа их расположения в кювете относительно друг друга. Отклонения от полного наложения спектров объясняется погрешностью прибора.

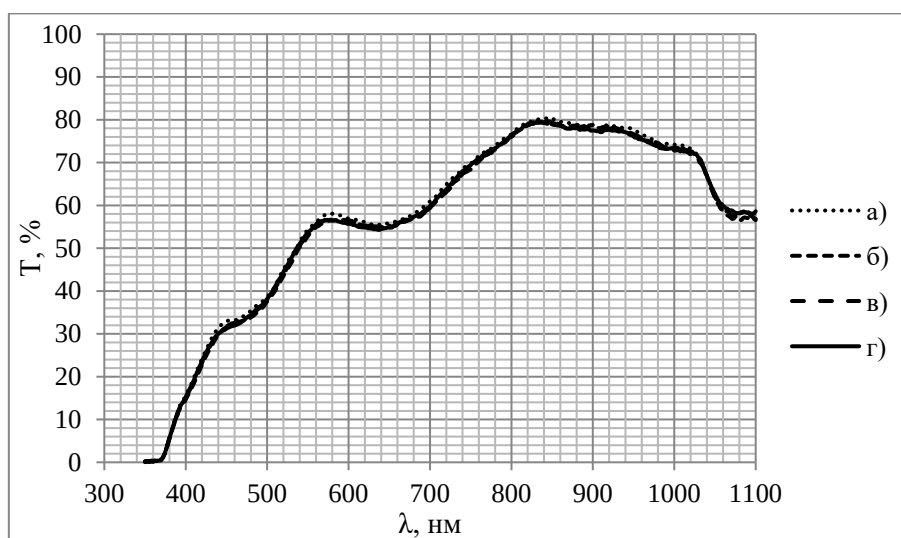


Рис. 6. Спектры пропускания комбинации пленок $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ и ZnO при их различном расположении

Таким образом, суть методики заключается в следующем. Используя отдельные образцы с однослойным покрытием из различных материалов, можно оценить спектральную характеристику тонкопленочного фильтра на их основе, не проводя напыление многослойной структуры. Для этого в кювету спектрофотометра помещаются несколько образцов тонких пленок различных материалов (их количество определяется вместимостью кюветы), на основе которых планируется изготовление светофильтра, а в кювету для нулевой пробы помещается такое же количество чистых стеклянных подложек. Далее проводятся измерения, полученный спектр такой комбинации будет с достаточной точностью отражать спектральную характеристику оптического фильтра на основе тонких пленок, использованных при измерении. При этом применение методики основано на допущении, что воздушный слой между измеряемыми и между контрольными образцами не влияет на результаты измерения.

6. Исследование спектральных характеристик комбинаций пленок. С помощью описанной ранее методики проводились измерения спектров пропускания комбинаций полученных пленок. На рисунке 7 представлены спектры пропускания пленки диоксида циркония и его комбинации с пленкой графита, при этом в кюветном отделении спектрофотометра совмещались две подложки: одна с пленкой ZrO_2 , вторая с пленкой C. В качестве контрольного образца использовались совмещенные в одной кювете 2 чистые стеклянные подложки для исключения влияния их поглощения на спектры.

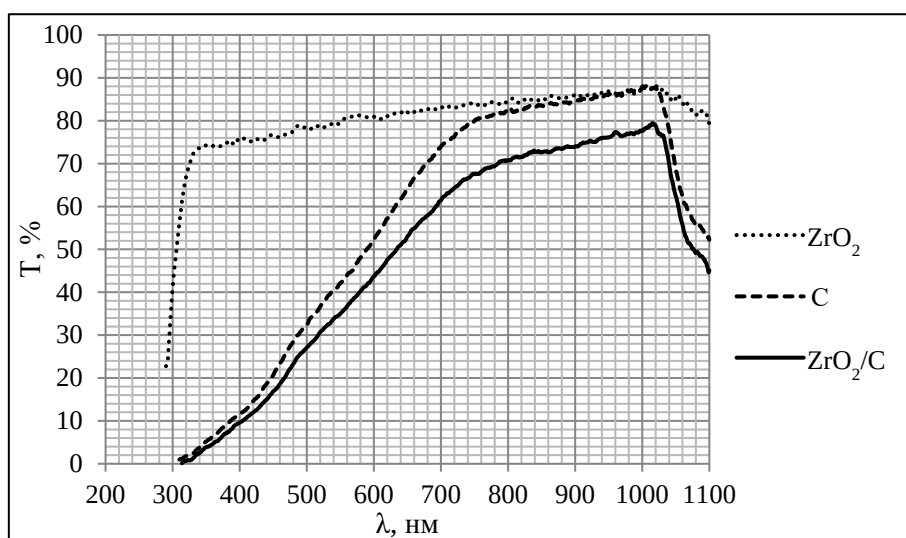


Рис. 7. Спектры пропускания пленок ZrO_2 и C и их комбинации

Значения параметров спектров пропускания пленок диоксида циркония, графита и их комбинации занесены в таблицу 6.

Таблица 6

Значения параметров спектров пропускания пленок ZrO_2 , C и их комбинации

Материал	Максимум пропускания, %	Длина волны максимума, нм	Полоса пропускания, нм
ZrO_2	88,06	1005	-
C	88,04	1001	421
ZrO_2/C	79,43	1015	395

Толщина пленки ZrO_2 составляет $210 \pm 19,9$ нм. Крутизна коротковолновой границы пропускания пленки графита составляет $2,04 \cdot 10^{-3} \text{ нм}^{-1}$, для комбинации пленок – $1,70 \cdot 10^{-3} \text{ нм}^{-1}$ (рис. 7). Полоса пропускания графитовой пленки лежит в диапазоне от 640 до 1061 нм, комби-

нации ZrO_2/C – в диапазоне от 665 до 1060 нм. Таким образом, такую пленку графита и ее комбинацию с диоксидом циркония можно использовать в качестве полосовых фильтров.

На рис. 8 и 9 показаны спектральные характеристики комбинаций пленок нитрида алюминия и оксида меди с пленкой графита, имеющей полосу пропускания.

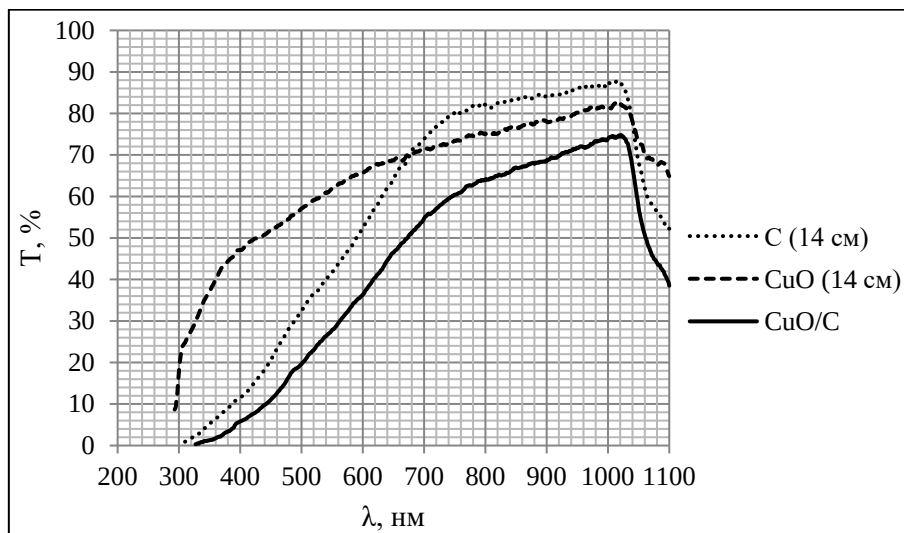


Рис. 8. Спектры пропускания пленок CuO и C и их комбинации

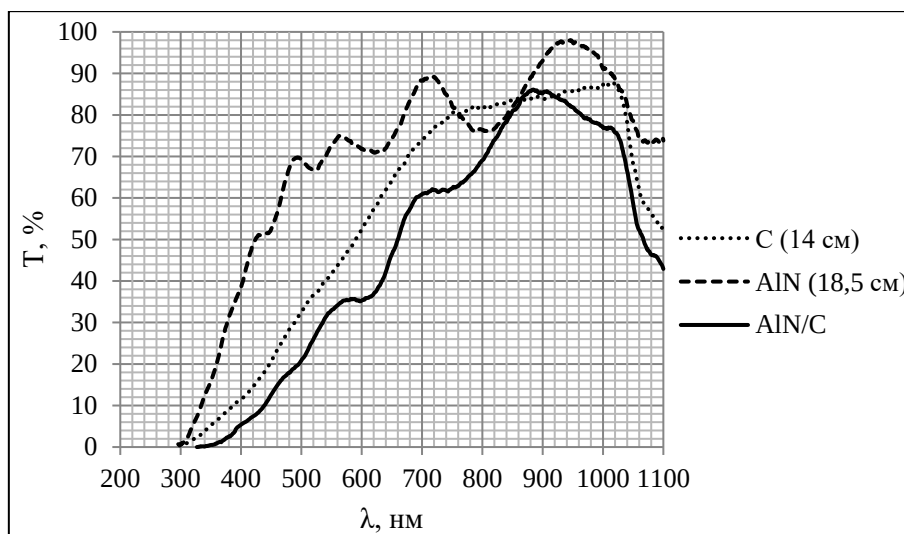


Рис. 9. Спектры пропускания пленок AlN и C и их комбинации

Как видно из спектров (рис. 8 и 9) их очертания повторяют очертания спектра графитовой пленки с некоторыми особенностями, связанными с влиянием пленок AlN и CuO и явлением интерференции.

В таблице 7 представлены параметры спектров пропускания комбинаций пленок нитрида алюминия и оксида меди с графитом. Полосы пропускания для AlN/C лежат в диапазоне от 693 до 1048 нм (рис. 9), для CuO/C – в диапазоне 687–1057 нм (рис. 8). Таким образом, двухслойная структура AlN/C имеет лучшие показатели среди рассмотренных для использования ее в качестве фильтра для длинноволновой области видимого и коротковолновой области ИК-диапазона спектра излучений.

Таблица 7

Значения параметров спектров пропускания комбинаций AlN/C и CuO/C

Материал	Максимум пропускания, %	Длина волны максимума, нм	Полоса пропускания, нм
C	88,04	1001	421
AlN	98,29	943	-
CuO	82,8	1014	-
AlN/C	86,1	885	355
CuO/C	74,79	1022	370

7. Заключение. В результате проведенной работы были разработаны технологические процессы получения тонкопленочных оптических фильтров для используемых установок, наиболее важным этапом которых является процесс очистки. По составленным техпроцессам получены образцы пленок TiO_2 , ZrO_2 и серии пленок AlN, CuO и C, полученных при различном расстоянии «мишень-подложка».

Проведены исследования спектральных характеристик полученных образцов. Пленки AlN, CuO и C, полученные при расстояниях «мишень подложка» равных 14; 15,5; 17 и 18,5 см, демонстрируют снижение пропускания с уменьшением расстояния (см. рис. 2–4), которое объясняется увеличением толщины пленок. Так, толщины пленок нитрида алюминия составили 620, 450, 370 и 260 нм соответственно (табл. 3). Также наблюдаются смещения максимума пропускания для AlN в коротковолновую область (см. рис. 2), а для C в длинноволновую (см. рис. 4). Тонкие пленки ZrO_2 и TiO_2 могут использоваться в качестве коротковолновых отрезающих фильтров благодаря достаточно высокой крутизне границы пропускания.

Также была изложена разработанная методика для оценки перспективности многослойных оптических фильтров, применение которой основано на некоторых допущениях.

Для пленок графита и его комбинаций с диоксидом циркония, нитридом алюминия и оксидом меди рассчитаны полосы пропускания, ширины которых составили 395, 355 и 370 нм соответственно (см. табл. 6 и 7). Полосы охватывают диапазон, соответствующий красному цвету видимой области, и коротковолновую часть ближней ИК-области спектра (рис. 7–9). Таким образом, двухслойные структуры на этих пленках можно применять в качестве полосно-пропускающих светофильтров.

Список литературы

- [1] Ершов, А. А. Многослойные оптические покрытия. Проектирование, материалы, особенности технологии получения методом электроннолучевого испарения [Текст]: учебно-методический материал / А. А. Ершов, А. И. Машин. – Нижний Новгород : ННГУ, 2006. – 99 с.
- [2] Кузьмичев, А. И. Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления [Текст] / А. И. Кузьмичев. – Киев: Аверс, 2008. – 244 с.
- [3] Сушенцов, Н. И. Установка магнетронного распыления [Электронный ресурс] // Институт физического материаловедения СО РАН: сайт. – Режим доступа: http://ipms.bscnet.ru/conferenc/krnd_sem/pub_2009/Sushentsov.pdf. (Дата обращения: 12.07.2019).

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКА ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Л.С. Иванова, В.Е. Филимонов

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»
Российская Федерация, 424000, Марий Эл, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
e-mail: FilimonovVE@volgatech.net

Разработана конструкция тонкопленочного сорбционного датчика влажности воздуха со слоистой структурой $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Cr}/\text{C48-3}$, совмещенного на одной подложке с терморезистором, предназначенного для применения в автоматизированной климатической системе ухода за растениями. Разработан технологический процесс изготовления экспериментального образца. Исследованы основные параметры образца датчика с толщиной пленки оксида алюминия 500 нм. Проведено сравнение зависимостей емкости структуры от влажности воздуха для образцов датчика с толщиной пленки Al_2O_3 250 нм, 500 нм и 1 мкм. Результаты сравнения сопоставлены с изображениями структуры поверхности пленок Al_2O_3 данных толщин.

Ключевые слова: датчик влажности воздуха, оксид алюминия, тонкие пленки, магнетронное распыление, относительная влажность воздуха.

It is proposed a design of a thin-film sorption type air humidity sensor with $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Cr}/\text{C48-3}$ -based structure, integrated on the same substrate with a thermistor, designed for use in an automated climatic system for plant care. The technological process of fabrication of an experimental sample of the sensor is developed. The results of testing of basic parameters of the sensor sample with a 500 nm thick film of aluminium oxide are presented. The dependence of the structure capacity on air humidity for the sensor samples with Al_2O_3 film thickness of 250 nm, 500 nm and 1 μm is compared. The comparison results are matched with images of the surface structure of Al_2O_3 films of these thicknesses.

Key words: air humidity sensor, aluminium oxide, thin films, magnetron sputtering, relative humidity.

1. Введение. Датчики влажности воздуха, или гигрометры, в современном мире находят широкое применение: в лабораториях; в промышленности; бытовой технике; в системах сбора метеорологических данных; в сельском хозяйстве и в других областях науки и техники. При этом основное использование датчиков влажности воздуха осуществляется в системах автоматизированного контроля и управления поддержанием определенной влажности в воздушной среде, в том числе в системах автоматизированного ухода за растениями, которые совершенствуются в плане обеспечения комплексного ухода. Например, в автоматизированной климатической системе ухода за растениями в модификации цветочного горшка [1]. Сегодня большое значение приобретает микроминиатюризация датчиков влажности воздуха, их интеграция с другими измерительными элементами с целью улучшения их работы, снижения энергопотребления, удобного и незаметного размещения в климатических системах. Поэтому разработка и исследование подобных микроминиатюрных датчиков становится актуальной проблемой.

2. Цель работы заключается в разработке конструкции и исследовании основных параметров тонкопленочного сорбционного датчика влажности воздуха для применения в климатических системах.

3. Материалы и методы. Датчики влажности сорбционного типа имеют ряд преимуществ: простота конструкции; возможность использования большинства известных влагочувствительных материалов; варьирование параметров в широком диапазоне [2]. Принцип действия таких датчиков основан на явлениях сорбции (адсорбции, абсорбции, хемосорбции) молекул воды из анализируемой среды, в данном случае – воздуха. В наиболее распространенной конструкции тонкопленочных сорбционно-импедансных датчиков электроды имеют гребенчатую форму, поверх которой наносится тонкий слой влагочувствительного материала, изменяющего свои электрофизические параметры (емкость, сопротивление) при изменении влажности воздуха. В данной работе предлагается подобная конструкция тонкопленочного датчика влажности воздуха, совмещенного с датчиком температуры, который необходим для термокомпенсации при измерениях. Схематичное изображение разрабатываемого датчика влажности представлено на рис. 1. Он состоит из двух элементов: непосредственно датчика влажности

воздуха, а также датчика температуры, размещенных рядом на одной подложке. Описываемый датчик предназначен для измерения относительной влажности воздуха.

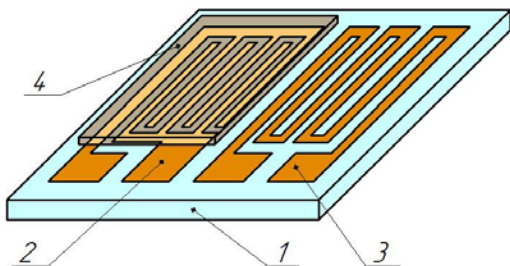


Рис. 1. Схематическое изображение датчика влажности воздуха:

1 – подложка; 2 – гребенчатые электроды; 3 – терморезистор; 4 – сорбционная пленка Al_2O_3

широко применяются в микроэлектронике благодаря таким свойствам как: высокая адгезия к подложке; электропроводность; повышенная механическая прочность; коррозионная стойкость; простота нанесения на подложку (в особенности, на стекло).

В качестве материала влагочувствительного слоя был использован оксид алюминия (Al_2O_3), так как пленки Al_2O_3 при определенных технологических условиях их получения могут обладать пористой структурой, благодаря чему с их помощью можно осуществлять эффективную сорбцию влаги из воздуха. Сущность этого процесса состоит в том, что молекулы воды адсорбируются из воздуха пористой поверхностью и вносят существенный

вклад в величину изменения диэлектрической проницаемости пленки

Al_2O_3 [3], что приводит к соответствующему изменению емкости (и сопротивления) датчика. Основными достоинствами использования пленок Al_2O_3 в датчиках влажности воздуха являются доступность составляющих пленку материалов и их дешевизна, а также возможность управления пористой структурой пленки в процессе ее получения. Кроме того, диэлектрические свойства и структура пленок Al_2O_3 сильно зависят от метода и параметров их получения. В идеальном случае пористый оксид алюминия представляет собой массив гексагональных оксидных ячеек с вписанной в центр порой. Такие пленки обычно получают методом анодирования, который не может применяться в тонкопленочной технологии в силу своих технологических особенностей. В данной работе сделана попытка получить пористые пленки Al_2O_3 методом реактивного магнетронного распыления, который полностью вписывается

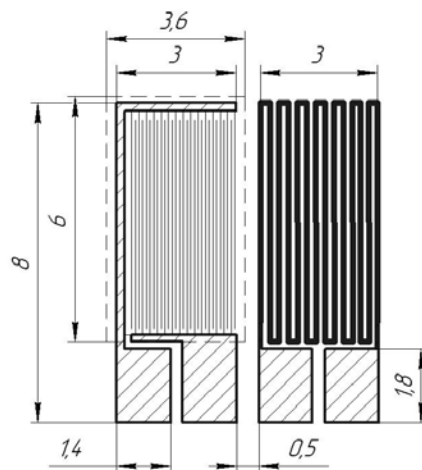


Рис. 2. Основные размеры структуры датчика влажности воздуха, совмещенного с терморезистором



Рис. 3. Общий вид установки ННВ-6,6 И4 УХЛ4, модернизированной под магнетронное распыление

в тонкопленочную технологию и позволяет изготовить в одном технологическом цикле не только датчик влажности воздуха, но и датчик температуры.

Таким образом, разрабатываемый датчик влажности воздуха имеет следующую слоистую структуру: $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Cr}/\text{C48-3}$.

При изготовлении экспериментального образца вышеуказанного датчика тонкие пленки оксида алюминия и хрома были получены на вакуумной установке ННВ–6,6 И4 УХЛ4, модернизированной под магнетронное распыление (рис. 3). Перед напылением пленок проводилась очистка подложки по следующей схеме: промывка в растворе моющего средства в ультразвуковой (УЗ) ванне 15 мин; промывка в дистиллированной воде в УЗ ванне 15 мин; очистка в парах ацетона 15 мин. Сначала на подложку была напылена тонкая пленка Cr при следующих параметрах: давление рабочего газа в вакуумной камере $P = 0,5$ Па; рабочий газ аргон (Ar 100 %); температура подложки $T_{\text{п}} = 170$ °С; напряжение на магнетроне $U = 440$ В; ток магнетрона $I = 8$ А. При этом толщина пленки составила 200 нм (± 10 %). Толщина измерялась на микроинтерферометре МИИ-4. Затем в слое хрома методом фотолитографии были сформированы: рисунок электродов датчика влажности воздуха и рисунок терморезистора (использовались: фоторезист марки ФП 383; время экспонирования 4 мин 40 сек; травление Cr в кислоте HCl при 40 °С с катализатором Al). После этого на подложку с полученными рисунками через маску методом реактивного магнетронного распыления напылялась пленка Al_2O_3 при следующих параметрах: $P = 0,5$ Па; рабочий газ Ar/ O_2 (50/50%); $T_{\text{п}} = 150$ °С; $U = 270$ В; $I = 8$ А. Толщина пленки Al_2O_3 составила 500 нм (± 5 %). Толщина при этом определялась с помощью зондового микроскопа NTEGRA Prima. В итоге на подложке размером 60×48 мм были получены 24 датчика влажности воздуха, совмещенные с терморезисторами.

Основной характеристикой разрабатываемого датчика влажности воздуха является зависимость изменения его емкости (и сопротивления) от изменения относительной влажности воздуха в климатической системе. Для исследования этой зависимости использовалась следующая схема: в сосуд с изменяющейся относительной влажностью воздуха, находящийся на нагревающей поверхности, были помещены контрольный датчик влажности воздуха (Xiaomi Hygrothermograph) и исследуемый датчик, присоединенный к измерителю емкости (сопротивления) E7-20.

Также было исследовано влияние толщины влагочувствительной пленки Al_2O_3 на характер зависимости емкости (сопротивления) датчика от относительной влажности воздуха. Для этого были дополнительно исследованы образцы с толщиной влагочувствительной пленки Al_2O_3 250 нм и 1 мкм. Структура поверхности пленок Al_2O_3 контролировалась на зондовом микроскопе NTEGRA Prima.

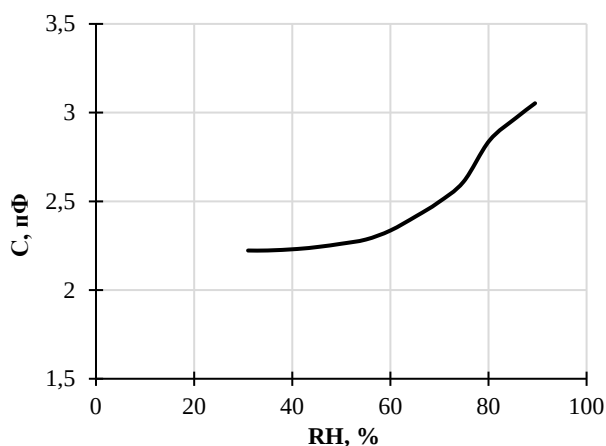


Рис. 4. График зависимости емкости датчика от относительной влажности воздуха (толщина Al_2O_3 500 нм, $T_{\text{п}} = 150$ °С). Погрешность измерений $\Delta C = \pm 0,034$ пФ

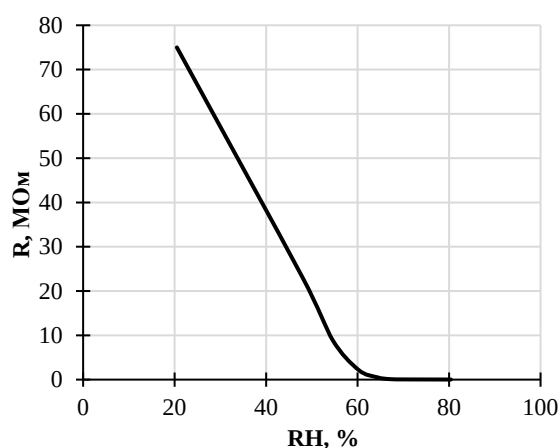


Рис. 5. График зависимости сопротивления датчика от относительной влажности воздуха (толщина Al_2O_3 500 нм, $T_{\text{п}} = 150$ °С). Погрешность $\Delta R = \pm 130$ кОм (в диапазоне 20-60%)

4. Результаты исследования и их обсуждение. Согласно описанной выше методике была получена зависимость емкости разработанного датчика от относительной влажности воздуха (при толщине пленки Al_2O_3 500 нм). График этой зависимости представлен на рис. 4. Измерения проводились на частоте 100 кГц.

Исходя из полученных данных, можно сказать, что регистрация изменения относительной влажности воздуха по изменению емкости датчика наиболее эффективна в диапазоне от 60 до 90 %. При этом чувствительность датчика в этом диапазоне, находящаяся как отношение изменения емкости в диапазоне влажности к величине этого диапазона, составляет 0,024 пФ/%, а точность показаний датчика составляет $\pm 1,5$ %.

Также была получена зависимость сопротивления датчика от относительной влажности воздуха (рис. 5). В данном случае можно сказать, что регистрация изменения относительной влажности воздуха по изменению сопротивления датчика наиболее эффективна в диапазоне от 20 до 60 %. Чувствительность при этом составляет 1820 кОм/%. Исследования терморезистора показали, что его $\text{ТКС}_{\text{прак}} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ 1/К}$.

Для датчиков с разной толщиной пленки Al_2O_3 были сняты зависимости емкости от относительной влажности. График этих зависимостей, где емкость выражена в относительных единицах ($C_{\text{изм}}/C_{\text{max}}$), представлен на рис. 6. Из графика видно, что при толщине пленки Al_2O_3 500 нм наблюдается наибольшая чувствительность датчика. Такой характер влияния обусловлен зависимостью величины вклада адсорбции воды в диэлектрическую проницаемость пленки Al_2O_3 от толщины этой пленки и структуры ее поверхности.

На рис. 7 представлены изображения сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ-изображения) поверхности пленок Al_2O_3 , полученных методом реактивного магнетронного распыления, различной толщины. По этим изображениям видно, что наибольшая чувствительность датчика с толщиной Al_2O_3 500 нм обуславливается более развитой структурой поверхности такой пленки. Здесь наблюдаются более выраженные пики и углубления, способствующие

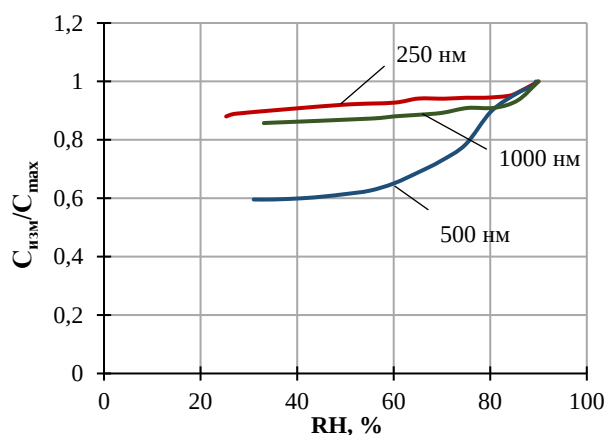


Рис. 6. График зависимости $C_{\text{изм}}/C_{\text{max}}$ от относительной влажности воздуха для датчиков с разной толщиной пленки Al_2O_3

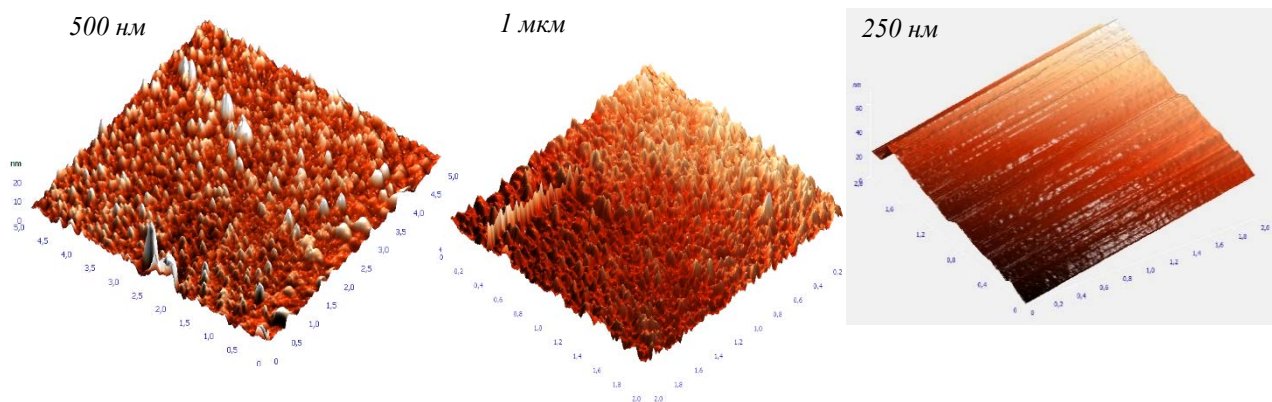


Рис. 7. Трехмерные СЗМ-изображения рельефа поверхности пленок Al_2O_3 разной толщины

щие адсорбции влаги из окружающего воздуха, в то время как при других толщинах структура поверхности пленок Al_2O_3 либо совсем гладкая и повторяет структуру стеклянной подложки, либо недостаточно развитая для эффективной адсорбции влаги.

5. Выводы. Для разработанного экспериментального образца датчика влажности воздуха со слоистой структурой $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Cr}/\text{C48-3}$ было установлено, что регистрацию изменения влажности воздуха в диапазоне от 20 до 60 % лучше осуществлять по изменению сопротивления, а от 60 до 90 % - по изменению емкости, при этом чувствительность по сопротивлению составляет 1820 кОм/%, а по ёмкости – 0,024 пФ/%. Наибольшую чувствительность датчика обеспечивает толщина влагочувствительной плёнки Al_2O_3 500 нм, что обеспечивается оптимальным рельефом профиля этой пленки, в сравнении с двумя другими образцами (250 нм, 1 мкм).

Список литературы

- [1] Патент РФ №181598. МПК А 01 G 9/02 (2006.01). Цветочный горшок с климатической системой / В.Е. Филимонов, Л.С. Иванова. – №2017115591; Заявлено 03.05.2017); Опубл. 19.07.2018, Бюл. №20.
- [2] Tripathy, A. Role of morphological structure, doping, and coating of different materials in the sensing characteristics of humidity sensors / A. Tripathy, S. Pramanik // Sensors. – 2014. – №14 – p. 16343-16422.
- [3] Косилов, А.Т. Диэлектрические свойства пористого оксида алюминия / А.Т. Косилов, Т.В. Пташкина, Д.В. Лиховая и др. // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – том 7. – с. 12-14.

ВЫБОР ЕМКОСТИ БАЛАНСИРУЮЩЕГО НАКОПИТЕЛЯ ПРИ СГЛАЖИВАНИИ ПИКОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А.И. Орлов, К.А. Самойлов

ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет»

e-mail: karlorlov@gmail.com

В работе приводится описание программно-аппаратного комплекса для сглаживания пиков потребления электроэнергии в электроэнергетической системе за счет переноса пиков потребления на периоды его минимума. Приводится способ определения емкости балансирующего накопителя, входящего в состав комплекса, основанный на использовании фильтрации почасового профиля мощности в сочетании с краткосрочным его предсказанием на основе нейронной сети.

Ключевые слова: профиль мощности, пиковая нагрузка, фильтр Калмана, рекуррентная нейронная сеть.

1. Введение. В энергосистеме в целом и в ее составных частях вплоть до отдельного домохозяйства или квартиры имеет место неравномерность потребления электроэнергии. Для иллюстрации этого факта на рис. 1 показан почасовой профиль мощности, МВт, в течение года по данным Системного оператора Единой энергетической системы [1, 2]. В цене на электроэнергию для предприятий учитываются существуют 2 составляющие: количество электроэнергии и мощность пикового потребления. Логика такого деления на составляющие состоит в том, что производителям электроэнергии и сетевым организациям даже при низком потреблении приходится поддерживать оборудование и электрические сети в «горячем резерве», обеспечивая способность производства и передачи определённой пиковой мощности. В настоящее время в электроэнергетике обсуждаются и реализуются проекты по оптимизации загрузки электроэнергетических систем, снижению пикового потребления с целью минимизации затрат на электроэнергию.

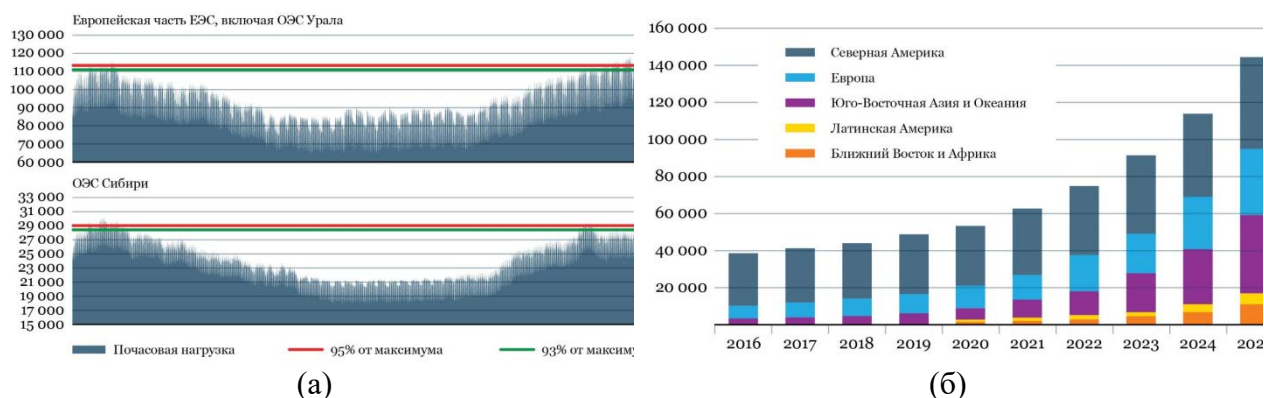


Рис. 1. Почасовой профиль мощности потребителей Европейской части ЕЭС, включая ОЭС Урала, ОЭС Сибири (а); прогноз включения мощности потребителей в программы управления спросом, МВт, по данным Navigant Research (б).

Одним из эффективных решений указанной проблемы является внедрение программ ценозависимого управления спросом (demand response), реализация которой в энергосистемах отдельных стран мира идет с 1974 г. Управление спросом означает добровольное ценозависимое снижение потребителем уровня потребления электроэнергии в часы пиковой загрузки. При этом тариф на электроэнергию динамически изменяется в реальном времени в зависимости от текущего уровня потребления в энергосистеме. Ограничение спроса с точки зрения энергобаланса эквивалентно новой генерации. Лидером использования технологии ценозависимого потребления является США (энергоснабжающие организации MISO, PJM

Interconnection, CAISO). В Европе технология demand response применяется в Великобритании, Германии, Дании, Ирландии, Финляндии, Франции. В Китае, согласно 5-летнему плану, технология ценозависимого потребления сделает возможным снижение пиковых нагрузок на 15–30 % к 2020 г. В программах управления спросом в различных странах мира участвуют не только промышленные предприятия, но и частные потребители: владельцы домов, квартир, апартментов, представители малого бизнеса. Управление режимами таких потребителей осуществляют специализированные организации – агрегаторы нагрузки (агрегаторы управления спросом). Эти организации являются участниками оптового рынка электроэнергии на равне с производителями. В соответствии с прогнозом агентства Navigant Research: Energy Research [2, 3], число потребителей, участвующих в программах управления спросом будет расти в ближайшем будущем, см. рис. 1 (б). В России по состоянию на 2019 г. технология demand response работает в пилотном режиме, с 2021 г. планируется ее широкое внедрение.

Программно-аппаратный комплекс для сглаживания пиков потребления. Несмотря на преимущества технологии ценозависимого потребления для энергосистемы в целом, потребители могут испытывать неудобства, связанные с необходимостью ограничения своего потребления в неудобное для них время, например, в часы вечернего максимума. В связи с этим встает вопрос о разработке комплекса, сочетающего аппаратную и программную части, который позволит сглаживать пики потребления электроэнергии отдельного потребителя, не ограничивая уровень потребления. Использование такого комплекса в условиях ценозависимого потребления позволит:

- 1) не ограничивать для потребителя свой уровень потребления электроэнергии в часы пиковой загрузки энергосистемы;
- 2) значительно экономить за счет потребления в часы минимальной цены на электроэнергию;
- 3) радикально повысить надежность электроснабжения, обеспечив относительную автономность электроснабжения на период времени до 1 суток.

Схематически место программного-аппаратного комплекса в структуре электроснабжения конечного потребителя показано на рис. 2.

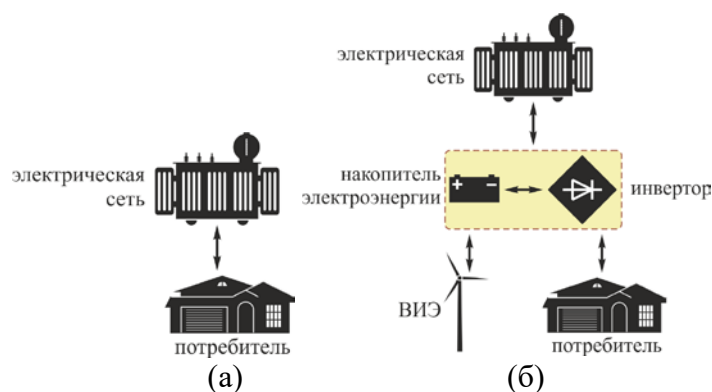


Рис. 2. Блок-схема электроснабжения потребителя (а) и место в ней предлагаемого программно-аппаратного комплекса (б).

Программно-аппаратный комплекс будет предназначен для бытового и коммерческого применения и должен представлять собой автономную энергосистему на комбинированном токе (постоянном и переменном) в рамках дома, офиса, квартиры, апартментов. Предпо-

лагается установка комплекса на вводе потребителя. Комплекс будет состоять из аппаратной и программной составляющих. Структура аппаратной части показана в виде блок-схемы на рис. 3. Аппаратная часть включает:

- 1) модуль накопителей электроэнергии: балансирующий накопитель Н, предназначенный для работы в режиме частых зарядов и разрядов;
- 2) модуль преобразователей: взаимосвязанная совокупность выпрямителя В, контроллера заряда К, инвертора И, силовых фильтров, блока управления БУ, обеспечивающая возможность подключения источников электроэнергии в зависимости от их доступности и необходимости.

В целом, аппаратная часть должна обеспечивать возможность заряда накопителей от доступного источника электроэнергии.

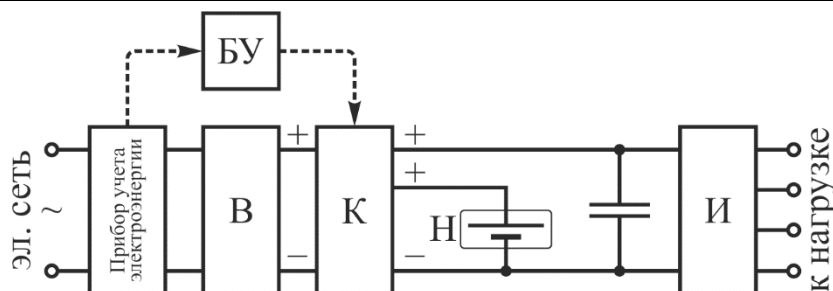


Рис. 3. Блок-схема аппаратной части программно-аппаратного комплекса для сглаживания пиков потребления электроэнергии: БУ – блок управления; В – выпрямитель; К – контроллер заряда; И – инвертор, Н – балансирующий накопитель.

Программная часть в виде программ для блока управления комплексом предназначена для анализа режима потребления и управления генерацией за счет использования энергии, запасенной в накопителях электроэнергии в реальном времени. Кроме этого, программная часть должна обеспечить хранение и выдачу информации о режиме потребления/генерации комплекса. Программная часть комплекса должна быть согласована с возможностями аппаратной части. Конструктивно комплекс с модулем накопителей на 1 кВт·ч и модулем преобразователей на 10 кВА должен быть выполнен в форме блока размером не более 450×450×200 мм. К перспективным возможностям комплекса можно отнести возможность реализации функций источника бесперебойного питания при перерывах в электроснабжении благодаря наличию накопителя электроэнергии. Использование датчиков тока, обеспечивающих постоянный контроль передаваемой мощности, даст возможность реализации функций аппаратов релейной защиты: защиты электрической сети и оборудования от коротких замыканий и перегрузок.

Емкость балансирующего накопителя. Основным элементом комплекса является балансирующий накопитель электроэнергии. Выбор емкости накопителя представляет собой нетривиальную задачу, т.к. профиль мощности потребителя может изменяться как в течение суток, так и за более длительный промежуток времени – неделю, месяц, год.

Мы предлагаем методику определения мощности накопителя, основанную на фильтрации профиля мощности потребителя. Для иллюстрации рассмотрен почасовой профиль мощности типичного коммунально-бытового потребителя электроэнергии, см. рис. 4, за февраль 2018 г. Потребление электроэнергии составляет 342 кВт·ч.

С целью фильтрации применялся линейный фильтр Калмана. Вычисление сглаженного значения выполнялось следующим образом. Обозначим u_t – известное значение управляющей функции в момент времени t , влияющей на текущее потребление, ξ_t – ошибку модели потребления и σ_ξ^2 – дисперсию ошибки модели, η_t – ошибку датчика и σ_η^2 – дисперсию ошибки датчика. Уравнение изменения выходной координаты

$$x_{t+1} = x_t + u_t + \xi_t.$$

Значение, снимаемое с датчика

$$z_{t+1} = x_t + \eta_t.$$

Среднее значение квадрата ошибки

$$E(e_{t+1}^2) = [\sigma_\eta^2 \cdot (E(e_t^2) + \sigma_\xi^2)] / [E(e_t^2) + \sigma_\xi^2 + \sigma_\eta^2],$$

где начальное значение $E(e_0^2) = E(\eta_0^2) = \sigma_\eta^2$. Коэффициент усиления Калмана

$$K_{t+1} = [E(e_t^2) + \sigma_\xi^2] / [E(e_t^2) + \sigma_\xi^2 + \sigma_\eta^2] = E(e_{t+1}^2) / \sigma_\eta^2.$$

Значения, получаемые в результате фильтрации, вычисляются как

$$x_{\phi, t+1} = K_{t+1} \cdot z_{t+1} + (1 - K_{t+1}) \cdot (x_{\phi, t} - u_t).$$

На практике почти невозможно с достаточной определенностью построить модель коммунально-бытового потребителя, позволяющую предсказать его профиль мощности. Он определяется множеством непредсказуемых факторов. Можно в некоторой степени предска-

зять его форму, используя лишь на статистику ее изменения в прошлом. В связи с этим, будем считать, что управляющего воздействия нет $u_t = 0$, а изменение профиля мощности носит случайный характер, т.е. $x_{t+1} = x_t + \zeta_t$.

Значение ошибки $E(e_{t+1}^2)$ зависит только дисперсий σ_ζ^2 и σ_η^2 и с увеличением количества шагов во времени t значения коэффициента усиления K асимптотически приближается к некоторому установившемуся значению. Значения дисперсий σ_ζ^2 и σ_η^2 также не известны, но используя указанную особенность, будем задавать значение коэффициента усиления K непосредственно. Результат фильтрации фильтром Калмана с коэффициентами $K = 0,01, 0,02$ и $0,04$ показан на рис. 4 утолщенными линиями. Фильтрация с меньшим коэффициентом приводит к большей степени сглаженности, но большим запаздываниям результата фильтрации.

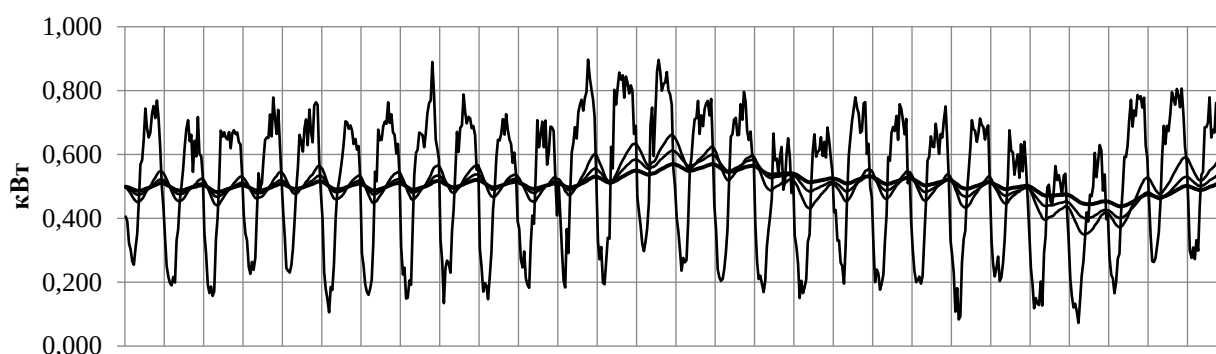


Рис. 4. Профиль мощности типичного коммунально-бытового потребителя электроэнергии и его сглаженные значения с использованием фильтра Калмана.

Исходный профиль мощности в заданный момент времени x_t сравнивается с результатом фильтрации $x_{\phi,t}$. При $x_t > x_{\phi,t}$ накопитель должен передавать мощность потребителю, см. рис. 5 (а). При $x_t < x_{\phi,t}$ потребитель должен питаться полностью от сети, а накопитель – заряжается от сети, см. рис. 5 (б). Емкость накопителя должна быть больше наибольшей разницы $|x - x_\phi|$ с учетом запаса. В представленном примере минимальная ёмкость накопителей не превышает 2,8 кВт·ч.

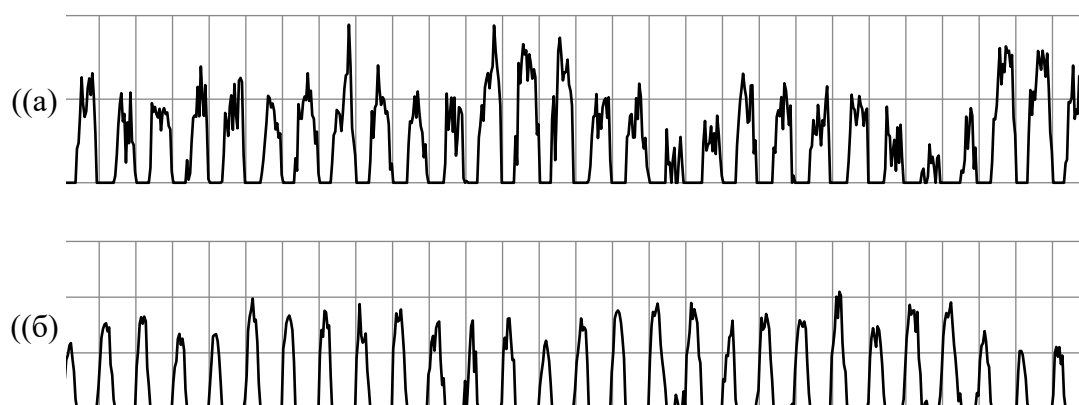
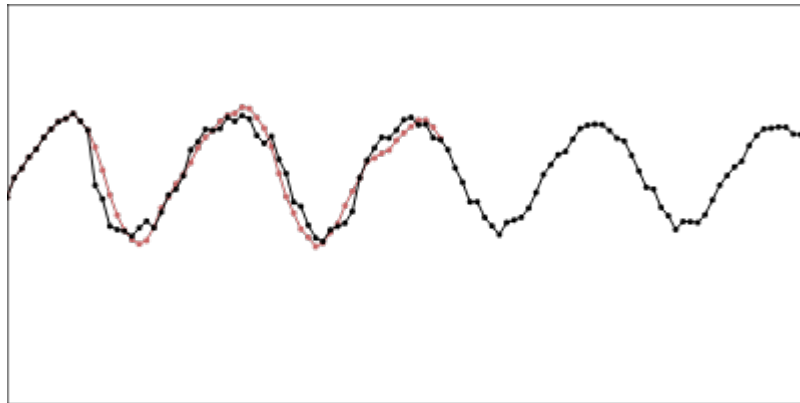


Рис. 5. Разница исходного профиля мощности и отфильтрованной величины: а) $x > x_\phi$; б) $x < x_\phi$.

С целью расчета сглаженного значения профиля мощности можно применять другие методы, например, свертку исходного профиля мощности с оконной функцией. Однако представленный метод проще в реализации и требует значительно меньшего объема памяти ЭВМ.

Для повышения точности работы фильтра можно предсказывать профиль мощности, используя искусственную нейронную сеть. Особенность применения нейронной сети состоит в том, что физическая природа данных не имеет значения. Нейронная сеть в результате обучения подбирает свои весовые коэффициенты таким образом, чтобы минимизировать отклонение выходного и заданного значений. Пример использования простой рекуррентной сети Элмана показан на рис. 4. Для обучения использовался метод обратного распространения ошибки во времени (backpropagation throw time, BPTT).

Рис. 7. Пример предсказания фрагмента почасового профиля мощности потребителя, полученный с использованием нейронной сети Элмана: темной линией показаны предсказанные значения, светлой – исходные данные.



Для получения представленного результата применялась нейронная сеть Элмана с 9 узлами скрытого слоя, 11 входными узлами и 3 выходными. При разворачивании сети использовано 7 слоев во времени. Коэффициенты скорости обучения между контекстным и скрытым слоем, а также между входным и скрытым слоем – 0,01, между скрытым и выходным слоем – 0,2. Произведено 70 итераций обучения сети. Скорость предсказания составляет доли секунды, а перспектива предсказания профиля мощности можно задавать до нескольких суток. При использовании более длительной перспективы точность предсказания падает.

Обработка данных выполнена с использованием программы, написанной авторами на языке JavaScript. Таким образом, предложенная методика может использоваться при определении емкости балансирующего накопителя.

Заключение. Переноса максимумы нагрузки на период минимума энергопотребления в энергосистеме, обеспечивается сглаживание пиков потребления электроэнергии. При переходе к ценозависимому потреблению электроэнергии разрабатываемый программно-аппаратный комплекс позволит не только сократить пиковое потребление в целом в энергосистеме, но и снизить стоимость электроэнергии для отдельных потребителей, использующих данную разработку. Представленная методика определения емкости балансирующего накопителя может применяться для оптимизации затрат на создание комплекса.

Список литературы

- [1] Системный оператор Единой энергетической системы. Технология ценозависимого потребления URL: <https://so-ups.ru/>
- [2] Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина; ИНЭИ РАН–Московская школа управления СКОЛКОВО – Москва, 2019. – 210 с. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Forecast_2019_Rus.pdf
- [3] Navigant Research URL: <https://www.navigantresearch.com/>
- [4] Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006 г. – 656 с.: ил.
- [5] В.Ф. Худяков, В.А. Хабuzов. Моделирование источников вторичного электропитания в среде MATLAB 7.x: учебное пособие. СПб.: ГУАП, 2008, 332 с.

**СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ
ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, УЧИТЫВАЮЩАЯ УГОЛ КРУЧЕНИЯ ПРОВОДА**

**М.Ф. Садыков, Д.А. Ярославский, Д.А. Иванов, М.П. Горячев, Т.Г. Галиева,
В.А. Тюрин, А.Р. Сайфутдинова**

*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
goryachev91@mail.ru*

Механические деформации при растяжении провода вызывает его вращение вокруг своей оси, что позволяет получить дополнительную информацию о поведении провода на воздушной линии электропередачи и рассматривать её уже не как группу участков из одного пролёта, а как целый взаимосвязанный участок с перераспределением механических нагрузок между пролетами.

Для определения силы тяжения провода по его кручению разработана методика определения механических параметров воздушной линии электропередачи на основе инклинометрического метода и теории силового расчёта стальных канатов. Данная методика учитывает кручение, угол наклона и температуру провода.

Методика реализована в системе мониторинга состояния воздушных линий электропередачи, учитывает угол кручения провода, позволяет предупредить аварийные ситуации на воздушной линии электропередачи благодаря определению силы тяжения провода, контролю дефектов проволок проводов воздушной линии электропередачи и дефектов в подвесной арматуре. Система мониторинга включает в себя устройства контроля, пункт сбора данных и обработки данных, программный комплекс диспетчера.

Устройства контроля устанавливаются непосредственно на провод/грозотрос воздушной линии электропередачи, измеряют угол вращения, угол наклона и температуру провода. Пункт сбора данных и обработки данных осуществляет их обработку согласно разработанной методике в специализированном программном обеспечении. Система мониторинга состояния воздушных линий электропередачи на основе инклинометрического метода позволяет предупредить аварийные ситуации и снизить экономические затраты на содержание и восстановление воздушных линий электропередачи.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, провод, грозотрос, тяжение, инклинометрический метод, система мониторинга

Введение. Передача электрической энергии от электростанций или подстанций к потребителю осуществляется по линиям электропередачи (преимущественно, воздушным), которые являются частью электрической системы. Воздушной линией электропередачи (ВЛ) называется устройство для передачи электрической энергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и закрепленным с помощью изоляторов и линейной арматуры к опорам.

Протяжённость воздушных линий электропередачи в Российской Федерации составляет свыше 2,8 млн. км [1]. Электросетевое хозяйство стремительно устаревает. Уровень износа оборудования достигает 70%. При этом, в связи с ростом потребления электроэнергии и вводом в строй новых участков ВЛ повышается необходимость контроля состояния ВЛ и прогнозирования возможных аварийных ситуаций.

Неотъемлемыми элементами воздушной линии электропередачи являются провод, изоляторы с линейной арматурой, а также несущие конструкции (опоры и фундаменты). Указанные элементы испытывают механические нагрузки и могут быть повреждены в случае превышения своего предела по механической прочности. Воздушные линии электропередачи сооружаются в районах с различными климатическими условиями, которые оказывают влияние на механическую прочность элементов ВЛ и на характер внешних воздействий.

Конструктивные элементы ВЛ испытывают как горизонтальные (например, механические напряжения в натянутом проводе), так и вертикальные нагрузки (например, от собственного веса или от веса провода). Провод является элементом воздушной линии, на котором наблюдаются изменения механических нагрузок. Это происходит из-за изменения силы натяжения провода в зависимости от температуры, образования на нём гололёдно-изморозевых отложений (ГИО), и колебаний от порывов ветра. Основные механические напряжения в проводе ВЛ связаны с его растяжением. С увеличением предела прочности провода или проволок (жил), из которых он изготовлен, увеличивается и натяжение, которое он способен выдержать [2].

Механическая перегрузка конструктивного элемента линии электропередачи может произойти в связи с появлением ГИО, развитием усталости конструктивного элемента воздушной линии, ошибками при сооружении линии, а также проведением ремонтно-восстановительных работ. Среди перечисленных причин наиболее серьезными последствиями сопровождается появление ГИО. Таким образом, необходима достаточно точная локализация аварийного участка или дефекта, и это при условии, что часто проезд вдоль ВЛ затруднён (глубокие снежные сугробы; естественные преграды, болотистая местность, рельеф и пр.), а скорость предотвращения / устранения аварийной ситуации напрямую связана с понесенными убытками.

Модель инклинометрического метода. Перспективным методом определения механических нагрузок на провод является инклинометрический метод, основанный на измерении угла наклона различных предметов относительно гравитационного поля земли. Точность данного метода может быть повышена благодаря установке датчиков с высокой точностью определения угла наклона провода, использованию методики пересчёта данных с устройства в текущие механические нагрузки на проводе. Это возможно благодаря тому, что *при растяжении провода/грозотроса наблюдается его вращение вокруг своей оси*, что позволяет *получить дополнительную информацию*, а значит и *улучшить инклинометрический метод*.

Провода и грозотросы для ВЛ имеют многопроволочную структуру и представляют собой канат, скрученный из отдельных проволок и обладающий большой гибкостью.

После скрутки каждая проволока, кроме одной центральной, располагается по винтовой линии. На рис. 1 показаны изображения проводов и грозотросов, применяемых на ВЛ.



Рис. 1. Изображения проводов и грозотросов: а – провод А-70; б – провод АС – 120/19; грозотрос ГТК -50

Механические деформации при растяжении провода/грозотроса позволяют наблюдать его вращение вокруг своей оси [А1], получать дополнительную информацию и рассматривать ВЛ не как группу участков из одного пролёта, а как целый взаимосвязанный участок с перераспределением механических нагрузок между пролетами.

Исходя из того, что многопроволочные провода и грозотросы по структуре схожи с канатами, для оценки их вращение вокруг своей оси мы используем теорию силового расчёта стальных канатов [] применительно к существующему инклинометрическому методу, учитывая температурные расширения и упругие деформации в проводе. Таким образом, была получена зависимость силы тяжения провода от углов кручения и наклон и температуры провода:

$$T = \frac{\alpha^*(l + L_0 \cdot ch(u)) - \sqrt{(\alpha^*)^2(l + L_0 \cdot ch(u))^2 - 8(\alpha^*)^2 L_0(\varphi_1 - \varphi_0) \frac{B}{C}}}{2\alpha^* L_0 \cdot \cos(\alpha)},$$

где α^* – удельное относительное удлинение провода, Н⁻¹;

l – длина пролёта, м;

$$u = \ln tg\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2}\right),$$

где α – угол наклона провода у точки подвеса по отношению к прямой, проходящей через точки подвеса данного пролёта;

B – коэффициент жесткости провода, Н·м²;

C – коэффициент жесткости провода, Н·м;

L_{0g} – длина нерастянутого провода при текущей температуре, м;

φ_1 – угол поворота провода вокруг своей оси при текущих механических нагрузках на провод при температуре окружающей среды до появления ГИО, град.;

φ_0 – начальный угол поворота провода вокруг своей оси до появления ГИО, град.

Численный расчёт параметров грозотроса в пролёте показывает, что модель правдоподобно реагирует на изменение угла кручения, подтверждая правильность заложенных в неё физико-механических принципов.

Однако, на практике использовать данную методику на основе улучшенного инклинометрического метода представляется возможным лишь при углах кручения провода/грозотроса до 180°, что обусловлено конструктивными ограничениями кручения провода/грозотроса при креплении его к опоре. Таким образом, диаметр гололёдной муфты для расчёта грозогрозотроса С-50 не должен превышать 12,5 мм и только для пролётов с одной анкерной опорой.

Результирующая зависимость угла кручения грозотроса от его силы тяжения в диапазоне практического применения разработанной методики представлена на рис. 2.

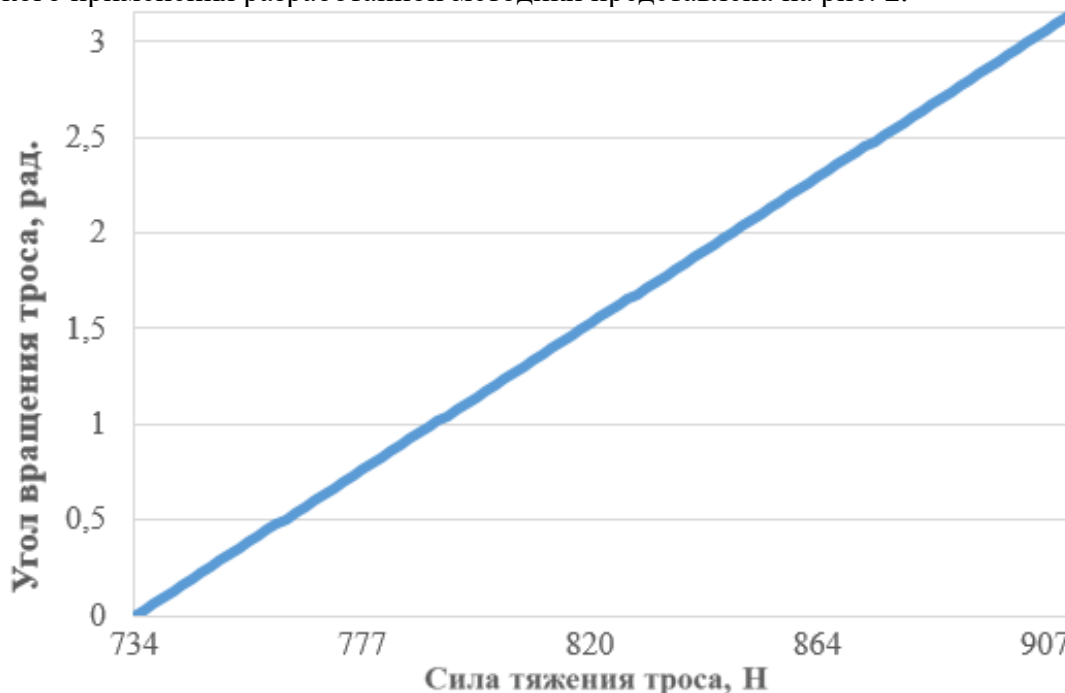


Рис. 2. Зависимость угла кручения грозотроса от его силы тяжения в диапазоне практического применения разработанной методики

Достоинствами модели инклинометрического метода являются:

- возможность оценки упругих взаимодействий в проводе/грозотросе;
- возможность оценки температурного воздействия на механические нагрузки проводов/грозотросов;
- наличие зависимости параметров механических нагрузок от угла кручения провода/грозотроса вокруг своей оси, что актуально ввиду большего диапазона работы устройства контроля по углу кручения, чем по углу наклона;
- возможность определения начального угла кручения устройства контроля благодаря этапу калибровки.

Аппаратно-программное обеспечение. Система мониторинга состояния воздушных линий электропередачи состоит из специального набора аппаратно-метрологических средств (устройств контроля) и специализированного программного обеспечения (ПО). Устройства контроля закреплены на проводе/грозотросе вблизи точки подвеса. Данные с устройств контроля собираются на пункте сбора данных, а затем передаются на облачный сервер, откуда они поступают на электронную вычислительную машину (ЭВМ), где обрабатываются согласно разработанным методикам в специализированном ПО. Обработанные данные доступны для диспетчеризации и наблюдения посредством web-интерфейса.

ПО работает не только с данными угла наклона провода при определении механических нагрузок на ВЛ, но и с данными по углу кручения. Математическая модель ПО высчитывает силу тяжения провода на основе величин физико-механических характеристик проводов, длины нерастянутого провода, а также измеренных устройствами контроля параметров.

Практическое применение разработанной системы мониторинга состояния воздушных линий электропередачи. Система мониторинга состояния воздушных линий электропередачи определяет механические нагрузки на проводах/грозотросах ВЛ. Механические нагрузки, преимущественно, обусловлены температурными изменениями геометрии провода/грозотроса, появлением ГИО на проводах/грозотросах ВЛ, так как концы провода/грозотроса в пролете ВЛ жестко зафиксированы крепежной арматурой. Следовательно, определение механических параметров ВЛ позволяет проводить контроль как ГИО, так и дефектов на ВЛ.

Для верификации разработанного метода было проведено сравнение с классическим инклинометрическим методом по получаемому тяжению в точке подвеса. Исходными данными для расчета служат реальные значения углов провеса и кручения провода, полученные с устройств контроля системы мониторинга ВЛ.

Проведён расчёт силы тяжения ВЛ 6кВ с проводом А-70 на основе реальных данных для случаев без ГИО и с ГИО.

Расчёт ВЛ без ГИО проводился для пролёта протяжённостью 40,9 метра с проходными опорами. Геометрические параметры ВЛ определялись исходя из фотограмметрии полученных снимков ВЛ [А14, А15]. Температура провода изменялась от -7,40 °С до 13,05 °С. Угол наклона провода за это время изменялся от 1,76 ° до 3,10 °, а угол кручения провода за это время изменялся от 1,75 ° до 4,14 °. Был проведён расчёт по классической методике, а также по разработанной, учитывающей не только угол наклона провода, но и угол его кручения. Результирующая сила тяжения по старой методике изменяется от 942 Н до 1595 Н, по новой – от 942 Н до 1649 Н.

Диаграмма, описывающая случай без ГИО представлена на рис. 5. Из диаграммы на рис. 5 следует, что силы тяжения провода, вычисленные исходя из классического метода и вновь разработанного совпадают. Это доказывает работоспособность разработанной модели. Из диаграммы видно, что с увеличением температуры увеличивается угол наклона, а провод раскручивается. При этом, уменьшается сила тяжения провода. Поведение разработанной модели не противоречит физическим законам теплового расширения тел.

Расчёт ВЛ с ГИО проводился для пролёта протяжённостью 39,6 метра с одной анкерной опорой. Геометрические параметры ВЛ определялись исходя из фотограмметрии полученных снимков ВЛ [A14, A15]. Диаграмма, описывающая случай с ГИО представлена на рис. 6.

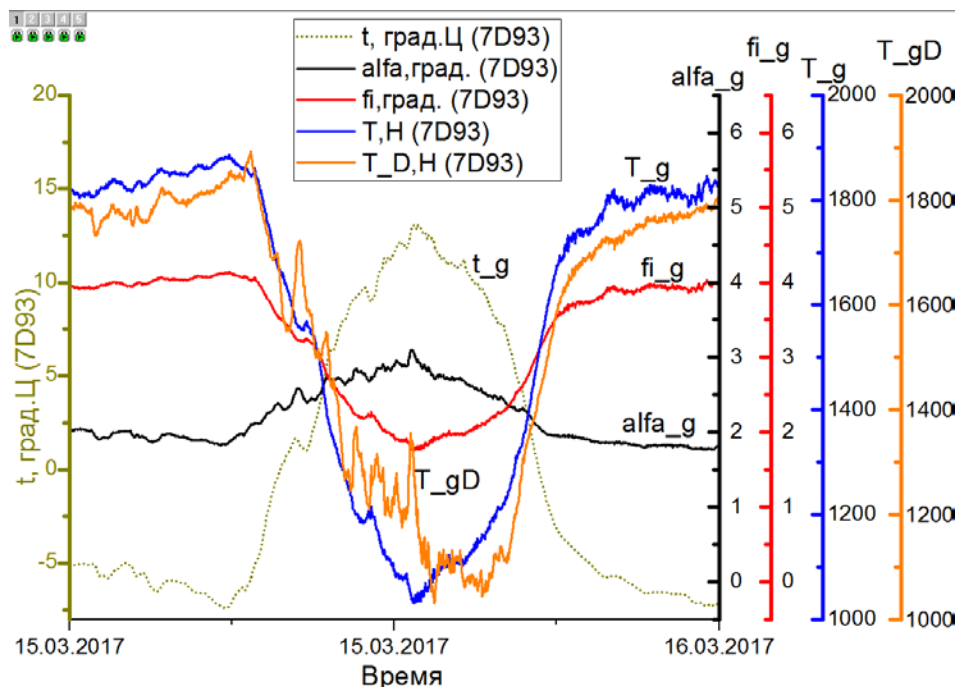


Рис. 5. Поведение провода при отсутствии ГИО:

t – температура провода; alfa – угол наклона провода; fi – угол кручения провода; T_D – сила тяжения провода, вычисленная по старой методике; T – сила тяжения провода, вычисленная по новой методике

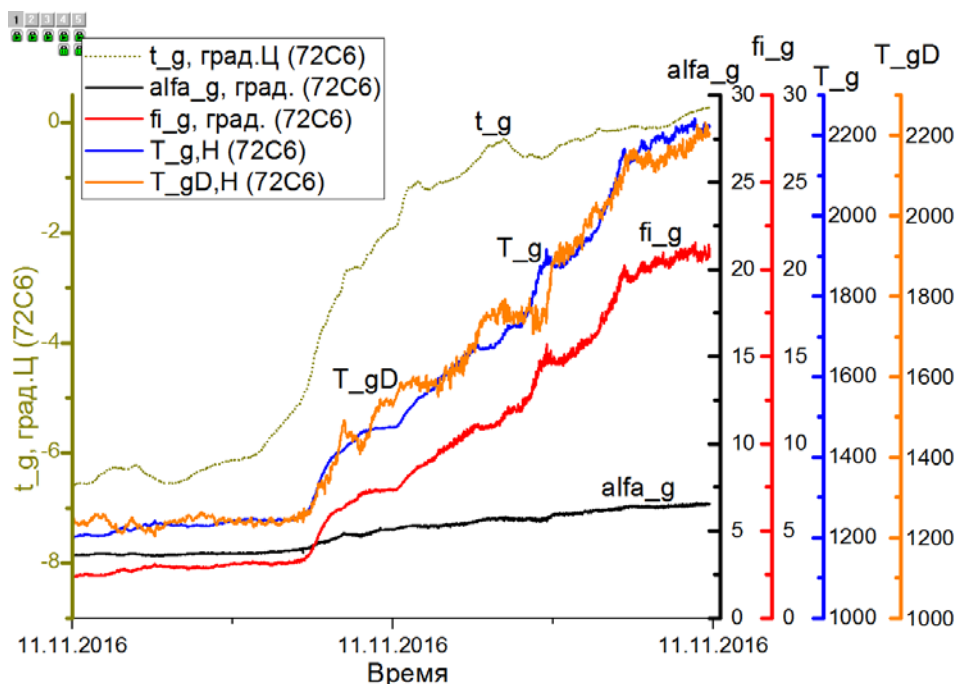


Рис. 6. Поведение провода с ГИО:

t – температура провода; alfa – угол наклона провода; fi – угол кручения провода; T_D – сила тяжения провода, вычисленная по старой методике; T – сила тяжения провода, вычисленная по новой методике

Температура провода изменялась от $-6,93^{\circ}\text{C}$ до $0,29^{\circ}\text{C}$. Угол наклона провода за это время изменялся от $2,22^{\circ}$ до $3,8^{\circ}$, а угол кручения провода за это время изменялся от $15,64^{\circ}$ до $35,54^{\circ}$. Был проведён расчёт по классической методике, а также по новой. Результирующая сила тяжения по классической методике изменяется от 1162 Н до 2252 Н, по новой – от 1161 Н до 2254 Н.

Сравнивая два этих случая, наблюдается увеличение отношения диапазона изменения угла вращения по отношению к диапазону изменения угла наклона провода при увеличении действующей на провод силы тяжения.

Определение дефектов проволок провода ВЛ. Результаты экспериментальных исследований влияния дефектов разрыва жил провода на его вращение (кручение) сведены в графики и представлены на рис.7 (А-70) и рис.8 (АС-120/19).

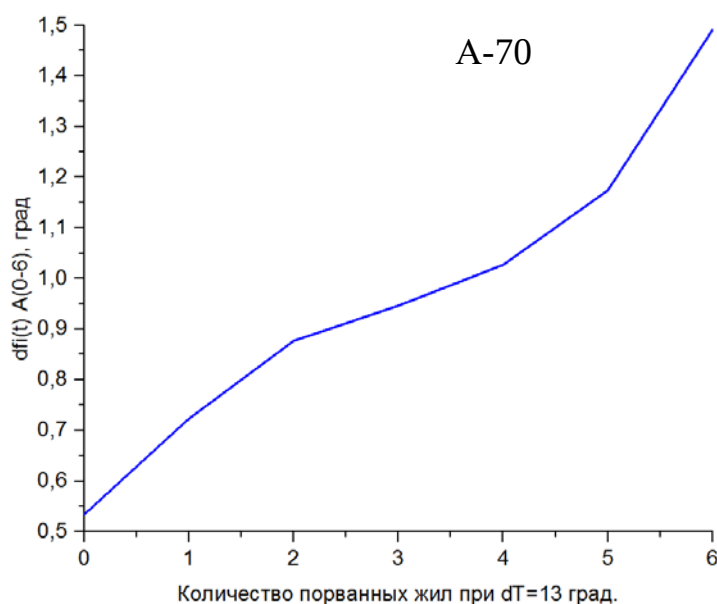


Рис. 7. Зависимость угла кручения провода А-70 от количества оборванных жил (от 0 до 6) при изменении температуры провода на 13°C

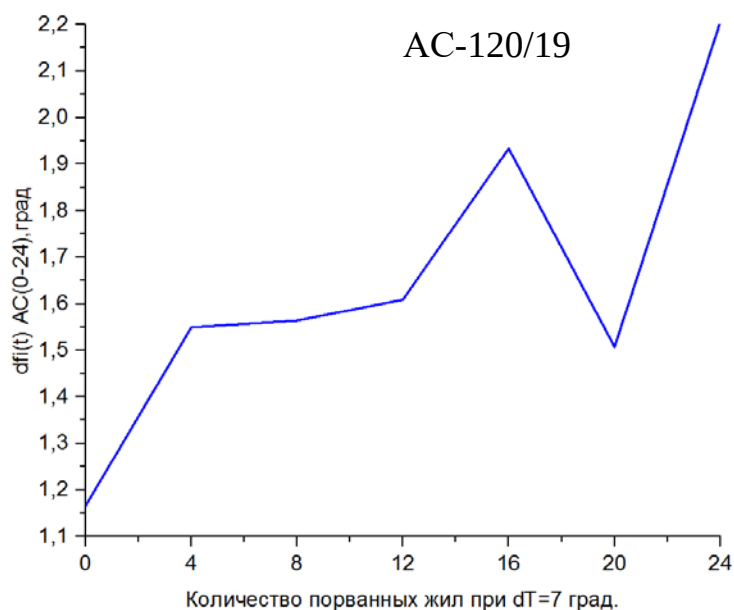


Рис. 8. Зависимость угла кручения провода АС-120/19 от количества оборванных жил (от 0 до 24) при изменении температуры провода на 7°C

При развитии дефекта обрыва жил провода А-70 наблюдается, практически, линейное увеличение изменения угла вращения (рис.7), что говорит о возможности диагностирования степени развития дефекта по изменению угла вращения провода при изменении температуры провода в заданном диапазоне.

При развитии дефекта обрыва жил провода АС-120/19 наблюдается увеличение изменения угла кручения (рис.8), что свидетельствует о возможности диагностирования степени развития дефекта по изменению угла кручения провода при изменении температуры провода в заданном диапазоне. Снижение же диапазона изменения угла кручения связано с разрывом всего внешнего слоя алюминиевых жил провода и тем, что каждый слой провода имеет противоположное направление свивки.

Следовательно, при развитии дефекта, связанного с обрывом жил провода наблюдается увеличение диапазона изменения угла кручения провода при одинаковом изменении температуры провода.

Заключение

Обосновано практическое применение системы мониторинга состояния воздушных линий электропередачи на основе улучшенного инклинометрического метода. В данной статье доказана работоспособность системы мониторинга состояния воздушных линий электропередачи на основе улучшенного инклинометрического метода при решении задач мониторинга, как:

- определение механических нагрузок на провода/грозотросы ВЛ как при наличии, так и при отсутствии ГИО;
- выявление и контроль развития дефектов провода, связанных с разрывом его жил (проволоков).

Список литературы

1. Боков Г. Техническое перевооружение российских электрических сетей. Сколько это может стоить? Новости Электротехники. 2002. №2(14). URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2002/14/03.php>.
2. Бошнякович Андрей Драгомирович. Механический расчет проводов и тросов линий электропередачи. М.-Л., Госэнергоиздат, 1962. 254 стр.
3. Mikhail Petrovich Goryachev, Yaroslavsky Danil Aleksandrovich, Marat Ferdinandovich Sadykov, Dmitry Alekseevich Ivanov, Andrey Borisovich Konov. "Methodology of ice coating monitoring on overhead transmission lines considering misalignment using wireless communication channel sensors." // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences* 12.22 (2017): 6479-6482.
4. Горячев М.П., Ярославский Д.А., Абдуллов А.А., Баймухаметов З.Г. Анализ геометрических параметров ЛЭП для верификации стрел провиса провода // Сборник трудов XII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике» (1–3 ноября 2017 г.) г. Казань: ФГБОУ ВО КГЭУ, 2017. С. 470-475.
5. Mikhail Petrovich Goryachev, Dmitry Alekseevich Ivanov, Danil Aleksandrovich Yaroslavsky, Marat Ferdinandovich Sadykov, Tatyana Gennadyevna Yambayeva. "Investigations of topological features of construction an intelligent overhead power transmission line based on wireless sensors" // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. –2017. – 8 (12): p.903-908.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СЕТЬ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

М.Ф. Садыков, Д.А. Ярославский, Д.А. Иванов, М.П. Горячев, Т.Г. Галиева,
В.А. Тюрин, Г.Р. Муртазина

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
goryachev91@mail.ru

В настоящее время наблюдается острая необходимость усовершенствования технологий в области энергосбережения ввиду увеличения протяженности линий электропередач, устаревшего оборудования, больших затрат на подготовку и устранение аварийных ситуаций.

В работе предлагается построение интеллектуальной сети мониторинга состояния воздушных линий электропередачи, базирующейся на модульных устройствах с различным набором диагностических модулей, на собственных алгоритмах организации канала связи и программном обеспечении интерпретации получаемых данных.

Данная система позволит получить новые знания благодаря сбору большого объема статистических данных о параметрах режима работы воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) и её элементов. Это поспособствует развитию технологий ресурсосберегающей энергетики и эффективной транспортировки электроэнергии. Кроме того, данный проект имеет и значительный практический эффект, так как высокая информативность ВЛЭП позволит предотвращать аварийные ситуации и повысит эффективность транспорта электроэнергии. Всё это приведёт к повышению надежности энергосистемы, бесперебойности питания потребителей и значительной экономии средств.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, модульное устройство, беспроводная передача данных, мониторинг, гололедообразование, диагностика, сенсорная сеть, *Smart Grid*.

Введение. В последнее десятилетие во многих странах мира распространение получила концепция инновационного развития электроэнергетики, носящая название *Smart Grid*. Сегодня проекты по развитию «умных сетей» реализуются во всех развитых и большей части развивающихся стран. Американским советом по энергоэффективной экономике (АСЕЕЕ) был составлен рейтинг энергоэффективности экономик государств мира. Основными критериями для составления рейтинга являются: государственная политика в области повышения энергетической эффективности; энергоэффективность в промышленности, строительстве, транспорте. Результаты исследования АСЕЕЕ: Великобритания – 67%; Германия – 66%; Италия – 63%; Япония – 62%; Франция – 60%; Австралия – 56%; Европейский союз – 56%; Китай – 56%; США – 47%; Бразилия – 41%; Канада – 37%; Россия – 36%.

Анализ позитивных и негативных факторов по каждой из рассмотренных стран показал высокий уровень энергопотребления в жилом секторе по сравнению рассмотренными странами; для коммерческих помещений – «умеренно высокий» [1].

Ежегодно при подготовке к зимнему периоду в России сетевые компании затрачивают колоссальные суммы: «Сформировано более 19 тысяч бригад для случаев аварийно-восстановительных работ общей численностью более 120 тысяч человек. Мобильные подразделения находятся в круглосуточной готовности, оснащены соответствующей техникой – это более 40 тыс. единиц. Комплектность аварийного запаса оборудования и материалов составляет 100%. Обеспечена готовность к применению более 5 тыс. резервных источников энергоснабжения общей мощностью порядка 750 МВт» [2].

Внедрение *Smart Grid* позволило бы сократить расходы, обеспечить бесперебойность работы сетей и уменьшить количество аварий.

В настоящее время состояние электроэнергетики России характеризуется следующими факторами:

- установилась тенденция к увеличению спроса на электроэнергию на фоне усиливающегося стремления к энергосбережению;
- возросла плотность суточного и годового графиков нагрузки элементов системы, вследствие чего имеет место напряжённый режим работы оборудования;

- в структуре энергообъединений узлы становятся всё более жёстко электрически связанными, что приводит к росту токов коротких замыканий;
- в структуре ЭЭС содержится значительная доля оборудования и аппаратуры с большим сроком эксплуатации;
- работа операторов системы стала более напряжённой вследствие сокращения времени, отводимого на решение непредвиденных ситуаций;
- возросла значимость компьютеризации процессов управления в функционировании ЭЭС;
- многократно возросли информационные потоки технологической и управленческой направленности;
- наблюдается тенденция к росту числа аварийных ситуаций на энергообъектах с вероятностью их перерастания в крупные системные аварии.

Отмеченные факторы и другие изменения в состоянии электроэнергетики России катализировали этап развития, в ходе которого речь идёт о создании энергосистем с активно-адаптивной сетью – технических систем, отличающихся насыщенностью большим числом датчиков систем сбора, элементов передачи и обработки информации о состоянии оборудования, наличием исполнительных органов, системы управления в реальном масштабе времени, системы оценки текущей и прогнозирования будущей ситуации, быстроедействием управляющей системы и информационного обмена [3].

В настоящее время для мониторинга состояния ВЛ разработаны стационарные приборы, устанавливаемые на линии электропередачи [4-9]. У данных приборов имеются недостатки, например, применение механических методов, что ограничивает объём информации о состоянии ВЛ, функциональные возможности данных устройств не подлежат изменению, закрыт информационный канал, дороговизна.

Таким образом, в настоящее время наблюдается острая необходимость усовершенствования технологий в области энергосбережения и видны преимущества построения интеллектуальной ВЛ на базе модульных устройств, у которых в любое время модуль сбора информации может быть заменён на другой, в зависимости от задач мониторинга, а неизменный модуль связи, может быть использован в качестве инфраструктуры для передачи информации.

Интеллектуальная сеть мониторинга состояния ВЛЭП на базе модульных устройств

Для решения описанных проблем предлагается создать интеллектуальную сеть мониторинга состояния воздушных линий электропередачи, базирующейся на модульных устройствах с различным набором диагностических модулей (модуль системы глобального позиционирования, модуль измерения частичных разрядов, модуль определения стрелы провиса, модуль высокочастотного зондирования ВЛ, модуль определения КЗ и обрывов, модуль определения параметров окружающей среды, модуль определения температуры провода) (рис.1).

Устройство устанавливается непосредственно на провод ВЛЭП и позволит заменить бригады линейного персонала, созданные для осмотра ВЛЭП [10,11]. Кроме того, функциональные возможности данных приборов расширяются за счёт их универсальной основы (информационный модуль), что позволит использовать её для организации информационного канала связи передачи данных и создать на ВЛ инфраструктуру для внедрения интеллектуальных сетей.

Информационный модуль представляет собой микросборку беспроводной системы автоматизации процессами. Прием и передача данных осуществляется по стандарту IEEE 802.15.4 [12,13]. Основная особенность информационных модулей заключается в том, что они при малом энергопотреблении поддерживает не только простые топологии сети, но и самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую (mesh) топологию с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений [14-18]. Кроме того, существует возможность выбора алгоритма

маршрутизации в зависимости от требований приложения и состояния сети [19]. Особенности являются: способность к самоорганизации и самовосстановлению; ячеистая (mesh-) топология; защищённость, высокая помехоустойчивость; низкое энергопотребление; отсутствие необходимости получения частотного разрешения для приема и передачи.

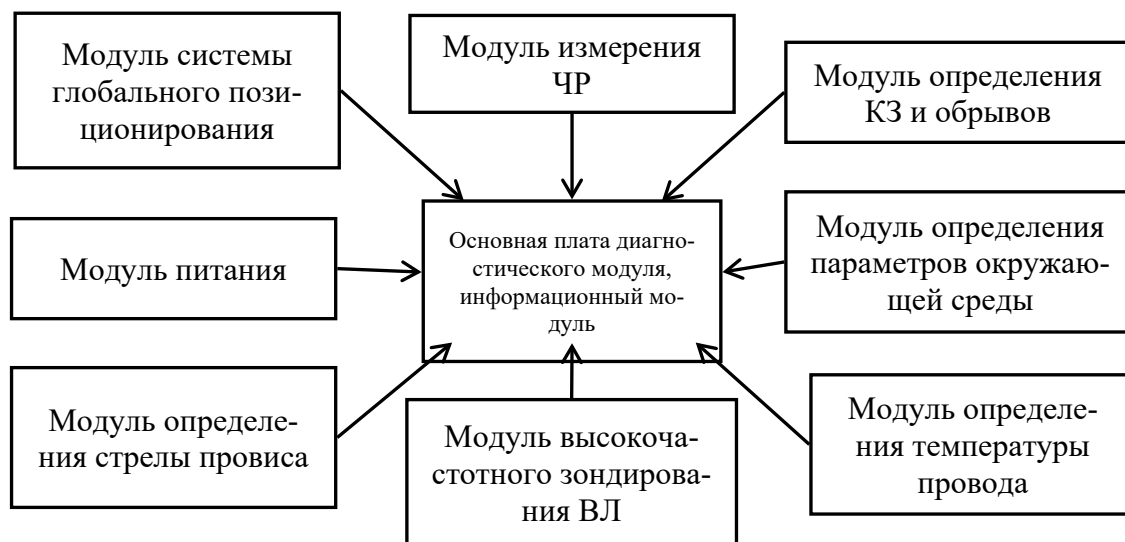


Рис. 1. Блок-схема модульного устройства

При этом топология сенсорной сети зависит от решаемых задач (на расположение датчиков на линии влияют задачи диагностирования параметров ВЛ и необходимость ретрансляции данных). Реализуется резервирование каналов связи, что подразумевает передачу данных, минуя неисправное устройство [20], не только в пределах одного фазного провода, но и через устройства на соседних фазных проводах. Модуль сбора информации может быть заменён на другой, в зависимости от задач мониторинга, а неизменный модуль связи может быть использован в качестве инфраструктуры для передачи данных. Данные с модульных устройств собираются на «облачном» сервере, где обрабатываются. Обработанные данные доступны для диспетчеризации и наблюдения посредством *web*-интерфейса.

В качестве узла сенсорной сети выступает модульное устройство (рис.2), состоящее из основной платы, на которой установлен микроконтроллер с необходимой обвязкой и модуль связи [16]. Устройство устанавливается непосредственно на фазный провод. Возможны модификации с модулем автономного питания, модулем электростатического питания – для линий 110 кВ и выше с отбором мощности от ВЛ, модулем электромагнитного питания – для линий до 110 кВ с отбором мощности от ВЛ. В первую очередь, предполагается оснащение сенсорами именно распределительных сетей напряжением 35 кВ и ниже, так как данные воздушные линии являются наименее обследованными, но при этом самыми протяжёнными. В сетях данного типа преобладают радиально-магистральные (древовидные) структуры.

При этом следует учитывать, что на изношенных воздушных линиях электропередачи наблюдается эффект перетягивания провода с одного пролета на другой (разрегулировка), что с течением времени приводит к появлению и развитию дефектов в линейной арматуре (траверсах, стяжках, сцепной арматуре, штырях, крюках и т.д.) (рис.3). В связи с этим выведена математическая модель, учитывающая разрегулировку линейной арматуры на ВЛ. Была выбрана гиперболическая модель провиса провода, в которую можно естественным образом ввести линейное температурное расширение и упругую деформацию провода [21]. На основе гиперболической модели провиса провода была разработана новая модель, учитывающая перетягивание провода через линейную арматуру. Модульное устройство конфигурируется в зави-

симости от решаемых задач: контроль гололёдообразования; контроль плавки гололёда; локализация места короткого замыкания, обрыва, удара молнии; определение электрических нагрузок на проводе или контроль нагрузки транзитных ВЛ; определение механических нагрузок на проводе; определение условий возникновения гололёдообразования. Контроль гололёдообразования осуществляется путём установки модуля определения стрелы провиса и/или модуля высокочастотного зондирования ВЛ. Стрела провиса определяется благодаря акселерометрам, передающим информацию об угле наклона датчика, устанавливаемого непосредственно на проводе. Тем больше стрела провиса, тем выше гололёдная нагрузка на данный провод. Однако, следует учитывать и перетяжку проводов между соседними пролётами. При высокочастотном зондировании осуществляется локация провода зондирующими импульсами и обеспечивается обнаружение сигналов, отраженных от неоднородностей волнового сопротивления линии. Появление гололёда на проводах линии обнаруживается по уменьшению амплитуды и увеличению запаздывания импульса, отраженного от конца линии [22].



Рис. 2. Модульное устройство

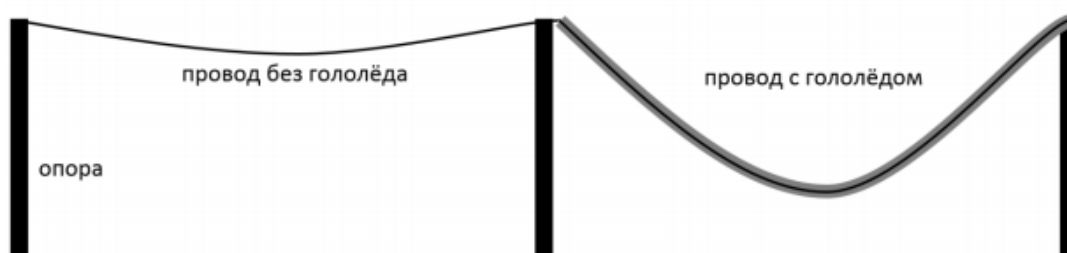


Рис. 3 Линия с перетягиванием проводом в соседних пролётах

Контроль плавки гололёда проводится благодаря использованию модуля определения температуры провода. Это позволяет избегать перегрузок провода по току, приводящих к его повреждению.

Локализация места короткого замыкания, обрыва, удара молнии реализуется путём установки датчика тока и модуля системы глобального позиционирования. Роль модуля глобального позиционирования может заменить адрес устройства диагностики, местоположение которого заранее известно. Более точная локализация будет наблюдаться, если устройства будут установлены в начале и в конце воздушной линии.

Определение электрических нагрузок на проводе или контроля нагрузки транзитных ВЛ осуществляется установкой модуля определения температуры провода. Это позволяет оптимизировать загрузку линии, учитывая текущие потери и термические воздействия на провод.

Определение механических нагрузок на проводе осуществляется благодаря модулю определения стрелы провиса. Это позволяет определять текущие испытываемые проводом механические воздействия, а также уровень износа (усталости) воздушной линии.

Определение условий возникновения гололедообразования достигается за счёт установки модуля определения параметров окружающей среды. Данный модуль включает в себя датчик температуры провода, датчик температуры воздуха, и датчик относительной влажности. Модуль позволяет выявить точку десублимации [22].

Кроме того, планируется модернизировать модульное устройство применив локационный метод, который позволит не только диагностировать состояние линии, но и изоляции: определять положение изоляции, измерять сопротивление изоляции и шлейфа). Это обеспечит полный контроль всей линии [23].

Беспроводная передача данных осуществляется при помощи модулей на основе собственного протокола «интеллектуальный провод», являющегося модификацией стандарта *IEEE 802.15.4* [24,25]. Он позволяет организовать не только недорогую, но и способную к самовосстановлению сеть (при выходе из строя одного из устройств передачи данных будет осуществляться через соседнее устройство), что повышает надёжность работы системы в целом.

Устанавливаемые на линии электропередачи устройства производят сбор предварительную обработку и накопление данных об угле провиса, температуре окружающей среды, температуре провода, влажности окружающей среды и действующем значении силы тока.

Данные с датчиков собираются на «облачном» сервере, где обрабатываются согласно разработанной модели. Обработанные данные доступны для диспетчеризации и наблюдения посредством *web*-интерфейса и/или МЭК-61850.

Реализация проекта позволит создать систему мониторинга состояния ВЛ на основе сенсорных сетей, устанавливаемых непосредственно на линии. Состояние ВЛ можно будет отслеживать в режиме реального времени, своевременно оповещая об этом соответствующие службы. Система мониторинга позволит:

- оптимизировать пропускную способность (более эффективно управлять существующих ВЛ, что особенно актуально в условиях высокой плотности нагрузки в крупных городах Республики Татарстан;
- снизить потери и минимизировать внешние воздействия на линии электропередач благодаря заблаговременному обнаружению дефектов на ВЛ и предотвращению либо скорейшему устранению аварийных ситуаций благодаря быстрой локализации места дефекта;
- информация с сенсорной сети, а также информация, обработанная математическими моделями может быть использована системой противоаварийной и режимной автоматики, а также автоматизированными системами учета электроэнергии;
- сенсорная сеть может сама являться автоматизированной системой учета электроэнергии;
- осуществлять прогнозирование состояния и загрузки ВЛ [26].

Предполагается оснащение сенсорами, в первую очередь, распределительных сетей напряжением 35 кВ и ниже, так как данные воздушные линии являются наименее обследованными, но при этом самыми протяжёнными. В сетях данного типа преобладают радиально-магистральные (древовидные) структуры.

С учётом того, что беспроводная сенсорная сеть будет состоять из устройств, устанавливаемых непосредственно на воздушных линиях электропередачи и с учётом возможности её построения по топологиям "точка-точка" и "звезда", "дерево" и "ячеистая сеть" в соответствии со стандартом *IEEE 802.15.4* следует, что сенсорная сеть будет иметь в распределительных сетях древовидную топологию [27]. Это относится как к радиально-магистральным, так и к магистральным электрическим сетям с отпайками.

Датчики автоматически организуются в сенсорную сеть с учетом топологии линии. В случае выхода одного из устройств из цепочки, предусмотрено резервирование канала связи. Конструкция модульного устройства разрабатывается таким образом, что на базовый информационный модуль может быть установлен целый набор различных диагностических модулей в зависимости от решаемых задач.

Для интеллектуальных модульных устройств на платформе LabVIEW разработано многоуровневое программное обеспечение, состоящее из программы, работающей с устанавливаемым на проводе датчиком, программы системы сбора и хранения данных, программы обработки и визуализации (рис. 4) [13].

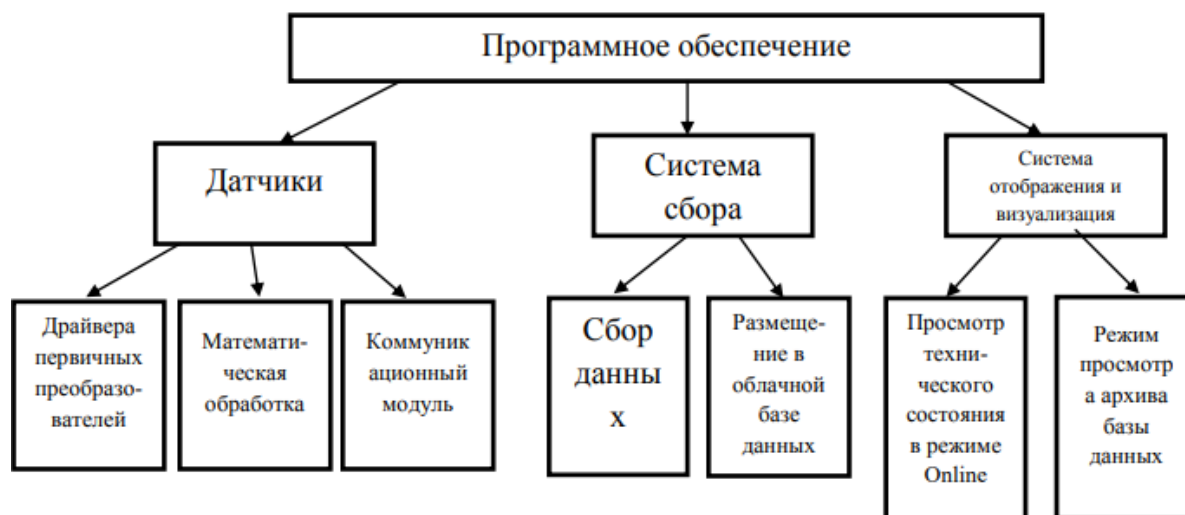


Рис. 4. Структура программного обеспечения

На лицевой панели находится интерактивная карта со схемой расположения датчиков гололеда и две вкладки: «Таблица» «Динамические характеристики датчика» (рис. 5).

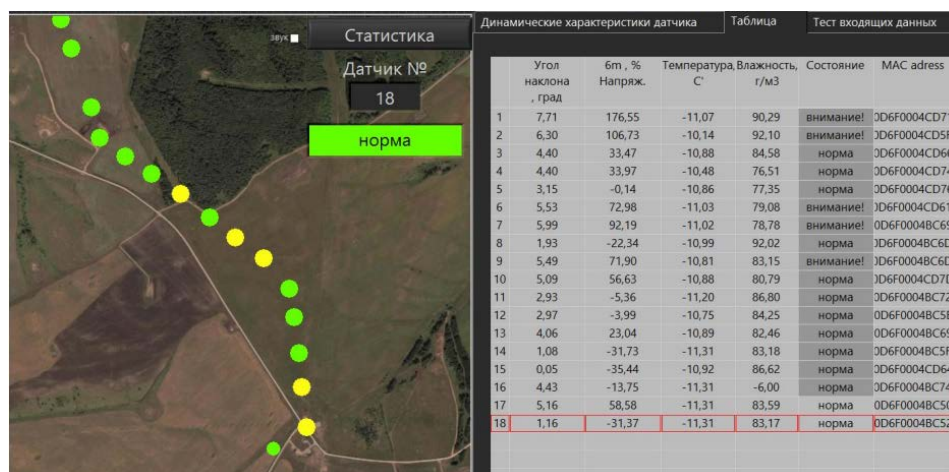


Рис. 5. Лицевая панель программы

На карте-схеме положение датчиков обозначено цветными окружностями. Цвет окружности зависит от вероятности возникновения гололеда данного датчика: зеленый – малая вероятность, желтый – вероятность имеется, красный – высокая вероятность. Оператор может выбрать датчик кликнув на его окружность. Если датчик выбран, на карте он выделяется рамкой и подписью с номером датчика.

Заключение

Реализация и построение на основе разрабатываемых модульных устройств интеллектуальной сети даёт следующие преимущества:

- более высокая скорость передачи данных по сравнению со стандартными протоколами связи (ZigBee, LoRa и т.д.), так как создаваемая сенсорная сеть уже имеет фиксированную структуру, что позволяет значительно меньше загружать информационный канал, за счёт минимизации в посылке информации о топологии и конфигурации сети устройств (реальная скорость может достигать 250 кбит/с, а не 40 кбит/с, благодаря использованию современных модулей передачи данных, работающих по стандарту *IEEE 802.15.4*);

- возможность дальнейшего развития системы ввиду открытости кода для разработчиков.

Внедрение системы оперативного мониторинга технического состояния ВЛ на основе разрабатываемого модульного устройства мониторинга состояния ВЛ позволит в кратчайшие сроки и с минимальными затратами повысить информативность линий электропередач и предотвратить значительное количество аварийных ситуаций. Это станет возможным благодаря базовому информационному модулю собственной разработки для организации канала связи, а также различным наборам диагностических модулей, позволяющих адаптировать функционал устройства под решение конкретных задач.

Исследование, разработка и внедрение элементов данной сети позволят снизить потери на ВЛ, повысить надёжность работы электросетевого хозяйства и возможные объёмы передачи мощности.

Решение данной задачи позволит сделать электроэнергетику в Российской Федерации интеллектуальной, в которой можно контролировать параметры ВЛЭП, их работоспособность, предупреждать о возможных авариях. Инновационность подхода заключается в создании единой информационной системы всей электротранспортной сферы, возможность контроля состояния сотен тысяч километров ВЛЭП из одного пункта с помощью нового модульного датчика, разработанного канала связи с увеличенной скоростью и новых алгоритмов интерпретации входных данных.

Список литературы

1. The ACEEE, International Energy Efficiency Scorecard, S. Hayes, R. Young, M. Sciortino // Report E12A [Электронный ресурс]. URL: <http://aceee.org> (5.07.2018)
2. А. Новак. Доклад на заседании Правительства «Об итогах подготовки предприятий жилищно-коммунального хозяйства и энергетики к осенне-зимнему периоду 2018–2019 годов» // [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/news/34807/> (27.06.2019).
3. С. В. Новиков, В. А. Скопинцев. Smart grid и Smart metering в России: проблемные вопросы // Мир измерений, №8, 2013, С.3-10.
4. Бударгин О. Интеллектуальные сети // Электротехнический рынок. 2010 г. №6 (36). С.62 - 66.
5. Бехтерева В. Минэнерго смотрит в перспективу // Умные измерения. –2012. №. 5. С.4 - 5.
6. Боков Г. Техническое перевооружение российских электрических сетей. Сколько это может стоить? // Новости Электротехники. 2002. №2(14). С.10-14.
7. Кукунин С. В., Лысенков Н. А. Система дистанционного управления техническими устройствами на основе технологии ZigBee // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. 2010. №. 152. С.59-64.
8. Горячев М.П., Иванов Д.А., Ярославский Д.А. / Особенности топологии беспроводной сенсорной сети для задач мониторинга воздушных линий электропередачи / Сборник докладов к XII Всероссийской открытой молодёжной научно-практической конференции «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике» / Казань, КГЭУ. 2017. С.465-469.

9. Иванов Д.А., Ярославский Д.А., Садыков М.Ф., Григорьева Н.А. / Создание платформы для "умных сетей" с использованием беспроводных технологий / Электроэнергетика глазами молодежи: материалы VIII Международной научно-технической конференции. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. Т 2. С. 359 – 360.
10. Savelyev O.G., Murataev I.A., Sadykov M.F. and Misbakhov R.S. Application of wireless data transfer facilities in overhead power lines diagnostics tasks/ (Journal of engineering and applied sciences, 2016. vol. 11(6). P. 1151-1154.)
11. Ivanov D.A., Yaroslavsky D.A., Sadykov M.F., Goryachev M.P. and Yambaeva T.G. Investigations of topological features of construction an intelligent overhead power transmission line based on wireless sensors (International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 2017. Vol. 8(12). P. 903–908.)
12. Yaroslavsky D.A., Ivanov D.A., Sadykov M.F., Goryachev M.P., Savelyev O.G., Misbakhov R.S. Real-time operating systems for wireless modules (Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol 11(6). P. 1168-1171.)
13. D.A. Ivanov, M.F. Sadykov, I.A. Murataev, D.A. Yaroslavsky, M.P. Goryachev, A.R. Gainutdinov, A.A. Naumov, R.S. Misbakhov. Development of an Automated Lighting Control System Based on Machine Vision and Wireless Communication Channels // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11 (Special Issue 1), №6. – P. 2893-2898.
14. Молоканов Д. Ю. и др. Автоматизированная информационная система контроля гололедной нагрузки на воздушных линиях электропередачи //Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2012. – №.15(102). С.54–57.
15. Otto T. et al. Integrated Microsystems for Smart Applications //Sensors and Materials. 2018. Vol. 30(4). P. 767-778.
16. Douglass D. et al. Real-time overhead transmission-line monitoring for dynamic rating //IEEE Transactions on Power Delivery. 2016. Vol. 31(3). P. 921-927.
17. Lindsey K. E., Spillane P. E., An-Chyun W. Dynamic real time transmission line monitor and method of monitoring a transmission line using the same: заяв. пат. 15725207 США. – 2018.
18. Титов Д. Е., Петренко С. А., Сошинов А. Г. Система мониторинга интенсивности гололедообразования" МИГ" для воздушных линий электропередачи //Электроэнергетика глазами молодежи. 2015. С. 598-601.
19. Ярославский Д.А., Иванов Д.А., Григорьева Н.А. Разработка беспроводного блока управления светильником и системы управления освещением на его основе // XXII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия – ТУСУР». – Томск: В-Спектр, 2017. – С. 120-122.
20. Faludi, R. Building Wireless Sensor Networks. – st.Sebastopol. O'Reilly Media, 2010 -320 p.
21. Д.А. Ярославский, М.Ф. Садыков, А.Б. Конов, Д.А. Иванов, М.П. Горячев, Ямбаева Т.Г. Методика мониторинга гололёдных отложений на проводах ВЛ с учётом разрегулировки линейной арматуры // Известия высших учебных заведений: Проблемы энергетики, выпуск 5-6, 2017г., с.89-97.
22. Иванов Д.А., Савельев О.Г., Мисбахов Р.Ш. Система мониторинга и количественного контроля гололедообразования на проводах воздушных линий электропередачи (Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи материалы IV российской молодежной научной школы-конференции: в 2 томах, Томск, ТПУ. 2016. С. 334-336.)
23. Галиева Т.Г., Иванов Д.А., Садыков М.Ф., Ярославский Д.А. Исследование методов и средств диагностики состояния линий электропередач. // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. Всерос. науч. практ. конф. Казань, КГЭУ, 20-21 марта 2019 г.

24. Панфилов Д., Соколов М. Введение в беспроводную технологию ZigBee стандарта 802.15.4. (Москва, Электронные компоненты. 2004. №12.С. 73-79.)
25. Павлюк М., Назаров А., Сахно Ю. Автоматизированный учет электроэнергии. Модули связи PLC и ZigBee. (Электроника: наука, технология, бизнес. Москва, 2014. №7(139). С. 38 - 47.)
26. Yaroslavsky D. A. et al. Methodology of ice coating monitoring on overhead transmission lines considering misalignment using wireless communication channel sensors. – 2017. Vol 12(22). P. 6479-6482.
27. Иванов Д.А., Савельев О.Г., Садыков М.Ф. Датчик системы мониторинга гололедно-ветровой нагрузки // В сборнике: Интеллектуальные энергосистемы труды IV Международного молодёжного форума: в 3 томах. Томский политехнический университет. 2016. С. 138-140.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ВОЗДУШНЫХ СЕТЯХ 0,4 кВ

В.Т. Сидорова, Е.Г. Рокина

*ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет»,
Россия, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1
E-mail: veranig@yandex.ru*

The paper describes the software for efficient compensation of reactive power in 0,4 kV air networks. Using this program, the installation points of compensating devices on the line are determined taking into account economic feasibility. In this case, the values of the voltages in the nodes of the line are taken into account, the values of the voltages, power factor and energy losses after compensation are calculated. The results of studies of asymmetry coefficients in the zero and in the reverse order of the power factor are presented.

В работе приводится описание программного обеспечения для эффективной компенсации реактивной мощности в воздушных сетях 0,4 кВ. С помощью данной программы определяются точки установки компенсирующих устройств на линии с учетом экономической целесообразности. При этом учитываются значения напряжений в узлах линии, вычисляются значения напряжений, коэффициента мощности и потерь энергии после компенсации. Приведены результаты исследований коэффициентов несимметрии по нулевой и по обратной последовательности от коэффициента мощности.

В настоящее время в России интенсивно ведется работа по разработке методов и устройств для реализации Энергетической стратегии России [1]. Главные стратегические ориентиры данной стратегии – энергетическая безопасность и энергетическая эффективность. При этом основной упор нацелен на безопасность и надежность электро- и энергоснабжения. Сетям низкого напряжения ввиду малой передаваемой мощности практически внимания не уделяется. Хотя сети низкого напряжения являются наиболее протяженными и от них получают электроэнергию коммунально-бытовые потребители, т.е. в том числе и мы с Вами. Большинство сетей низкого напряжения имеют большой процент изношенности оборудования, что так же ухудшает качество передаваемой электроэнергии и увеличивает ее потери. В данной работе представлено программное обеспечение для эффективной компенсации реактивной мощности в сетях 0,4 кВ.

Как известно из литературы (например [2]) при компенсации реактивной мощности, кроме увеличения коэффициента мощности, так же наблюдается эффект увеличения напряжения. Этот эффект особенно актуален для сетей 0,4 кВ. Поскольку воздушные сети 0,4 кВ отличаются значительной несимметрией, предлагается пофазная компенсация реактивной мощности.

Согласно алгоритму предлагаемого программного обеспечения сначала рассчитываются существующие потери активной мощности в линии [3]. Исходными данными являются: пофазные значения активной мощности в узлах линии, коэффициента мощности, фазных напряжений, активных и реактивных сопротивлений участков линии. Для упрощения ввода данных можно автоматически ввести данные образца ввода с помощью кнопки «Открыть.csv». На рисунке 1 приведен скриншот окна образца ввода исходных данных. Исходные данные также можно ввести в образец в программе Microsoft Excel. После ввода исходных данных необходимо нажать кнопку «Рассчитать». После чего выходит окно с результатом расчетов. Скриншот окна с примером результатов расчета представлен на рисунке 2. При необходимости число компенсирующих устройств можно изменить в поле «Количество компенсаторов», затем снова произвести расчет с помощью кнопки «Расчет». Чтобы сохранить результаты расчетов необходимо нажать кнопку «Сохранить». Сохраненный файл можно открыть в программе Microsoft Excel. С помощью предлагаемого программного обеспечения определяется число устройств компенсации и узлы их установки (звездочка на рисунке 2). При этом значения напряжений в узлах не будут превышать предельно допустимые значения, установленные согласно ГОСТу качества электроэнергии [4].

номер узла на линии	1	2	3	4
PA	6850	3750	3200	2870
PB	7500	4500	3300	2100
PC	5200	3500	2600	1750
cos A	0,94	0,92	0,9	0,89
cos B	0,92	0,9	0,8	0,75
cos C	0,92	0,89	0,85	0,83
UA	230	225	220	220
UB	235	230	210	210
UC	233	229	225	220
X	0,04	0,08	0,2	0,24
R	0,05	0,1	0,25	0,3

Рис. 1. Скриншот окна для ввода исходных данных.

номер узла на линии	1	2	3	4
PA	6850	3750	3200	2870
PB	7500	4500	3300	2100
PC	5200	3500	2600	1750
cos A	0,94	0,92	0,9	0,89
cos B	0,92	0,9	0,8	0,75
cos C	0,92	0,89	0,85	0,83
UA	230	225	220	220
UB	235	230	210	210
UC	233	229	225	220
X	0,04	0,08	0,2	0,24
R	0,05	0,1	0,25	0,3
До компенсации	Общие			
Потери (Вт)	602,662			
##### ШАГ 1 #####				
Выбор узла:				*
Q конденсатора (A,B,C) (ВАр)	551,945	1180,026	616,007	
C конденсатора (A,B,C) (мкФ)	36,1199	84,1324	40,2867	
cos A	0,962368	0,96326	0,954659	0,952424
cos B	0,965754	0,976214	0,930891	0,952424
cos C	0,955821	0,947833	0,933907	0,952424
новое UA (В)	230,602	225,602	220,602	220,602
новое UB (В)	236,349	231,349	211,349	211,349
новое UC (В)	233,672	229,672	225,672	220,672
Потери (Вт)	499,579			
Улучшение на	17,105 %			

Рис. 2. Скриншот окна результатов расчета.

Так же авторами работы проведены теоретические исследования зависимости коэффициентов несимметрии по обратной и нулевой последовательности от фазных значений коэффициента мощности [5]. Эти величины так же относятся к параметрам качества электроэнергии и имеют определённые предельно допустимые значения [4]. Анализ результатов данных исследований показывают, что после пофазной компенсации значения несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности могут быть уменьшены до 4 % от существующих.

Уменьшение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности, как известно, влечет уменьшение токов нулевой последовательности, протекающих в нулевом проводе. Это приводит к уменьшению потерь электроэнергии и может учитываться как дополнительный положительный вклад в уменьшение общих потерь электроэнергии при компенсации. Данные теоретические результаты планируется проверить на электрической модели линии 0,4 кВ, разработанной и созданной авторами работы [6, 7]. При необходимости будет проведена корректировка разработанного программного обеспечения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта У.М.Н.И.К. 2017, ответственный исполнитель – Елена Рокина.

Список литературы

[1] Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электронный ресурс] // Министерство энергетики РФ: сайт. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>.

- [2] И.И. Карташев, В.Н. Тульский. и др.; под ред. Ю.В. Шарова, *Управление качеством электроэнергетики*, М.: Издательский дом МЭИ (2008).
- [3] Vera Sidorova , Elena Rokina, *Contents of Proceedings of 17th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT*, May 23-25, (2018). P. 1790-1794.
- [4] ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. [Электронный ресурс]: сайт. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200104301>.
- [5] Сидорова В.Т., Рокина Е.Г., Рокина А.Г., *Электроэнергия: Передача и распределение*, №4 (55) (2019) С. 34-37. (В печати).
- [6] Рокина Е.Г., Сидорова В.Т., Карчин В.В., *Создание электрической мели линии 0,4 кВ для исследования компенсации реактивной мощности*, Электроэнергетика глазами молодежи – 2018: матер. IX Междунар. молод. науч.-техн. конф., Т. 3, Казань: КГЭУ (2018). С. 293-294.
- [7] V.T. Sidorova , E.G. Rokina *2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, IEEE, (2019): <https://ieeexplore.ieee.org/document/8742931/metrics#metrics>

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ И КОНТРОЛЯ ПОКРЫТИЙ
НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

А.М. Сипатдинов, А.В. Мороз, Е.В. Михеева

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»

(г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3)

e-mail: kozyrev-anton96@yandex.ru

Представлена автоматизированная машина трения для испытания тонкопленочных покрытий, реализующая новую методику контроля целостности покрытия и ее стойкости к истиранию. Представлены результаты испытаний прибора.

Ключевые слова: износостойкость покрытий, контроль износа, оксид алюминия (Al_2O_3), нитрид алюминия (AlN).

In this article is presented the device for testing and monitoring coatings for film resistance. An automated friction machine for testing thin-film coatings, which implements a new technique for monitoring the integrity of the coating and its abrasion resistance. The results of testing the device are presented.

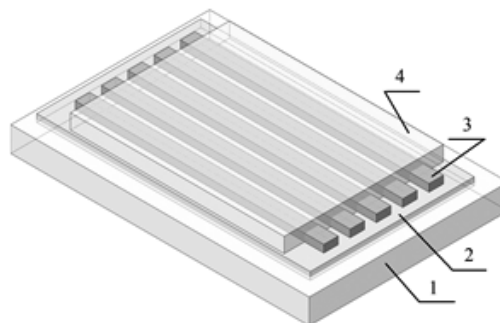
Key words: film resistance, monitoring coatings, aluminium oxide (Al_2O_3), aluminium nitride (AlN).

Контроль износостойкости тонкопленочных покрытий осуществляется с помощью трибологических испытаний. Существующие методы контроля износостойкости покрытий требуют специализированное оборудование для оценки количества истершегося материала. Имеющиеся приборы имеют сложную конструкцию, высокую стоимость, требуют дополнительное оборудование, в том числе и электронно-вычислительную машину. Более простые решения обладают низкой точностью. Следовательно, оценка защитных свойств покрытий остается актуальной проблемой и необходимо найти новое техническое решение для испытаний [1].

Цель работы заключается в разработке и изготовлении опытного образца устройства для испытаний тонкопленочных диэлектрических и высокоомных покрытий, позволяющего контролировать процесс износа.

Контроль износостойкости защитного диэлектрического покрытия происходит во время испытания на изнашивание при трении о закрепленный абразив. Проводятся испытания плоских образцов на трение и износ при постоянной скорости цилиндрического контртела по одному и тому же следу трения при постоянной нагрузке. Отличие от существующих методик контроля заключается в том, что под защитным покрытием вакуумными методами нанесены контрольные проводники (рис. 1) на диэлектрическом основании, по сопротивлению которых судится о процессе истирания защитного покрытия [2].

Рис. 1. Конструкция образца для испытаний на износ: 1 – подложка; 2 – диэлектрический слой; 3 – проводники; 4 – диэлектрический износостойкий слой.



Устройство имеет простую конструкцию (рис. 2). Состоит из электродвигателя, чашеобразного контртела, образца, тензодатчика, нагрузки, противовеса, датчика Холла и блока управления. Электродвигатель 1 позволяет с помощью чашеобразного контртела 2 производить износ покрытия. Тензодатчик информирует об оказываемой нагрузке. Нагрузка 5 и противовес 6 обеспечивают необходимые параметры нагрузки для испытания. Датчика Холла 3 служит для регистрации числа полных оборотов контртела. Блок управления 9 позволяет управлять процессом испытания.

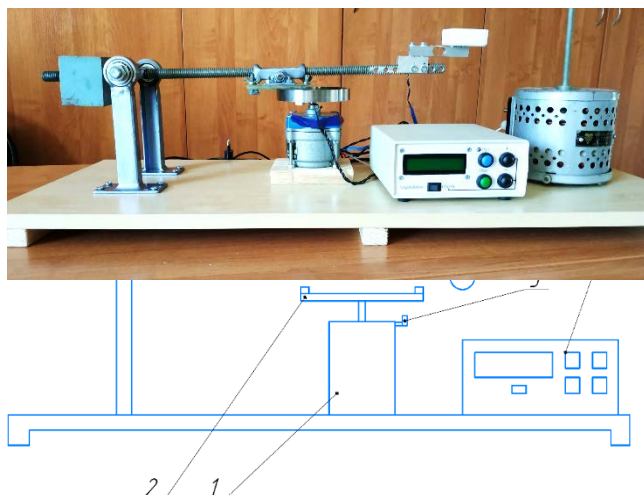


Рис. 2. Внешний вид и эскиз устройства для испытаний на износ: 1 – электродвигатель; 2 – контртело; 3 – датчик Холла; 4 – рычаг; 5 – нагрузка; 6 – противовес; 7 – образец; 8 – тензодатчик; 9 – блок управления.

С помощью блока управления можно устанавливать режим работы: режим сопротивления и режим оборотов. В режиме сопротивления производится измерение сопротивления проводников под защитным слоем. Превышение заданного значения сопротивления приводит к автоматической остановке испытания. В режиме оборотов наблюдателем задается необходимое количество оборотов, после окончания которых испытания также прекращаются автоматически. Конструкция устройства выполнена таким образом, что с легкостью обеспечивается параллельность соприкосновения образца с поверхностью контртела.

Проведены испытания покрытий для практического доказательства работоспособности методики контроля износа покрытия и разработанного устройства.

Все испытания были проведены согласно ГОСТ 30480-97 Обеспечение износостойкости изделий [3]. Износ проводился с относительным скольжением контробразца и образца со скоростью 2 – 5,5 мм/с при нагрузке 0,5 – 1,0 Н.

При проведении испытания измерялось сопротивление проводника под защитным покрытием. Увеличение величины сопротивления проводника в два раза означает достаточный износ защитного покрытия и сигнализирует об остановке испытания и замене образца.

На рисунках 3 и 4 изображены снимки образца с покрытием оксида алюминия (Al_2O_3) и проводником из хрома (Cr) до и после испытаний на износ. Полученные данные по испытаниям приведены в таблице 1.

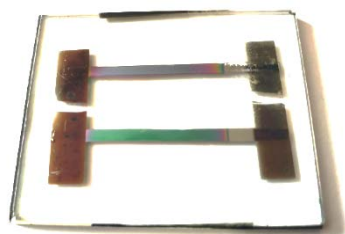


Рис. 3. Образец с покрытием Al_2O_3 до износа

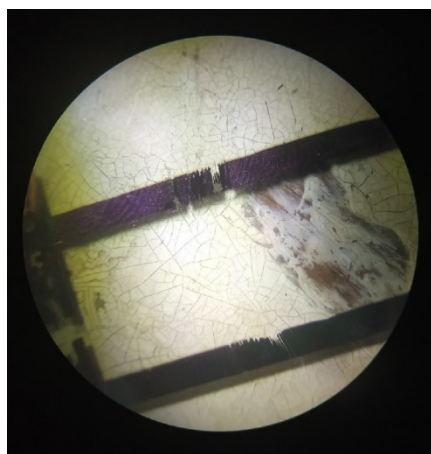


Рис. 4. Снимок образца с покрытием Al_2O_3 под микроскопом

Как видно на рис. 4, проводник из хрома под защитным покрытием оксида алюминия толщиной 500 нм износилось полностью. То есть произошел обрыв в данном проводнике. Это означает, что защитное покрытие тоже износилось. Сопротивление проводника под защитным покрытием до износа составляло 1 кОм. Во время испытания сопротивление проводника увеличивалось до 4 кОм. Увеличение величины сопротивления даже в два раза означает, что защитное покрытие уже износилось. Обрыв проводника привело к автоматическому прекращению испытаний на износ.

Следовательно, разработанное устройство полностью реализует методику контроля износа покрытий.

Таблица 1

Результаты испытаний покрытий на износ в режиме контроля износа покрытия

Материал	Толщина покрытия	Время износа	Количество циклов истирания	Нагрузка	Частота оборотов
Al ₂ O ₃	500 нм	40 мин	720	100 г	18 об/мин

На рис. 5 изображена фотография подложки из нержавеющей стали с покрытием нитрида титана алюминия (TiAlN) после износа. Данный образец не имел специально нанесенный проводник под защитным покрытием и был испытан в режиме подсчета оборотов. Полученные данные по испытаниям приведены в таблице 3. На фотографии заметно, что траектория износа имеет обрыв. Причиной этому является неровность поверхности подложки.

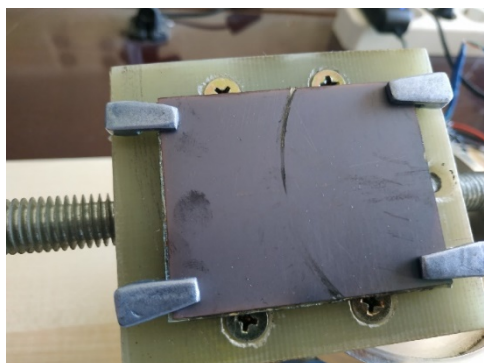


Рис. 5. Образец с покрытием TiAlN

Таблица 2

Результаты испытаний покрытий на износ в режиме подсчета оборотов

Материал	Толщина покрытия	Время износа	Количество циклов истирания	Нагрузка	Частота оборотов
TiAlN	2 мкм	33 мин	600	100 г	18 об/мин

Образцы с нанесенными проводниками под защитное покрытие были испытаны на износ в режиме контроля износа покрытия, а обычные образцы с покрытиями в режиме подсчета количества оборотов. Из полученных результатов видно, что разработанный прибор полностью реализует раннее разработанную методику контроля износа покрытий. Все испытания проводились в автоматическом режиме.

Результаты показали, что при нагрузке 100 г, частоте оборотов 18 об/мин покрытие с оксидом алюминия с толщиной 500 нм истерлось за 40 мин испытания. За это время было проведено 720 циклов истирания. Сопротивление проводника в процессе испытания увеличилось от 1 кОм до 4 кОм. Увеличение величины сопротивления вдвое уже сигнализирует о том, что диск-контртело уже начинает подходить близко к поверхности самой подложки. Качество покрытия имеет не высокий показатель. Для наилучшего качества покрытия необходимо изменить некоторые параметры при получении покрытий.

Список литературы

1. Сипатдинов, А.М. Устройство для реализации новой методики контроля износа покрытий / А.М. Сипатдинов, // Новые горизонты: сб. статей – Брянск, 2019. – с 419 – 422.
2. Сипатдинов, А.М. Методика контроля износа покрытий и установка для ее реализации / А.М. Сипатдинов, А.Д. Семикин, А.В. Мороз // Наука и инновации: сб. статей – Йошкар-Ола, 2018. – с 73-75.
3. ГОСТ 30480 – 97 Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. Общие требования. Введ. 01.07.1998. – Москва: Изд-во стандартов, 1998. – 10 с.

УДК 662.6/.9

СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

А.С. Грачев

ФГБОУВО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола

E-mail: asgrachev.51@yandex.ru.

Светодиодные источники света относятся к полупроводниковым приборам с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Это является причиной возникновения нелинейных переходных процессов, особенно в момент подачи питания. Возникающие большие пусковые токи отрицательно сказываются на всех показателях и характеристиках светодиодных ламп, на работе разных типов драйверов, ШИМов, контроллеров, микросхем и т.д.

В статье предлагается включать ШИМ для светодиодных ламп поэтапно, на разные начальные частоты, воспользовавшись теорией подобия в физике и электроэнергетике.

Список литературы

1. Цветков Д. Новый регулируемый DC/DC-преобразователь для питания мощных светодиодов. Современная Электроника. 2008. № 9.
2. Давиденгю Ю. Микросхемы электропитания светодиодов. Современная Электроника. 2004. № 2.
3. Денг К. Сравнение емкостных и индуктивных преобразователей постоянного тока. Электронные компоненты. 2007. №8.
4. Иоффе Д. Разработка импульсного напряжения с топологией SEPIC. Компоненты и технологии. 2006. № 9.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СРЕДЫ ОКРУЖЕНИЯ НА ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА 4-АЗА-4-АРИЛ-1-ГИДРОКСИМЕТИЛ-10-ОКСА-3,5-ДИОКСОТРИЦИКЛО[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]ДЕЦ-8-ЕНОВЮ.Н. Митрасов¹, В.А. Козлов², А.А. Авруйская¹, О.Б. Медякова¹, О.В. Кондратьева³

¹Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева,
428000, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 38
E-mail: mitrasov_un@mail.ru

²Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
428015, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр-т, 15

³ Чувашский республиканский институт образования,
428001, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, пр. М. Горького, 5

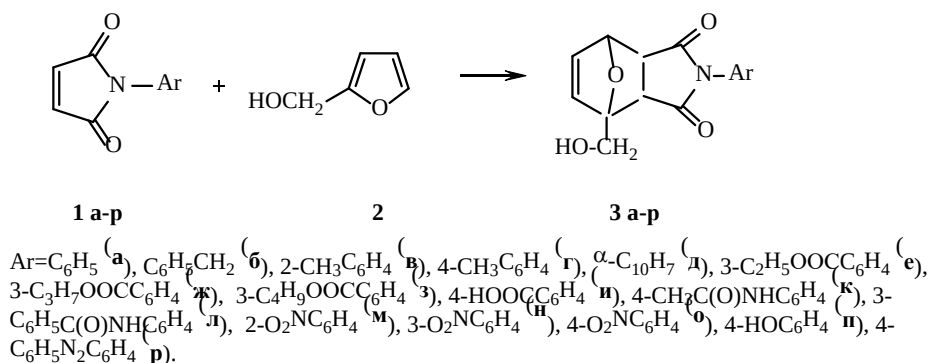
Исследованы устойчивость новых флуорофоров, 4-аза-4-арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-енов, к нагреванию, действию влаги и агрессивных сред, а также влияние среды окружения на их флуоресцентные свойства. Показано, что они являются устойчивыми к действию влаги, разбавленных растворов соляной кислоты и хлорида натрия в интервале температур от 20 до 40°C, а при 80°C и при действии водных растворов гидроксида натрия они подвергаются гидролизу. Выявлено, что для композиций, синтезированных флуорофоров на основе нитроцеллюлозы и эпоксидной смолы наблюдается явление вызванной флуоресценции в фиолетовой, синей, голубой и желто-зеленой областях спектра.

Ключевые слова: флуоресценция, флуорофоры, малеинимид, диеновый синтез, аддукт, фурфуроловый спирт, токсичность, влажность, агрессивная среда, нагревание.

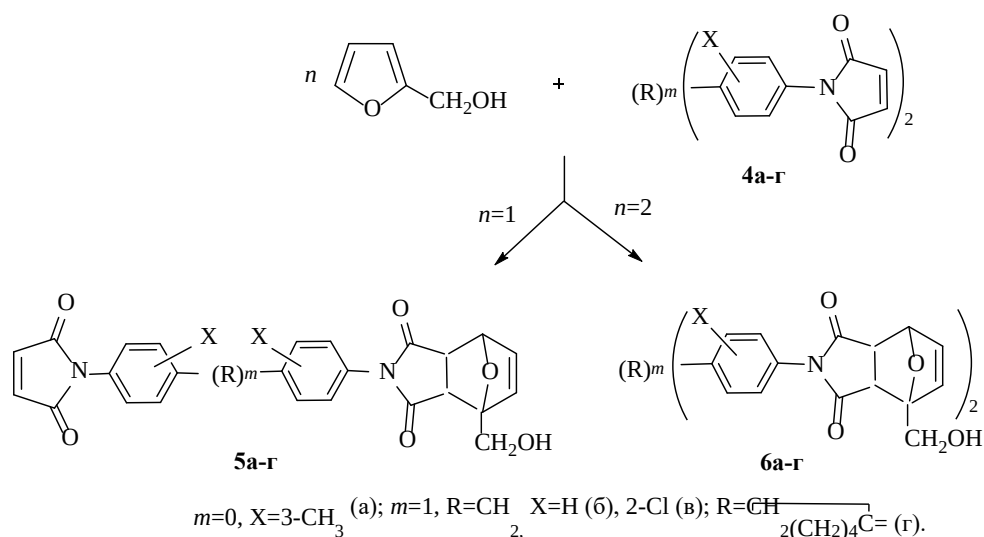
The stability of new fluorophores, 4-aza-4-aryl-1-hydroxymethyl-10-oxa-3,5-dioxotricyclo [5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]dec-8-enes, to heat, moisture and corrosive media, as well as the influence of the environment on their fluorescent properties. It is shown that they are resistant to moisture, dilute solutions of hydrochloric acid and sodium chloride in the temperature range from 20 to 40°C, and at 80°C and under the action of aqueous solutions of sodium hydroxide, they undergo hydrolysis. It was found that for compositions synthesized from nitrocellulose fluorophores and epoxy resin, the phenomenon of induced fluorescence is observed in the violet, blue, blue and yellow-green regions of the spectrum.

Keywords: fluorescence, fluorophores, maleimide, diene synthesis, adduct, furfuryl alcohol, toxicity, humidity, aggressive environment, heating.

1. Введение. Одной из фундаментальных физических характеристик веществ является способность к флуоресценции. Органические соединения, обладающие флуоресценцией, находят широкое практическое применение в различных отраслях народного хозяйства, науки и техники. Лазерные красители в материалах оптоэлектроники и специальной технике, оптические отбеливатели в текстильном производстве, флуорохромные метки в медико-биологических цитологических исследованиях, в том числе селективных к каким-либо биологическим мишеням – вот лишь некоторые области их использования [1]. Интерес к таким органическим соединениям обусловлен также возможностью использования их в технике как световых маркеров, не потребляющих электроэнергию. В связи с этим разработка новых методов синтеза и изучение свойств органических соединений, а также систем, способных к флуоресценции, является актуальной проблемой. К флуоресценции способны органические вещества, как правило содержащие систему сопряженных π -связей. Ранее нами был разработан метод синтеза 4-аза-4-арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-енов (**3a-p**), основанный на реакции диенового синтеза N-арилмалеинимидов (**1a-p**) с фурфуроловым спиртом (**2**) [2-12]:



При использовании в этой реакции бисмалеинимидов (4а-г) в зависимости от мольного соотношения реагентов были получены моно- или бисаддукты диенового синтеза (5а-г, 6а-г) [13-15]:



Было установлено, что для соединений (3а-р, 5а-г, 6а-г) наблюдается явление вызванной фотофлуоресценция в желто-зеленой области спектра [16-20], поэтому они являются перспективными соединениями – флуорофорами – для разработки на их основе светотехнических устройств. В дальнейшем было показано, что они относятся к III классу токсичности – умеренно опасные [21-27]. В связи с возможностью их практического применения необходимо было изучить их устойчивость к различным температурам, влажности, воздействию агрессивных сред и влияние среды окружения на их фотоактивность.

Цель исследования. Исследовать устойчивость 4-аза-4-арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-енов к нагреванию, воздействию влаги и агрессивных сред, а также изучить влияние среды окружения на их флуоресцентные свойства.

2. Материал и методы. Исходные 4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-ен, 4-(4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-ен-4-ил)бензойная кислота были синтезированы на основе реакций диенового синтеза соответствующих N-арилмалеинимидов с фурфуриловым спиртом. Использованы ИК-спектроскопия, флуорометрия, тонкослойная хроматография.

3. Результаты исследования и их обсуждение. Синтезированные нами флуорофоры (3а-р, 5а-г, 6а-г) являются полифункциональными соединениями, которые содержат спиртовую, карбоксильную, сложноэфирную, амидную, имидную, азо- и нитрогруппы. Они являются кристаллическими веществами, устойчивыми на воздухе. При их нагревании до 100°C не

наблюдается убыли массы, не изменяется цвет кристаллов. При более высокой температуре в зависимости от строения они начинают плавиться с разложением.

Известно, что имиды карбоновых кислот исключительно устойчивы к окислению, но легко гидролизуются в кислой и щелочной средах до моноамидов дикарбоновых кислот (амидокислот). С основаниями имиды карбоновых кислот образуют соли, гидролизующиеся в воде, но устойчивые в спирте. Поэтому вначале нами была исследовано поведение синтезированных флуорофоров в водной среде. В качестве модельного соединения был использован наиболее доступный 4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-ен (**3a**). Для исследования гидролитической устойчивости нами были проведены три серии опытов. Методика проведения испытаний заключалась в выдерживании соединения **3a** в 50-и кратном избытке дистиллированной воды при 20 (опыт 1), 40 (опыт 2) и 80°C (опыт 3) в течение 72 ч при периодическом перемешивании смеси. Затем осадок отфильтровывали, промывали 3 раза дистиллированной водой и высушивали при комнатной температуре до постоянного веса. Характеристики выделенных продуктов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики 4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-ена после обработки водой при различной температуре

№ опыта	Температура, °C	Масса флуорофора, г		ИК спектр, ν , см ⁻¹			Т. пл., °C	R_f
		исходная	конечная	O–H	C=O	CN=CN		
1 ^a	20	0,100	0,060	3501, 3442	1702	3073, 1594	150-151	0,61
2	40	0,100	0,055	3501, 3460	1697	3079, 1598	150-151	0,61
3	80	0,100	0,045	–	1708	1595	–	–

Примечание. R_f соединения **3a** (*Silufol*, элюент диоксан-спирт 7:1, проявитель – пары иода) 0,61.

При проведении ТСХ образцов, выделенных после выдерживания в воде, значения их R_f совпали с R_f исходного продукта (**3a**) (опыты 1 и 2). Изучение ИК спектров показало их полную идентичность с со спектром исходного флуорофора (**3a**). Определение температуры плавления образцов, выделенных после обработки с водой, и смешанных с исходным продуктом (**3a**) проб не дало депрессии температуры. После упаривания фильтратов на паровой бане на фарфоровой чашке в первых двух опытах (20 и 40°C) нами были получены твердые остатки, которые по данным ИК спектров (табл. 1) соответствуют исходному флуорофору, т.е. он лишь частично растворяется в воде. В третьем опыте при нагревании до 80°C происходило потемнение смеси, масса осадка составила лишь 45% от исходной навески. В его ИК спектре отсутствуют характерные полосы поглощения O–H группы, что может указывать на раскрытие трициклической структуры с образованием сложной смеси продуктов гидролиза. Таким образом, на основании полученных данных можно заключить, что в интервале температур 20-40°C флуорофор **3a** не подвергается гидролизу, а при более высокой температуре (80°C) наблюдается гидролитическое разложение.

Далее было исследована устойчивость вновь синтезированных флуорофоров **3a** к действию агрессивных сред. В качестве модельных агрессивных сред нами были использованы 1%-ные водные растворы хлорида натрия (NaCl), соляной кислоты (HCl) и гидроксида натрия (NaOH). Для исследования устойчивости вновь синтезированных флуорофоров к действию указанных растворов была проведена по три серии опытов. Методика проведения испытаний была аналогичной вышеописанному. Характеристики выделенных продуктов приведены в таблицах 2, 3. Из данных табл.2 следует, что для образцов, выделенных после выдерживания в 1%-ном растворе соляной кислоты, согласно ТСХ имеют такие же значения R_f , как, и R_f исходного продукта (**3a**).

Таблица 2

Характеристики 4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-ена после обработки 1% водным раствором соляной кислоты при различных температурах

№ опыта	Температура, °C	Масса флуорофора, г		ИК спектр, ν , см ⁻¹			Т. пл., °C	R _f
		исходная	конечная	O–H	C=O	CH=CH		
1	20	0,100	0,070	3502, 3442	1703	3074, 1594	149-150	0,61
2	40	0,100	0,075	3501, 3449	1698	3079, 1597	150-151	0,60
3	80	0,100	0,030	–	1710	1596	–	–

Изучение ИК спектров показало их полную идентичность с со спектром исходного флуорофора (**3a**). Определение температуры плавления образцов, выделенных после обработки с водой, и смешанных с исходным продуктом (**3a**) проб не дало депрессии температуры. После упаривания фильтратов на паровой бане на фарфоровой чашке в первых двух опытах (20 и 40°C) нами были получены твердые остатки, которые по данным ИК спектров (табл. 2) соответствуют исходному флуорофору. В третьем опыте происходило потемнение смеси, масса осадка составила лишь 30% от исходной навески. В его ИК спектре отсутствуют характерная полоса поглощения O–H группы, что может указывать на раскрытие трициклической структуры с образованием сложной смеси продуктов гидролиза. Таким образом, на основании полученных данных можно заключить, что в интервале температур 20-40°C флуорофор **3a** практически не претерпевает изменений при действии 1% -ного раствора соляной кислоты, а при более высокой температуре (80°C) наблюдается значительное гидролитическое разложение

Таблица 3

Характеристики 4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-ена после обработки 1% водным раствором хлорида натрия при различных температурах

№ опыта	Температура, °C	Масса флуорофора, г		ИК спектр, ν , см ⁻¹			Т. пл., °C	R _f
		исходная	конечная	O–H	C=O	CH=CH		
1	20	0,100	0,099	3501, 3448	1700	3079, 1596	150-152	0,61
2	40	0,100	0,095	3502, 3447	1700	3080, 1597	150-151	0,61
3	80	0,135	0,035	–	1707	1596	–	–

Согласно табл. 3 для образцов, выделенных после выдерживания в 1%-ном растворе хлорида натрия, данные ТСХ оказались идентичными, т.е. значения их R_f совпали с R_f исходного продукта (**3a**). Изучение ИК спектров показало их полную идентичность с со спектром исходного флуорофора (**3a**). Определение температуры плавления образцов, выделенных после обработки с водой, и смешанных с исходным продуктом (**3a**) проб не дало депрессии температуры. После упаривания фильтратов на паровой бане на фарфоровой чашке в первых двух опытах (20 и 40°C) нами были получены твердые остатки, которые наряду с хлоридом натрия по данным ИК спектров (табл. 3) содержат до 10% исходного флуорофора. В третьем опыте происходило потемнение смеси, масса осадка составила лишь 35% от исходной навески. В его ИК спектре отсутствуют характерные полосы поглощения валентных колебаний O–H группы, что может указывать на раскрытие трициклической структуры с образованием смеси продуктов гидролитического разложения. Таким образом, на основании полученных данных можно заключить, что в интервале температур 20-40°C флуорофор **3a** не подвергается изменениям при действии 1%-ного раствора хлорида натрия, а при более высокой температуре (80°C) наблюдается значительное гидролитическое разложение.

При действии 1%-ного раствора гидроксида натрия на 4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-ен (**3a**) в интервале температур от 20 до 80°C наблюдается полное растворение кристаллического продукта. Последующее упаривание этих растворов на паровой бане в фарфоровой чашке привело к образованию темных масляобразных продуктов гидролитического разложения.

Поведение флуорофоров, содержащих функциональные группы, по отношению к агрессивным средам было исследовано на примере 4-(4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло[5.2.1.0^{2.6}]-дец-8-ен-4-ил)бензойной кислоты (**3и**). С этой целью нами были проведены три серии опытов. Методика проведения испытаний заключалась в выдерживании этого флуорофора при 20°C в 50-и кратном избытке дистиллированной воды (опыт 1), 1% -ных водных растворах соляной кислоты (опыт 2) и гидроксида натрия (опыт 3) в течение 72 ч при периодическом перемешивании смеси. Затем осадок отфильтровывали, промывали 3 раза дистиллированной водой и высушивали при комнатной температуре до постоянного веса. Характеристики выделенных продуктов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Характеристики 4-(4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло[5.2.1.0^{2.6}]-дец-8-ен-4-ил)-бензойной кислоты после обработки различными реагентами при 20°C

№ опыта	Реагент	Масса флуорофора, г		ИК спектр, ν , см ⁻¹			Т. пл., °C	R _f
		исходная	конечная	O–H	C=O	CH=CH		
1 ^a	Вода	0,100	0,100	3494	1704	3092, 1607	174-175	0,41
2	1% водный раствор HCl	0,100	0,070	3494	1705	3093, 1608	175	0,41
3	1% водный раствор NaOH	0,100	Растворился	–	–	–	–	–

Примечание. R_f соединения **3и** (Silufol, элюент диоксан-спирт 7:1, проявитель - пары иода) 0,41.

При проведении ТСХ образцов, выделенных после выдерживания в воде, значения их R_f совпали с R_f исходного продукта (**3и**). Изучение ИК спектров показало их полную идентичность со спектром исходного флуорофора (**3и**). Определение температуры плавления образцов, выделенных после обработки с водой, и смешанных с исходным продуктом (**3и**) проб не дало депрессии температуры. После упаривания фильтрата на паровой бане на фарфоровой чашке во втором опыте (1% HCl) нами был получен твердый остаток, который по данным ИК спектра соответствует исходному флуорофору **3и**. Следовательно при 20°C флуорофор **3и** не подвергается гидролизу, а лишь частично растворяется в 1% водном растворе соляной кислоты. В третьем опыте происходило постепенное растворение смеси и образование желтого раствора. По-видимому, при смешении компонентов протекает реакция нейтрализации и последующее раскрытие имидного кольца. Таким образом, на основании полученных данных можно заключить, что при температуре 20°C флуорофор **3и** не подвергается изменениям при действии воды и 1%-ного раствора соляной кислоты, а при действии 1%-ного раствора гидроксида натрия наблюдается полное гидролитическое разложение.

Для изучения влияния среды окружения на флуоресцентные свойства новых флуорофоров нами были использованы бесцветный лак марки C. Arley на основе нитроцеллюлозы и эпоксидный клей. Предварительно готовили 1-3% суспензии тонкорастертых флуорофоров (**3а, и**) в указанных связующих, которые затем тонким слоем наносились на стеклянную пластинку, хлопчатобумажную ткань или прозрачный пластик, и выдерживали при комнатной температуре в течение 24 ч. Полученные образцы были подвергнуты микроскопии на приборе «Люам-4». Флуориметрию осуществляли с помощью микролюминиметра ФМЭЛ-1А. Электрические параметры при всех флуоресцентных измерениях на всех замерах определялись следующими параметрами: входное напряжение 900В, сопротивление усилителя 10⁶ Ом. В насадке был установлен зонд 1,5. Для измерения использовался ФЭУ-39, показания снимались с цифрового вольтметра. На каждом препарате измеряли интенсивность флуоресценции не менее чем от 10 участков, данные усредняли. Запирающий светофильтр ЖС18, $\lambda_{\text{возбужд.}}=410$ нм, светофильтры ФС, БС, СЗС. Полученные результаты представлены на рис. Как показано на данном рисунке, флуоресцирующая активность использованных флуорофоров в полной мере сохраняется и наиболее интенсивно проявляется в фиолетовой (λ 421,

436,5 нм), синей и желто-зеленой (λ 484, 507, 523, 569 нм) областях спектра при нанесении аддукта (**3и**) на хлопчатобумажную ткань.

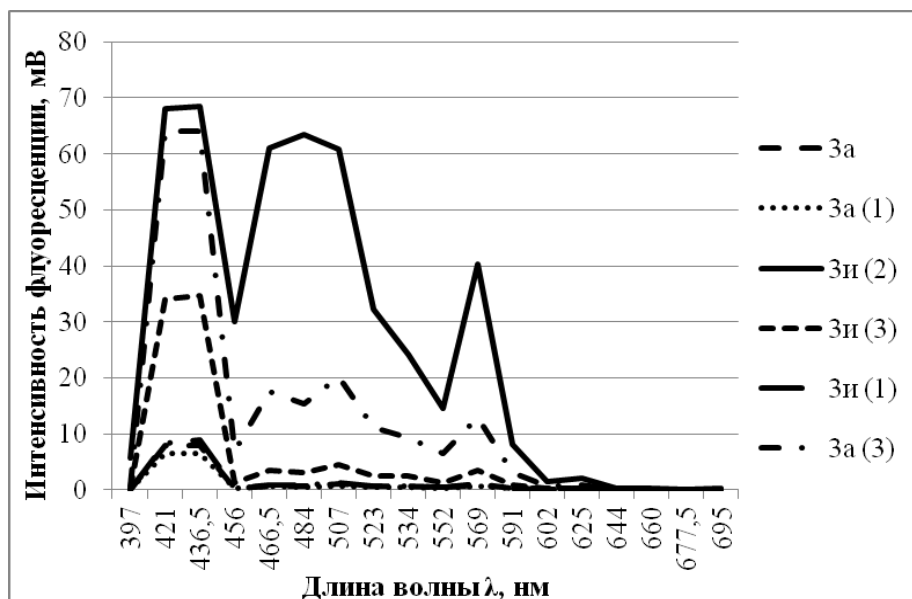


Рис. Флуоресцирующая активность соединений (**3а**) и (**3и**), нанесенных на полиэтиленовую пленку (1), хлопчатобумажную ткань (2) и стекло (3).

4. Выводы. Исследована устойчивость 4-аза-4-арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксо-трицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-енов к нагреванию, воздействию воды, агрессивных сред и влияние среды окружения на их флуоресцентные свойства. Показано, что они являются устойчивыми к действию воды, разбавленных водных растворов соляной кислоты и хлорида натрия в интервале температур от 20 до 40°C, а при 80°C и при действии водных растворов гидроксида натрия они подвергаются гидролитическому расщеплению. Показано, что для композиций синтезированных флуорофоров на основе нитроцеллюлозы и эпоксидной смолы наблюдается явление вызванной флуоресценции в фиолетовой, синей, голубой и желто-зеленой областях спектра.

Конфликт интересов – авторы подтверждают, что публикуемый ими материал не нарушает авторских и/или материальных прав третьих лиц, в том числе юридических, не являющихся авторами данной статьи.

Работа выполнена при участии фонда содействия развитию малых форм предприятий, договор №2316ГУ2/2014 вн. №0004401

Список литературы

- [1] Карнаухов В. Н. Люминесцентный спектральный анализ клетки. – М.: Наука, 1978. – 207 с.
- [2] Гордеева И.В., Кондратьева О.В., Митрасов Ю.Н., Авруйская А.А., Садикова Л.М., Полякова О.Б., Кириллова О.Е., Кочнева А.Н., Сорокина В.А., Корнеева Е.В., Колямшин О.А. Синтез N-функционализированных 2,5-дигидро-1Н-пиррол-2,5-диононов и их реакции с производными фурана // Проблемы теоретической и экспериментальной химии: тезисы докл. XXII Российской молодежной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.А. Тагер. – Екатеринбург, 2012. – С. 325-326.
- [3] Митрасов Ю.Н., Гордеева И.В., Кондратьева О.В., Авруйская А.А., Кириллова О.Е. Реакции производных 2,5-дигидро-2,5-диоксо-1Н-пиррол-1-иларенкарбоновых(-фосфоновых)

- кислот с фурфуроловым спиртом // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. – 2012, № 2-1 (74). – С. 104-107.
- [4] Митрасов Ю.Н., Кондратьева О.В., Колямшин О.А., Гордеева И.В., Полякова О.Б., Кириллова О.Е. Реакция 2-метоксиэтил(2,5-дигидро-2,5-диоксо-1-Н-пирролил-1-)бензоата с α -фурилметанолом // Современные проблемы естественнонаучных исследований : сб. науч. ст. – Чебоксары : Чуваш. гос. пед. ун-т, 2013. – С. 46–48.
- [5] Митрасов Ю.Н., Кондратьева О.В., Гордеева И.В., Полякова О.Б., Кочнева А.Н. Реакция 3-(2,5-дигидро-2,5-диоксо-1-Н-пирролил-1-)бензойной кислоты с фурфуроловым спиртом // Современные проблемы естественнонаучных исследований : сб. науч. ст. – Чебоксары : Чуваш. гос. пед. ун-т, 2013. – С. 48–50.
- [6] Митрасов Ю.Н., Авруйская А.А., Смолина И.Н. Реакции α -фурилметанола с N-(ациламинофенил)малеинимидами // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. – 2013, № 4-2 (80). – С. 120-123.
- [7] Авруйская А.А., Митрасов Ю.Н., Козлов В.А., Полякова О.Б., Иванова О.Е., Кондратьева О.В. Конденсация производных (2,5-дигидро-2,5-диоксо-1Н-пиррол-1-ил)аренкарбоновых кислот с α -фурилметанолом // Деп. ВИНТИ № 210-В2014. 23.07.2014.
- [8] Авруйская А.А., Митрасов Ю.Н., Козлов В.А., Полякова О.Б., Иванова О.Е. Синтез и свойства производных (4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрициклодец-8-ен-4-ил)-аренкарбоновых кислот // Химия и современность: сб. науч. ст. – Чебоксары: Чуваш. гос. пед. ун-т, 2014. – С. 43-45.
- [9] Митрасов Ю.Н., Авруйская А.А., Кондратьева О.В. Конденсация нитро-и аминокзамещенных фенилмалеинимидов с фурфуроловым спиртом // Журнал общей химии. – 2015. – Т. 85, № 1. – С. 82-85.
- [10] Митрасов Ю.Н., Авруйская А.А., Полякова О.Б., Иванова О.Е. Взаимодействие производных (2,5-дигидро-2,5-диоксо-1Н-пиррол-1-ил)бензойных кислот с α -фурилметанолом // Журнал органической химии. – 2015. – Т. 51, № 8. – С. 1206-1207.
- [11] Митрасов Ю.Н., Авруйская А.А., Кондратьева О.В., Козлов В.А. Реакции N-арил-2,5-дигидропиррол-2,5-дионов с α -фурилметанолом // Бутлеровские сообщения. – 2017. – Т. 51, № 8. – С. 71-75.
- [12] Авруйская А.А., Митрасов Ю.Н., Козлов В.А. Аддукты производных фурана с N-арилмалеинимидами – новые перспективные флуорофоры // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов: Тамбов. гос. техн. ун-т, 2017. – С. 74-75.
- [13] Садикова Л.М., Митрасов Ю.Н., Авруйская А.А., Яшкильдина С.П., Козлов В.А., Кондратьева О.В. Реакции моно- и бисариленмалеинимидов с α -фурилметанолом // Деп. ВИНТИ № 223-В2014. 05.08.2014.
- [14] Митрасов Ю.Н., Яшкильдина С.П., Садикова Л.М., Авруйская А.А., Козлов В.А., Кондратьева О.В. Реакции ариленбисмалеинимидов с фурфуроловым спиртом // Научное обозрение. – 2015, № 15. – С. 226-231.
- [15] Митрасов Ю.Н., Кондратьева О.В., Яшкильдина С.П., Клямшин О.А., Козлов В.А. Реакция 4,4'-бис(2,5-дигидро-2,5-диоксо-1Н-пиррол-1-ил)-3,3'-диметоксифенилметана с 2-фурилметанолом // Бутлеровские сообщения. – 2018. – Т. 54, № 6. – С. 50-55.
- [16] Козлов В.А., Митрасов Ю.Н., Кондратьева О.В., Гордеева И.В., Полякова О.Б., Кириллова О.Е., Кочнева А.Н., Авруйская А.А., Сорокина В.А., Колямшин О.А. Фотометрия 4-аза-4-арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5,3,1^{1,7},0^{2,6}]дец-8-енов // Материалы Седьмой международной научной школы "Наука и инновации – 2012" ISS "SI-2012". – Йошкар-Ола: Марийский институт образования, 2012. – С. 232-235.
- [17] Авруйская А.А., Полякова О.Б., Сорокина В.А., Гордеева И.В., Кондратьева О.В. Фотофлуоресценция аддуктов N-арилмалеинимидов с фурфуроловым спиртом // Студент и науч-

но-технический прогресс: материалы 51-й Междунар. науч. студен. конф. – Новосибирск : Новосиб. гос. ун-т, 2013. – С. 30.

[18] Кириллова О. Е., О. Б. Полякова, А. Н. Кочнева, И. В. Гордеева, О. В. Кондратьева, Ю. Н. Митрасов, В. А. Козлов. Фотофлуоресценция аддуктов производных 2,5-дигидро-2,5-диоксо-1Н-пиррол-1-иларенкарбоновых кислот с фурфуроловым спиртом // Проблемы теоретической и экспериментальной химии: тез. докл. XXIII Рос. молодежной науч. конф. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. – С. 413–414.

[19] Козлов В.А., Митрасов Ю.Н., Авруйская А.А., Садикова Л.М., Яшкильдина С.П. Флуоресцирующая активность моно- и бисариленамаленимидов // Материалы Девятой международной научной школы "Наука и инновации - 2014" ISS "SI-2014". – Йошкар-Ола, 2014. – С. 185-188.

[20] Садикова Л.М., Митрасов Ю.Н., Козлов В.А., Яшкильдина С.П., Полякова О.Б. Синтез и спектральные характеристики аддуктов α -фурилметанола с бисмаленимидами // Химия и современность: сб. науч. ст. – Чебоксары: Чуваш. гос. пед. ун-т, 2014. – С. 40-43.

[21] Козлов В.А., Митрасов Ю.Н., Кондратьева О.В., Гордеева И.В., Полякова О.Б., Груздев С.Е., Федорова М.Л., Борзова А.А. Острая токсичность аддукта N-фенилмаленимида с 2-фурилметанолом // Современные проблемы естественнонаучных исследований: сб. науч. ст. – Чебоксары: Чуваш. гос. пед. ун-т, 2013. – С. 50–52.

[22] Козлов В.А., Авруйская А.А., Митрасов Ю.Н., Кондратьева О.В., Полякова О.Б., Кириллова О.Е. Биологическая активность аддуктов N-арилмаленимидов с α -фурилметанолом // Актуальные вопросы фармацевтики и фармацевтического образования в России: сб. материалов Всероссийской конференции с международным участием. – Чебоксары, Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. – С. 9.

[23] Козлов В.А., Митрасов Ю.Н., Кондратьева О.В., Гордеева И.В., Полякова О.Б., Груздев С.Е., Федорова М.Л., Борзова А.А. Острая токсичность 4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-ена // Материалы Восьмой Международной научной школы «Наука и инновации – 2013» ISS «SI-2013». – Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. – С. 264–265.

[24] Авруйская А.А., Козлов В.А., Митрасов Ю.Н., Кондратьева О.В., Полякова О.Б., Кириллова О.Е., Груздев С.Е. Острая токсичность производных (4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-ен-4-ил)бензойной кислоты // Современные проблемы химической науки и фармации: сб. материалов Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию со дня рождения В. А. Кухтина. – Чебоксары: ООО Издательский дом Пегас, 2014. – С.126.

[25] Авруйская А.А., Козлов В.А., Митрасов Ю.Н., Полякова О.Б., Кочнева А.Н., Кондратьева О. В., Груздев С.Е., Илларионова К.В. Синтез и острая токсичность 4-(4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-ен-4-ил)бензойной кислоты // Проблемы теоретической и экспериментальной химии: тез. докл. XXIV Рос. молодежной науч. конф. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – С. 319–320.

[26] Авруйская А.А., Козлов В.А., Митрасов Ю.Н., Полякова О.Б., Кочнева А.Н., Кондратьева О.В., Груздев С.Е., Илларионова К.В. Синтез и острая токсичность этил-3-(4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-ен-4-ил)бензоата // Проблемы теоретической и экспериментальной химии: тез. докл. XXIV Рос. молодежной науч. конф. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – С. 321–322.

[27] Козлов В.А., Митрасов Ю.Н., Авруйская А.А., Полякова О.Б., Кондратьева О.В. Исследование острой токсичности производных m- и n-(4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5.2.1^{1.7}.0^{2.6}]дец-8-ен-4-ил)бензойных кислот // Материалы Девятой международной научной школы "Наука и инновации - 2014" ISS "SI-2014". – Йошкар-Ола, 2014. – С. 183-185.

ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ИННОВАЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ**КЛАССИФИКАЦИЯ ПОСТКОЛЭКТОМИЧЕСКИХ СИНДРОМОВ****В.Е. Волков**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия

Приведена классификация постколэктомических синдромов, позволяющая идентифицировать различные по тяжести патологические синдромы и выбрать соответствующую лечебную тактику.

Ключевые слова: классификация постколэктомических синдромов.

Болезни толстой кишки занимают одно из ведущих мест среди патологий органов пищеварительной системы, представляя одну из наиболее важных медицинских проблем. Прежде всего, большинство колопроктологической патологии отличается широкой распространенностью, встречаясь как у лиц молодого и зрелого возраста, так и у лиц пожилого и старческого возраста. Данная патология поражает преимущественно наиболее трудоспособную часть населения. Спектр колопроктологических заболеваний настолько широк, что трудно поддается учету, включая, прежде всего, тяжелую онкологическую патологию (рак), язвенные колиты различной этиологии, дивертикулы, завороты сигмовидной кишки (реже слепой кишки), болезнь Крона, парапроктиты, геморрой и многие другие заболевания.

Большинство колопроктологических заболеваний требуют хирургического лечения. Многие из оперативных вмешательств на толстой кишке отличаются большой травматичностью, частым развитием в раннем послеоперационном периоде тяжелых и опасных осложнений [1,2] и др.

Несмотря на успехи современной хирургии, тотальная и субтотальная колэктомия до настоящего времени, остаются наиболее тяжелыми и травматичными вмешательствами в абдоминальной хирургии. Почти каждая такая операция, особенно комбинированная, таит опасность развития различных по тяжести послеоперационных осложнений (гнойный перитонит, сепсис, острая полиорганная недостаточность и др.). Что же касается отдаленных последствий обширных резекций толстой кишки, то они до сих пор представлены в литературе единичными исследованиями, что подтверждается отсутствием единой классификации постколэктомических синдромов, частой подменой в клинической практике различных ведущих синдромов после резекции толстой кишки собирательными терминами, как «состояние после резекции толстого кишечника», «состояние после колэктомии», «синдром анемии» и др. О сложности проблемы постколэктомических синдромов и ее актуальности можно судить хотя бы по отсутствию объективных данных о частоте того или иного патологического синдрома при различных по объему резекций толстого кишечника. Большое число нетрудоспособных в связи с удалением толстого кишечника, нередко с удалением или резекцией соседних органов придает данной патологии не только медицинское, но и важное социальное значение.

Разработанная нами классификация постколэктомических синдромов приведена в таблице.

Таблица

Классификация постколэктомических синдромов

1. Гематологические расстройства (анемия);
2. Дефицит массы тела (истощение);
3. Синдромы, связанные с нарушением функциональной деятельности органов пищеварения (синдром мальабсорбции, нарушение функциональной деятельности поджелудочной железы, печени);

4. Диарея;
5. Метаболические расстройства (авитаминоз К, уменьшение количества общего белка в плазме, гипопротеинемия, гипокалиемия, гипокальциемия и др.);
6. Рубцовый стеноз илеоректального анастомоза;
7. Рецидив рака;
8. Сочетанные синдромы.

Основой для создания указаний классификации патологических синдромов после различных по объему резекций толстой кишки явились клинические материалы, опубликованные нами в монографии «Хирургические заболевания толстой кишки» [2].

Изложенную классификацию нельзя признать исчерпывающей. По мере накопления новых фактов она будет, несомненно, совершенствоваться, но на сегодня она в определенной мере может отвечать запросам клинической практики. Данная классификация позволяет избежать той неопределенности, которая связана с большой трудностью идентификации того или иного синдрома, особенно в случаях сочетанной патологии.

Список литературы

1. *Дробни Ш.* Хирургия кишечника // Будапешт: Изд-во Академии наук, Венгрия, 1983.
2. *Волков В.Е., Волков С.В.* Хирургические заболевания толстой кишки // Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2017. – 206 с.

ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ НЕСОСТОЯТЕЛЬНОСТИ ШВОВ ДУОДЕНАЛЬНОЙ КУЛЬТИ ПОСЛЕ РЕЗЕКЦИИ ЖЕЛУДКА И ГАСТРЭКТОМИИ

В.Е. Волков, С.В. Волков

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары

Проведен ретроспективный анализ результатов герметизации дуоденальной культи у 885 больных, перенесших гастрэктомию (846 чел.) по поводу рака желудка и других заболеваний этого органа и резекцию желудка (29 чел.) по поводу язв двенадцатиперстной кишки, осложненных массивным кровотечением, пенетрацией в головку поджелудочной железы и печеночно-дуоденальную связку. Герметизация культи осуществлялась сшивающим аппаратом УО-40 и ручным способом. Несостоятельность швов дуоденальной культи отмечена у 11 (1,24%) больных. При гастрэктомии герметизацию дуоденальной культи является целесообразным использование сшивающего аппарата УО-40, а при выполнении резекций желудка по Бильрот-II предпочтение при герметизации двенадцатиперстной кишки следует отдавать ручному способу.

Ключевые слова: несостоятельность швов дуоденальной культи при гастрэктомии и резекции желудка, осложнения, лечебная тактика.

Актуальность. Несостоятельность швов двенадцатиперстной кишки – одно из наиболее частых и тяжелых осложнений после резекции желудка по Бильрот-II и тотальной гастрэктомии. Частота этого осложнения по данным разных авторов, различна. По данным В.С. Маята с соавт. (1975), из 115 больных, перенесших гастрэктомию и резекцию кардиального отдела по поводу рака желудка, частота этого осложнения составила в среднем 0,9%, М.З. Сигал и Ф.Ш. Ахметзянов (1987) из 235 гастрэктоми у больных раком желудка дегерметизацию культи двенадцатиперстной кишки наблюдали у 1 (0,4%) пациента. После резекции желудка несостоятельность швов дуоденальной культи составляет в среднем 3%, колеблясь от 0,4% до 9%. Летальность при этом осложнении составляет от 30 до 80% (Ручкин В.И., 1992; Агеев А.Ф., 2004; Волков В.Е., Волков С.В., 2012; и др.).

Несостоятельность культи двенадцатиперстной кишки наблюдается почти с одинаковой частотой при различных модификациях резекций желудка по способу Бильрот-II, не предотвращает ее и брауновский анастомоз, в том числе и после гастрэктомии. При резекции желудка по поводу рака это осложнение встречается реже и обычно является следствием нарушения техники оперативного вмешательства или пересечения двенадцатиперстной кишки в зоне раковой инфильтрации тканей. Несостоятельность швов культи двенадцатиперстной кишки занимает первое место среди причин смерти больных после резекции желудка по поводу язвенной болезни.

Несмотря на многочисленные исследования отечественных и зарубежных авторов, лечебная тактика при несостоятельности швов культи двенадцатиперстной кишки остается нерешенной. В литературе имеются единичные сообщения о частоте несостоятельности швов дуоденальной культи при атипичной ее обработке у больных с осложненной кровотечением или пенетрацией язвы двенадцатиперстной кишки. До настоящего времени не уделяется должного внимания лечебной тактике при таких тяжелых осложнениях несостоятельности швов двенадцатиперстной кишки, как распространенный гнойный перитонит, сепсис, полиорганная недостаточность и др. Как показывает клиническая практика, на нынешнем этапе развития хирургии не просматривается четкой тенденции к снижению высокой летальности вследствие несостоятельности швов дуоденальной культи у больных, перенесших резекцию желудка по Бильрот-II по поводу так называемых «трудных язв». Все это, в целом, свидетельствует об актуальности проблемы несостоятельности швов дуоденальной культи, особенно при низкорасположенных язвах двенадцатиперстной кишки, осложненных массивным кровотечением и пенетрацией в головку поджелудочной железы и печеночно-дуоденальную связку. К тому же следует учитывать тот факт, что в последнее десятилетие с целью лечения

язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки широко используется консервативный метод лечения (ингибиторы H_2 -рецепторов гистамина, блокаторы протонной помпы и др.), благодаря чему резко уменьшилось количество выполняемых резекций желудка, что повлекло утрату технического выполнения резекций желудка даже хирургами высшей категории. Это отразилось, в первую очередь, на качестве герметизации дуоденальной культи и ухудшении непосредственных результатов резекции желудка и повышении летальности вследствие несостоятельности швов культи двенадцатиперстной кишки с последующим развитием гнойного перитонита и других тяжелых послеоперационных осложнений (сепсис, острая полиорганная недостаточность и др.).

Цель исследования – изучить частоту развития несостоятельности швов культи двенадцатиперстной кишки у больных, перенесших гастрэктомию и резекцию желудка по Бильрот-II.

Материал и методы. Проведен ретроспективный анализ непосредственных результатов ушивания культи двенадцатиперстной кишки за период с 1972 г по 2015 г у 846 больных, перенесших типовые (стандартные) и комбинированные гастрэктомии и у 29 больных, перенесших резекцию желудка по Бильрот-II за период с 01.01.2009 г по 01.05.2019 г. В анализируемой группе, объединяющей 846 больных, мужчин было 518 (61,23%), женщин – 328 (38,22%). Возраст больных находился в пределах от 21 г до 84 лет, а средний возраст составлял 59,7 лет. Основную группу больных (815 человек, 96,34%) составляли пациенты, страдающие раком желудка I-III стадий. У основных 31 больного гастрэктомии были выполнены по поводу других заболеваний (диффузный полипоз желудка, осложненный злокачественным превращением и кровотечением, тотальный некроз желудка и др.).

В анализируемой группе, объединенных 29 больных, мужчин было 21 и женщин – 8. Больные были в возрасте от 28 до 86 лет. Всем больным данной группы была проведена резекция желудка по Бильрот-II по поводу язвенной болезни двенадцатиперстной кишки, осложненной массивным кровотечением и пенетрацией в головку поджелудочной железы или печеночно-дуоденальную связку. У всех больных данной группы ушивание подпривратниковой культи двенадцатиперстной кишки было произведено ручным способом (по Нисену, Юдину С.С. и др.).

У анализируемой группы, объединяющей 846 больных, у 815 (96,3%) чел. ушивание культи двенадцатиперстной кишки произведено с помощью сшивающего аппарата УО-40, а у остальных 31 (3,7%) чел. герметизация культи выполнена ручным способом по общепринятой методике. После завершения гастрэктомии или резекции желудка у всех больных к культе двенадцатиперстной кишки подвели две резиновые дренажные трубки, концы которых через одну контрапертуру в правом подреберье выводили наружу для ежедневного промывания подпеченочного пространства раствором антисептиков или антибиотиков. При развитии несостоятельности дуоденальной культи две дренажные трубки вполне обеспечивали отток того или иного количества (иногда до 700 мл и более) содержимого двенадцатиперстной кишки (желчь, панкреатический сок, кишечный сок). Адекватность дренирования подпеченочного пространства в области дуоденальной культи позволяла у большинства больных избежать выполнения релапаротомии и проводить лечение данного осложнения консервативным методом, включая выполнение в ряде случаев контрапертуры в правой подвздошной области для дренирования полости малого таза.

Результаты и их обсуждение. Наши исследования показали, что оптимальным вариантом ушивания культи двенадцатиперстной кишки является танталовый шов с помощью сшивающего аппарата УО-40 с последующим погружением культи в кисетный шов или в два полукуисетных шва с дополнительной перитонизацией с помощью узловых или Z-образных серо-серозных швов. Для наложения танталового шва аппаратом УО-40 достаточно мобилизации кишки на протяжении 2-3 см ниже привратника. Однако сшивающий аппарат УО-40 для обработки дуоденальной культи при выполнении гастрэктомии не всегда может быть приме-

нен. В частности, при значительной инфильтрации двенадцатиперстной кишки, особенно задней ее стенки, может быть прорезывание тканей с образованием дефекта по линии танталового шва. Прорезывание швов после наложения сшивающего аппарата на двенадцатиперстную кишку нами наблюдалось у 3 больных. В этих случаях ушивание культи завершено обычным ручным способом.

При использовании механического способа обработки дуоденальной культи при выполнении гастрэктомии несостоятельность швов нами наблюдалась у 2 больных. Из них у одной (0,1%) больной в возрасте 60 лет, перенесшей комбинированную гастрэктомию с резекцией абдоминального отдела пищевода и спленэктомией. Культи двенадцатиперстной кишки у этой больной, была ушита типично с помощью сшивающего аппарата УО-40 и погружением культи в кисетный шов и дополнительным наложением серо-серозных узловых швов. Причиной несостоятельности швов дуоденальной культи явился, по-видимому, развившийся острый послеоперационный панкреонекроз, вызвавший некроз тканевых структур кишки в зоне наложенных швов, что повлекло истечение по дренажу дуоденального содержимого на 15-й день после операции в объеме 30-40 мл в сутки. У больной наступил летальный исход на 18-й день после операции от распространенного фибринозно-гнойного перитонита вследствие послеоперационного панкреонекроза и множественных межкишечных абсцессов. В ухудшении состояния этой больной и прогрессировании перитонита определенную роль сыграла, безусловно, и несостоятельность швов культи двенадцатиперстной кишки. Таким образом, из 846 больных, перенесших гастрэктомию, несостоятельность швов культи двенадцатиперстной кишки наблюдалась крайне редко – у 2 (0,24%) пациентов.

До настоящего времени предложено более 100 методов герметизации культи двенадцатиперстной кишки у больных язвой двенадцатиперстной кишки, осложненной массивным кровотечением или пенетрацией в головку поджелудочной железы и печеночно-дуоденальную связку. Развитие несостоятельности швов дуоденальной культи нередко обусловлено техническими погрешностями обработки культи, ошибками выбора метода герметизации культи, нарушением кровообращения в тканях двенадцатиперстной кишки и др. Из 29 больных, у которых были установлены осложненные язвы двенадцатиперстной кишки, несостоятельность дуоденальной культи отмечена у 9 (3,1%) пациентов, из которых 5 умерло. Причиной летального исхода явился распространенный гнойный перитонит, сепсис и полиорганная недостаточность.

Диагноз несостоятельности швов двенадцатиперстной кишки нетруден и ставится на основании достаточно характерной клинической картины. В сомнительных случаях решение должно склоняться в пользу срочной релапаротомии. Чем раньше предпринято оперативное вмешательство, тем больше возможностей для спасения больного. Поскольку во время гастрэктомии или резекции желудка к культе двенадцатиперстной кишки подводятся обычно две дренажные трубки, диагноз несостоятельности швов не представляет трудности. Из дренажей на 4-9 сутки (иногда позже) или по дренажному каналу начинает выделяться в том или ином количестве дуоденальное содержимое с желчью.

При несостоятельности швов культи двенадцатиперстной кишки показано экстренное оперативное вмешательство за исключением случаев, когда к ушивающейся культе были подведены одна или две дренажные трубки, обеспечивающие надежное дренирование подпеченочного пространства, свободный отток дуоденального содержимого и отграничение зоны воспалительного процесса. Оперативное вмешательство должно быть минимально травматичным и заключаться в подведении к дуоденальной культе дополнительного дренажа, а также дренажей в поддиафрагмальное пространство, а при необходимости – в полость малого таза через контрапертуру в правой подвздошной области. Попытки повторного ушивания культи в условиях перитонита и инфицированных тканей является неоправданным из-за большой вероятности повторного расхождения швов и увеличения дефекта в культе две-

надцатиперстной кишки, особенно по задней ее стенке, может быть прорезывание тканей с образованием дефекта по линии танталового шва.

Консервативное лечение больных с дуоденальным свищом обычно включает мероприятия, направленные на подавление внешнесекреторной функции поджелудочной железы, коррекцию белкового и водно-электролитного обмена, защиту кожи брюшной стенки вокруг дренажей от повреждающего действия дуоденального содержимого. Больным запрещают прием пищи на 2-3 дня через каждые 1-2 дня с назначением парентерального питания. Более целесообразно кормление больных через зонд, проведенный в отводящую петлю под эндоскопическим контролем. Такой назоеюнальный зонд может находиться в тощей кишке до 10-20 дней. Пища, вводимая через зонд, должна быть полноценной и содержать необходимое количество белков, жиров и углеводов. Коррекция нарушений белкового и водно-электролитного баланса должна проводиться систематически с помощью внутривенных трансфузий плазмы, белковых препаратов, электролитов, введения коллоидных и кристаллоидных жидкостей. В связи с этим необходим динамический контроль за уровнем общего белка крови, электролитов, показателями кислотно-щелочного равновесия и диуреза.

Таким образом, несостоятельность швов дуоденальной культи может проявлять себя тремя путями:

- 1) содержимое двенадцатиперстной кишки постоянно выделяется через лапаротомную рану;
- 2) если во время гастрэктомии или резекции желудка в подпеченочное пространство введены дренажные трубки, то через них появляется выделение дуоденального содержимого;
- 3) содержимое двенадцатиперстной кишки скапливается под печенью или под диафрагмой в виде абсцесса, что удается выявить при проведении УЗИ и КТ.

Скопление в брюшной полости дуоденального содержимого ведет к тяжелым осложнениям: ограниченному или распространенному перитониту, поддиафрагмальному, межкишечному и тазовому абсцессам, панкреатиту, образованного тонкокишечных и толстокишечных свищей, эвентрации кишечника, внутрибрюшному кровотечению вследствие аррозии крупных сосудов, сепсису, почечной недостаточности, кахексии.

Профилактика несостоятельности швов дуоденальной культи включает широкий круг мероприятий. Среди них важнейшее значение имеют следующие факторы: своевременная коррекция в дооперационном периоде нарушений белкового обмена, водно-электролитного баланса, кислотно-щелочного равновесия, адекватное возмещение кровопотери. В случаях ненадежного ушивания культи следует использовать назоеюнальное или назодуоденальное зондирование с помощью специального зонда с введением конца его в отводящий отрезок тощей кишки или двенадцатиперстную кишку. Такое зондирование необходимо проводить в течение 5-7 суток и более после операции. К недостаткам такого метода можно отнести неблагоприятное влияние длительного зондирования на легочную вентиляцию.

Следует указать, что до настоящего времени нет абсолютно надежных способов ушивания культи двенадцатиперстной кишки. Естественно, что практический опыт хирурга, его выбор хирургической тактики, умение применить в зависимости от ситуации и характера патоморфологических изменений выбрать тот или иной метод обработки культи. Одним из оптимальных вариантов ушивания дуоденальной культи следует считать танталовый шов с помощью сшивающего аппарата УО-40 или его аналогов с последующим погружением культи в кисетный шов или два полукасетных шва с дополнительной перитонизацией с помощью узловых серо-серозных швов.

Как показали наши наблюдения, сшивающий аппарат УО-40 для обработки культи двенадцатиперстной кишки при выполнении гастрэктомии не всегда может быть применен, в частности, при значительной инфильтрации стенки кишки. У подавляющего большинства

больных с несостоятельностью швов дуоденальной культи показано комплексное консервативное лечение, которое приводит к постепенному закрытию свища. Процесс лечения дуоденального свища бывает длительным (3-4 недели и более) и требует определенного терпения со стороны больного и врача. Нередко, особенно в течение первого полугодия после операции, свищи рецидивируют, а затем вновь закрываются после консервативного лечения. Если дуоденальный свищ после длительного консервативного лечения не закрывается, а больной ослабевает и истощается, может возникнуть вопрос о показаниях к оперативному вмешательству – фистулоэнтеростомии.

Выводы:

1. В желудочной хирургии несостоятельность швов культи двенадцатиперстной кишки является одним из наиболее тяжелых послеоперационных осложнений, требующих в большинстве случаев выполнения экстренной релапаротомии с проведением широкого дренирования и санации брюшной полости.
2. Ушивание культи двенадцатиперстной кишки ручным способом и с помощью сшивающего аппарата УО-40 позволяет уменьшить частоту несостоятельности дуоденальной культи при выполнении гастрэктомии по поводу рака до 0,24%.
3. При выполнении резекции желудка по Бильрот-II ушивание дуоденальной культи у больных с низкорасположенной осложненной язвой (при так называемой «трудной язве») до настоящего времени продолжает оставаться, меткому выражению Финстерера, «ахиллесовой пятой». Выбор метода ушивания культи в значительной степени зависит от уровня квалификации хирурга и его умения находить нестандартного решения в чрезвычайной трудной ситуации.

Список литературы

1. *Агеев А.Ф.* Дуоденальная культи: учебно-методическое пособие / А.Ф. Агеев, М.А. Агеев, А.Х. Давлетшин, А.Н. Чугунов и др. // Казань-Екатеринбург, 2004. – 84 с.
2. *Волков В.Е.* Опасные послеоперационные осложнения в хирургии / В.Е. Волков, С.В. Волков // Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2012, С.193-208.
3. *Маят В.С.* Резекция желудка и гастрэктомия / В.С. Маят, Ю.М. Панцырев и др. М.: Медицина, 1975.
4. *Ручкин В.И.* Комплексная профилактика несостоятельности швов дуоденальной культи после резекции желудка. Автореф. дис... канд. мед. наук. Тюмень, 1992. – 29 с.
5. *Сигал М.З.* Гастрэктомия и резекция желудка по поводу рака / М.З. Сигал, Ф.Ш. Ахметзянов // Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1987. – 272 с.
6. *Mulholland M.M., Doherty G.M.* Complications in Surgery // Philadelphia, Baltimore, New York, 2006. – P. 385-406.

РОЛЬ ХИРУРГИЧЕСКОЙ САНАЦИИ САЛЬНИКОВОЙ СУМКИ И ЗАБРЮШИННОЙ КЛЕТЧАТКИ У БОЛЬНЫХ ОСТРЫМ НЕКРОТИЧЕСКИМ ПАНКРЕАТИТОМ

В.Е. Волков, С.В. Волков

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия

В работе представлен анализ результатов лечения 1036 больных острым панкреатитом. Значительное место уделено роли хирургической санации сальниковой сумки и забрюшинной клетчатки в двух анализируемых группах, (1-я группа – 27 чел. и 2-я группа – умершие пациенты – 18 чел.). В первой группе больных умерли 11(40,7%). Забрюшинную флегмону и гнойно-некротическую секвестрацию поджелудочной железы в области сальниковой сумки следует рассматривать как единый первичный гнойный очаг в развитии сепсиса, септического шока и полиорганной недостаточности. Профилактика указанных осложнений заключается в проведении повторных хирургических санаций сальниковой сумки и забрюшинной клетчатки.

Ключевые слова: забрюшинная флегмона, некротический панкреатит, ретроперитонеальный компартмент синдром, осложнения, хирургическая санация, летальность.

Цель работы – дать клиническую оценку роли хирургической санации сальниковой сумки и забрюшинной клетчатки у больных острым некротическим панкреатитом.

Актуальность. Исследователи в разных странах мира отмечают рост числа случаев острого панкреатита в последние годы. Почти каждое последнее десятилетие сопровождается удвоением общего количества больных данным заболеванием. В США ежегодно госпитализируется более 300000 пациентов с первичным диагнозом острого панкреатита. Данное заболевание является причиной смерти ежегодно приблизительно 3200 чел. и дополнительным фактором в развитии летального исхода еще у 4000 чел. Прямые экономические затраты при этом заболевании ежегодно превышают 2 млрд \$. При этом ежегодно в этой стране регистрируется дополнительно 32-44 случаев острого панкреатита на 100000 населения [2]. Согласно нашим данным, за период 2018 г в лечебных учреждениях Чувашской Республики от острого панкреонекроза умерло 50 чел. С 2009 г по 2018 г только в БУ БСМП г. Чебоксары находилось на стационарном лечении 1036 чел., из них умерло 49 (4,7%) пациентов. В то же время при некротических формах острого панкреатита летальность составила в среднем 32%. Среди ряда тяжелых осложнений острого панкреатита особое место, в плане практической значимости занимает, забрюшинная флегмона [2]. Несмотря на успехи современной хирургии, многие вопросы, касающиеся диагностики и лечения забрюшинной флегмоны, остаются нерешенными.

Приведенные данные свидетельствуют, несомненно, об актуальности проблемы острого панкреатита и необходимости ее дальнейшей разработки.

Материал и методы. Под нашим наблюдением находилось 27 больных с флегмоной забрюшинной клетчатки, возникшей вследствие острого некротического панкреатита. Возраст больных колеблется от 27 до 86 лет. Мужчин было 19, женщин – 8. Из 27 больных умерли 11 (40,7%) пациентов. Из анализируемой группы, объединяющей 50 умерших больных в лечебных учреждениях Чувашской Республики за 2018 г, забрюшинная флегмона отмечена у 18 (36%) пациентов. Возраст пациентов этой группы колебался от 35 до 96 лет. Мужчин было 25, женщин – 25.

Наряду с забрюшинной флегмоной у данной группы умерших пациентов на аутопсии выявлены гнойный перитонит (3 чел.), отек мозга (4 чел.), сепсис (1 чел.), инфекционно-токсический шок (3 чел.), полиорганная недостаточность (7 чел.). Все перечисленные осложнения в большинстве случаев сочетались между собой, являясь причиной фатального исхода.

Результаты и их обсуждение. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что забрюшинная флегмона является сравнительно частым и наиболее тяжелым и опасным осложнением острого некротического панкреатита. Наибольшую опасность представляют гнойные поражения забрюшинной клетчатки, особенно имеющие тенденцию к прогрессированию и распространению вплоть до малого таза и диафрагмы. Особенно часто в гнойно-воспалительный процесс вовлекается паранефральная и ретроколическая клетчатка, в связи с чем, крайне необходим визуальный осмотр указанных зон, в которых формируются гнойно-некротические массы за счет отторгнувшихся секвестров и скоплений гноя. Аналогичные изменения наблюдаются в сальниковой сумке, в которой уже в асептической фазе панкреатита образуются жидкостное скопление и различной величины секвестры за счет отторгнувшихся участков некротической ткани железы. При этом визуально в забрюшинной клетчатке отмечается отек, инфильтрация и геморрагическая имбибиция, иногда с диссеминированными очагами жирового некроза или участками некротического детрита и сформировавшихся той или иной величины абсцессов.

Постановка диагноза забрюшинной флегмоны и образовавшихся гнойных скоплений в различных отделах ретроперитонеального пространства является чрезвычайно сложной. Клинические симптомы забрюшинной флегмоны не специфичны и нередко они наслаиваются на симптомы острого панкреатита. Общие проявления инфекции у больных с флегмоной забрюшинной клетчатки отражают возникшую тяжелую интоксикацию. Это проявляется клинически температурой, ознобом, частым пульсом и другими общеизвестными симптомами гнойной интоксикации. Забрюшинная флегмона часто сопровождается развитием паралитической кишечной непроходимости. У больных при гнойном процессе в забрюшинной клетчатке наблюдается, как правило, высокий лейкоцитоз со сдвигом формулы крови влево, ускоренная СОЭ.

Информативными методами диагностики забрюшинной флегмоны и забрюшинных абсцессов являются УЗИ, компьютерная томография и ядерно-магнитный резонанс (МРТ). Что касается рентгенологического исследования, то оно в большинстве случаев не дает необходимых для клинициста сведений.

В начальной стадии больным с забрюшинной флегмоной показано консервативное лечение с применением антибиотиков широкого спектра действия. При возникновении признаков нагноения и ухудшении общего состояния больного, несмотря на проводимое комплексное лечение, возникает необходимость в выполнении хирургического вмешательства, то есть лапаротомии, вскрытии абсцессов и дренировании забрюшинного пространства. При наличии в сальниковой сумке или забрюшинной клетчатке некротических тканей и секвестров последние удаляются (некрэктомия, секвестрэктомия) и сальниковая сумка, и забрюшинное пространство дренируются.

При диффузной забрюшинной флегмоне с выраженным отеком клетчатки необходимо сделать несколько разрезов с последующим введением дренажей для ежедневного, постоянного промывания забрюшинной клетчатки растворами антибиотиков и антисептиков. Закрытый проточный ретроперитонеальный лаваж должен являться одним из важных лечебных мероприятий в комплексной терапии при флегмонах забрюшинной клетчатки и образовании гнойных затеков в различных отделах ретроперитонеального пространства у больных острым некротическим панкреатитом. К сожалению, у некоторых больных прогрессирующий гнойно-некротический процесс в забрюшинной клетчатке требует выполнения повторного оперативного вмешательства с целью удаления вновь образовавшихся секвестров и некротических тканей, а также вскрытия вновь образовавшихся гнойных затеков.

Повторные оперативные вмешательства должны завершаться широким дренированием забрюшинного пространства и проведением закрытого постоянного ретроперитонеального лаважа. Необходимость регулярного проведения хирургической санации сальниковой сумки

и забрюшинной клетчатки диктуется тем, что эта инфекционная зона становится как бы первичным гнойным очагом в развитии сепсиса и септического шока.

Прогрессирующая флегмона забрюшинной клетчатки и протекающая с нарастанием отека тканей, особенно с переходом отека и воспалительной инфекции на корень брыжейки тонкой и толстой кишки, приводит к сдавлению сосудов ретроперитонеального пространства, нарушению микроциркуляции и гипоксии тканей. Кроме того, прогрессирующая забрюшинная флегмона, создает, по нашему мнению, условия для формирования ретроперитонеального компартмент синдрома, требующего выполнения неотложной декомпрессии параренального, ретроколического пространства, а также клетчатки малого таза. У одного из наблюдаемых нами больных с некротическим панкреатитом, осложненным забрюшинной флегмоной, не была дренирована забрюшинная клетчатка малого таза, что способствовало прогрессированию сепсиса и явилось причиной летального исхода. Проведенное у данного больного типичное дренирование полости малого таза при сформировавшейся флегмоне забрюшинной клетчатки малого таза оказалось явно недостаточным для санации этого не выявленного очага инфекции. В подобной ситуации хирургическая санация гнойного очага в клетчатке малого таза должна производиться, на наш взгляд, путем образования туннеля в пресакральном пространстве и выведения концов дренажей наружу для дальнейшего промывания клетчатки малого таза антисептиками и антибиотиками.

Наряду с периодическим проведением хирургических санаций сальниковой сумки и забрюшинной клетчатки больные с указанными осложнениями нуждаются в проведении комплексной интенсивной терапии, которая должна соответствовать лечебным мероприятиям, проводимым по поводу сепсиса (внутривенное введение антибиотиков широкого спектра действия, жидкостей и др.). Прогноз у больных острым некротическим панкреатитом, осложненным забрюшинной флегмоной, в большинстве случаев остается плохим. В связи с этим исследования в этом направлении оправданы и перспективны.

Выводы:

1. Забрюшинная флегмона является тяжелым и опасным осложнением острого некротического панкреатита;
2. Прогрессирующее увеличение объема забрюшинной клетчатки на фоне ее флегмоны приводит к развитию ретроперитонеального компартмент синдрома и требует проведения неотложной декомпрессии забрюшинного пространства;
3. Флегмону забрюшинной клетчатки у больных некротическим панкреатитом следует рассматривать как первичный гнойный очаг, способствующий развитию сепсиса.

Список литературы

1. Волков В.Е., Волков С.В. Руководство по неотложной хирургической гастроэнтерологии // Чебоксары: Перфектум, 2014. – С. 146-206.
2. Lee P., Stevens T. Acute pancreatitis / [http // www.clevelandclinicmedel com / medicalpubs / disease manade...](http://www.clevelandclinicmedel.com/medicalpubs/disease-manage...) 15.08.2014 10-37.

**ВЛИЯНИЕ СЕКРЕТА МОЛЛЮСКОВ ОТРЯДА STYLOMMATORPHORA
НА СКОРОСТЬ РЕПАРАТИВНОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ КОЖИ МЫШЕЙ****О.А. Ефремова, Н.С. Иванов, П.В. Краличкин**

*¹ФГБОУ ВО Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
Чебоксары, Россия, 428000, Россия, г. Чебоксары, Московский проспект, 15
e-mail: oefremova13@rambler.ru*

Официальная медицина в последние годы наращивает обороты применения пептидов, фракционируемых из биологически активных секретов моллюсков. Однако уровень изученности спектра их активности нуждается во всесторонних подходах к исследованиям. В связи с чем, настоящая работа посвящена выявлению влияния биологически активных секретов моллюсков на индукцию процессов репаративной регенерации кожи. Нами в экспериментах на мышах определены сильные статистически значимые корреляционные взаимосвязи влияния фракционированных экстрактов на скорость репаративной регенерации кожи.

Ключевые слова: биологически активный секрет, брюхоногие моллюски, репаративная регенерация, кожа.

Official medicine in recent years has been increasing use of peptides, fractionated from biologically active secrets. However, the level of study of the spectrum of their activity requires comprehensive approaches to research. In this connection, the present work is devoted to identifying the influence of biologically active secrets of mollusks on the induction of reparative skin regeneration processes. In experiments on mice, we determined strong statistically significant correlations of the effect of fractionated extracts on the speed of reparative skin regeneration.

Keywords: biologically active secret, mollusks, reparative regeneration, skin.

1. Введение. Официальная медицина в последние годы широко наращивает обороты производства и применения пептидов, экстрагируемых из биологически активных секретов, составляющих значительную часть ассортимента зарегистрированных лекарственных веществ и их компонентов [3, 4, 5]. Однако влияние полученных экстрактов из биологически активных секретов на скорость регенерации изучено недостаточно.

Цель исследования: выявить влияние биологически-активных секретов, продуцируемых резидентами отряда Stylommatophora на индукцию процессов репаративной регенерации искусственно травмированной кожи экспериментальных мышей, для этого определить корреляционные взаимосвязи влияния фракционированных экстрактов биологически-активного секрета моллюсков отряда Stylommatophora на скорость репаративной регенерации кожи экспериментальных мышей.

2. Материал и методы исследования. Работа проведена на 30 белых беспородных мышках-самцах со средней живой массой 18 г. В каждой группе было по 10 животных. Всего было сформировано 10 групп (5 опытных и 5 контрольных).

Мышам обеих групп скарификатором в области спинки были произведены надрезы кожи длиной 10 мм параллельно ребрам с целью создания модели раневого процесса.

Фракционированный экстракт биологически-активного секрета моллюсков отряда Stylommatophora вносили в ранки цифровыми микропипетками с индивидуальными дозаторами однократно ежедневно в течение 30 суток для оценки влияния на процесс репаративной регенерации кожи.

Схема внесения препарата в ранку:

- 1 опытная группа – 100 мкл;
- 2 опытная группа – 200 мкл;
- 3 опытная группа – 300 мкл;
- 4 опытная группа – 400 мкл;
- 5 опытная группа – 500 мкл.

Каждой опытной группе соответствовала контрольная, где мышам в ранку вносили стерильный 0,9% изотонический раствор натрия хлорида в объемах, аналогичных дозам применяемого фракционированного экстракта для опытных животных.

Все манипуляции осуществлялись в условиях физической изоляции (удержания и контролируемого удаления патогенных биологических агентов) в условиях бокса биологической безопасности класса II (БМБ-II-"Ламинар-С."-1,5 NEOTERIC).

Для определения парного линейного коэффициента корреляции с целью качественной оценки явлений потенциальной индукции репаративной регенерации скарифицированной кожи экспериментальных мышей экстрактами биологически-активных секретов был применен метод К. Пирсон, Ф. Эджуорт, Р.Уэлдон. Его расчёт производили по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\Sigma(d_x \times d_y)}{\sqrt{(\Sigma d_x^2 \times \Sigma d_y^2)}}, \text{ где}$$

d_x – отклонение от средней 1-го ряда;

d_y – отклонение от средней 2-го ряда;

d_x^2 – квадрат отклонения от средней 1-го ряда;

d_y^2 – квадрат отклонения от средней 2-го ряда.

3. Результаты исследования и их обсуждение. Нами в асептических условиях бокса биологической безопасности класса II типа БМБ-II-"Ламинар-С."-1,5 NEOTERIC исследованы характеристики раневого процесса и скорость репаративной регенерации скарифицированной кожи опытной группы мышей после внесения в рану экстрагированного секрета моллюсков. Реализация ежесуточного мониторинга осуществлялась посредством оптической техники – цифрового USB-микроскопа DigiMicro и TS3 в реальном масштабе времени.

По результатам исследования коэффициент скорости репаративной регенерации кожи мышей, выраженный количеством суток, прошедших с момента нанесения скарификационной полосы до полной эпителизации рубца, составил в среднем 24 суток в контрольной группе и 18 суток в опытной группе. Кроме того, была определена корреляционная зависимость между объемом вносимого в рану изотонического раствора 0,9% натрия хлорида в контрольной группе и экстрагированным секретом моллюсков в опытной группе (табл. 1). Оценка силы корреляционной связи при участии таблицы Чеддока доказала полное отсутствие корреляционной связи между скоростью репаративной регенерации и объемом вносимого в рану изотонического раствора натрия хлорида в контрольной группе ($r_{xy}=0,025$). Значение коэффициента корреляции Пирсона в опытной группе составило 0,95, что соответствует весьма высокой тесноте связи между объемом внесенного в скарифицированную рану исследуемого экстракта секрета моллюска и скоростью репаративной регенерации кожи мышей.

Таблица 1

Корреляционный анализ влияния биологически-активного секрета брюхоногих моллюсков на скорость репаративной регенерации кожи экспериментальных мышей

Контрольная группа		Опытная группа	
Объем вносимого в рану 0,9 % раствор натрия хлорида (мкл)	Количество суток до полной эпителизации рубца кожи	Объем вносимого в рану экстрагированного секрета моллюсков (мкл)	Количество суток до полной эпителизации рубца кожи
100	24,6±0,001**	100	22,0±0,04*
200	21,3±0,05*	200	21,3±0,001**
300	26,6±0,03*	300	17,3±0,05*
400	22,6±0,01*	400	15,6±0,03*
500	25±1,4	500	14,3±0,001**
$r_{xy}=0,025$		$r_{xy}=0,951$	

Примечание: ** P ≤ 0,001; * P ≤ 0,05.

Таким образом, установлено, что экстракт биологически активного секрета резидентов отряда Stylommatophora в эксперименте ускоряют процессы репаративной регенерации кожи, посредством форсирования этапов раневого процесса, а именно интенсивность этапа дегидратации и скорости эпителизации. Ускоренная дегидратация может быть детерминирована наличием в составе фракционированных экстрактов компонентов с антимикробным действием или индукторов протеолиза. Ускорение процесса эпителизации дает основание полагать о присутствии в составе фракционированных экстрактов колониестимулирующих факторов – индукторов репаративной регенерации, перекрестно активирующих деление эпителиоцитов, таким образом, влияющих на скорость репаративной регенерации кожи [1, 2].

Выводы:

1. Выявлены сильные статистически значимые корреляционные взаимосвязи влияния фракционированных экстрактов биологически активных секретов брюхоногих моллюсков отряда Stylommatophora на скорость репаративной регенерации кожи опытной группы мышей.

Список литературы:

1. Ефремова О.А. Структурные изменения слизистой оболочки носовой полости у людей с полипозными риносинуситами / О.А. Ефремова, Л.А. Любовцева // Здоровоохранение Чувашии. 2011. № 4. С. 60-63.
2. Ефремова О.А. Иммунопозитивные клетки в слизистой оболочке носовой полости в здоровых тканях и при патологии // В сборнике: Морфология в теории и практике сборник материалов и тезисов: к 90-летию со дня рождения Д.С. Гордон. 2012. С. 192-194.
3. Патент CN № 104745555, МПК C12N9/64., опубликован 01.07.2015., LUI BING, YANG LEI
4. Патент JP №2895781, МПК A22C29/04., опубликован 15.04.1997., AKIO IKEDA
5. Патент KR №1019970042581 МПК C07H37/10., KIM YOUNG SIK, PARK YU MI, ROBERT LINHART, опубликован 14.10.198

СОСТОЯНИЕ БИОАМИНСОДЕРЖАЩИХ СТРУКТУР ДЕСНЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАННИХ ПЕРИИМПЛАНТИТОВ

Л.А. Любовцева, С.В. Мулендеев, Е.В. Любовцева,
Д.С. Мулендеев, О.В. Воробьева, М.В. Столяров

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», г. Чебоксары

Периимплантиты вызывают изменения содержания нейромедиаторов и сульфатированность гепарина. Кроме того, воспалительный процесс в виде периимплантита влияет на состояние фибробластов и тучных клеток.

Ключевые слова: катехоламины, серотонин, моноаминоксидаза, сукцинатдегидрогеназа, серотониновый индекс, ведущий нейромедиатор

Periimplantitis cause changes in the content neuroamine and sulfatirovannah of heparin. In addition, the inflammatory process in the form of peri-implantitis affects the state of fibroblasts and mast cells.

Key words: catecholamines, serotonin, monoamine oxidase, succinate dehydrogenase, serotonin index, leading neuroamine

1. Введение. В ткани десны изучаемые нами биологически активные вещества в наибольшем количестве локализуются в тучных клетках [3]. Тучные клетки быстро реагируют даже на незначительное изменение нейромедиаторов в организме, поэтому эти клетки чаще всего находятся около сосудов и нервов [9]. Количество тучных клеток в органах закономерно изменяется в ответ на изменение гомеостаза [5-7]. Они также способны контактировать с поверхностью других клеток [13]. Тучные клетки, содержащие катехоламины, серотонин, гистамин, выявлены во многих структурах кровеносных органов [1, 2, 3, 4, 9]. В доступной нам литературе мы не нашли сведений об изменении локализации нейромедиаторов в тканях десны при периимплантитах. В связи с этим возникла необходимость определения в десне человека количественного содержания нейромедиаторов, а также гепарина и МАО [2, 9, 10]

Целью настоящего исследования является изучение содержания нейромедиаторов и биогенных аминотрансформирующих веществ в биогенных структурах десны людей под влиянием ранних периимплантитов

2. Материал и методы исследования. Нами исследованы десна у 10 здоровых пациентов (контрольная группа) и десны у 20 пациентов с периимплантитом (10 женщин и 10 мужчин в возрасте от 20 до 40 лет). Биопсию маргинальной части десны проводили в утреннее время через час после приёма пищи. Исследования проводили в осеннее время года: октябре и ноябре месяцев.

1. Катехоламины и серотонин в тканях десны исследовали в свежемороженых криостатных срезах (15 мкм) люминесцентно гистохимическим методом Фалька [12].

2. Гистамин изучали при помощи метода Кросса [11].

3. Количественно концентрации катехоламинов (КА), серотонина (СТ) и гистамина в аминотрансформирующих структурах десны оценивались с помощью цитоспектрофлуориметрии. Для этого на люминесцентный микроскоп была установлена насадка ФМЭЛ-1А при выходном напряжении 900 вольт.

4. Исследование на МАО проводили по Гленнеру [8].

5. Сульфатированность (зрелость) гепарина в тучных клетках десны изучали при окраске полихромным толуидиновым синим по А.Унна.

6. Статистическую обработку материала проводили с помощью стандартного пакета программ Microsoft Office по Стьюденту.

3. Результаты исследования и их обсуждение. Десна у здоровых людей имеет многослойный плоский, частично ороговевающий эпителий и собственную пластинку слизистой, состоящую из сосочкового и сетчатого слоев (Рисунок 1).

При ранних периимплантитах (Таблица 1) содержание гистамина в эпителии десны в сравнении со здоровыми людьми резко сократилось (Таблица 2). Сосочковый слой слизистой десны был уменьшен в толщину в 1,3 раза. Сосочки эпителия особенно около зуба были выражены не везде хорошо и деформированы. В сосочковом внутреннем слое собственной пластинке слизистой, волокна иногда располагаются перпендикулярно поверхностному слою десны, а также образовывали пучки косо-продольного направления.

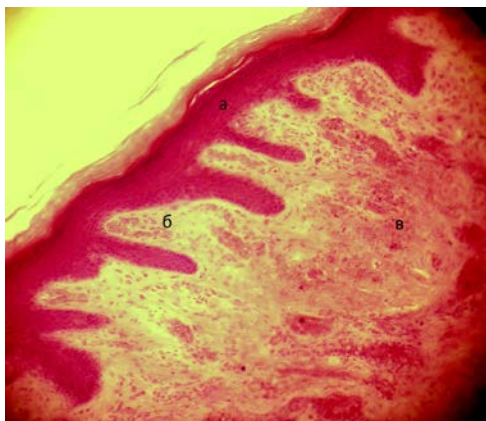


Рис. 1. Строение слизистой оболочки десны.
а) многослойный плоский ороговевающий эпителий,
б) сосочковый слой,
в) сетчатый слой.

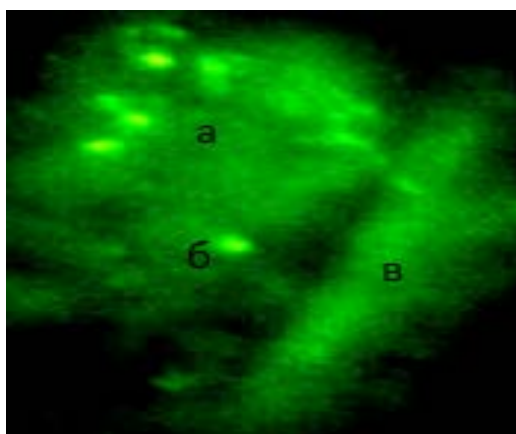


Рис. 2. Биопсия десны здорового пациента.
а) сетчатый слой. б) тучные клетки. (В) Эпителий. Метод Кросса. Микроскоп МЛ-2. Ув. 400. Г

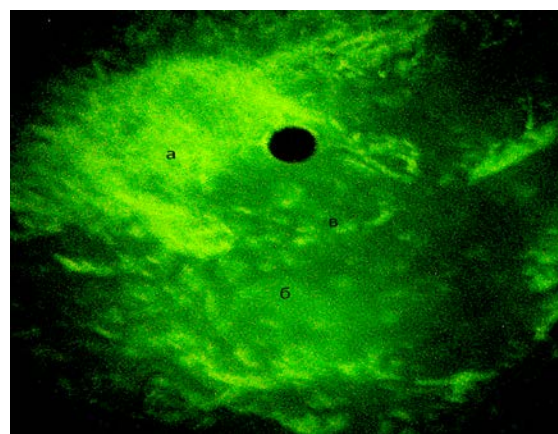


Рис. 3. Участок десны с сосочковым и сетчатым слоем в структурах десны при раннем периимплантите: а) эпителий б) сетчатый слой, в) фибробласты. Метод Фалька. Микроскоп Биолам. Ув. 400.

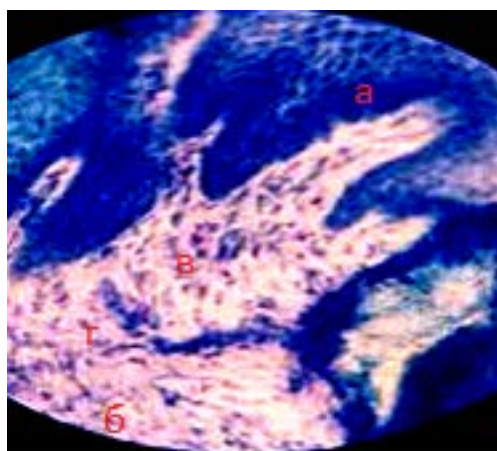


Рис. 4. Срез здоровой десны, содержащей ГАГ:
а) эпителий, б) сосочки собственной пластинки слизистой, в) тучные клетки под эпителием, г) тучные клетки в сетчатом слое. Метод А. Унна. Микроскоп Биолам. Ув. 100.

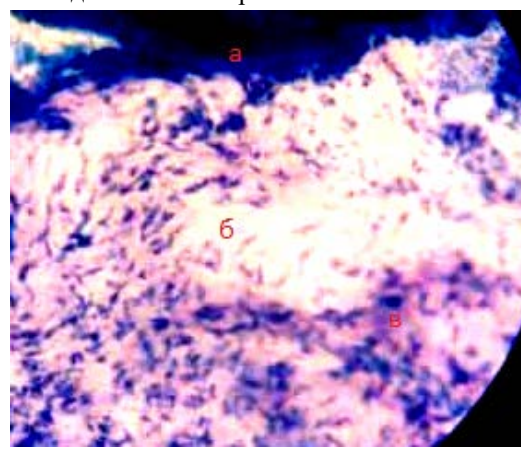


Рис. 5. Участок десны при раннем периимплантите: а) эпителий, б) кровеносные сосуды, в) γ -метахроматичные тучные клетки. Метод А. Унна. Микроскоп Биолам. Ув. 100.

Под эпителием число тучных клеток, содержащих гистамин, резко уменьшилось. Цепочка этих клеток под базальной мембраной становится прерывистой. В остальной части сосочкового слоя выявлялось большое число тучных клеток, где они располагались группами. Содержание гистамина в них было снижено почти в 2 раза. Клетки в основном были дегранулированы, гранулы располагаются около клетки. В сетчатом слое очень ярко люминесцировали эластические волокна, имеющие жёлтое свечение, так как в результате дегрануляции тучных клеток, содержание гистамина в межклеточном веществе было увеличено, эластические волокна адсорбировали это вещество. Выявлялось также большое число тучных клеток в сетчатом слое слизистой до 14,6 клеток на поле зрения при малом увеличении и до 7 – при большом. Люминесценция t. Intima лимфатических и кровеносных сосудов была не равномерной из-за разного содержания в них гистамина.

Таблица 1

Содержание биологически активных веществ в структурах десны здоровых людей, усл. ЕД

Объект исследования	Гистамин	Катехоламины	Серотонин	ИТОГО
Эпителий	50,3±0,01	49,6±0,01	74,8±0,001	174,7
Сетчатый слой	49,6±0,01	13±0,001	15±0,005	77,6
Тучные клетки сетчатого слоя	32,7±0,005	15,6±0,005	20±0,005	68,3
Общее содержание биогенных аминов	132,6	78,2	109,8	320,6
Число тучных клеток	3	7	7	10

Примечание: в таблице приведены среднестатистические показатели.

Таблица 2

Содержание биологически активных веществ в структурах десны

при раннем периимплантите, усл. ед.

Объект исследования	Гистамин	Катехоламины	Серотонин	ИТОГО
Эпителий	23±0,01	50±0,001	40±0,001	113,5
Сетчатый слой	30±0,005	28±0,001	35±0,001	93,6
Тучные клетки сетчатого слоя	16,1±0,001	36,6±0,005	37±0,001	106,3
Общее содержание биогенных аминов	69,1±0,01	87,6±0,001	112±0,01	313,4
Число тучных клеток	7	3	3	10

Примечание: в таблице приведены среднестатистические показатели. Синим цветом обозначено понижение числовых значений, красным – повышение.

Содержание катехоламинов в эпителии десны было не изменено по сравнению с контрольной группой, но в равных количествах по всем слоям. Его толщина была уменьшена.

Сосочковый слой слизистой десны был уменьшен в толщину в 1,3 раза. Сосочки были выражены слабо, люминесцировал неравномерно, и выглядел тёмным, т.е. содержали КА и СТ в небольшом количестве (Таблица 1, 2). В собственной пластинке слизистой десны КА и СТ в наибольшем количестве выявляются в эластических волокнах, меньше – в ядрах фибробластов. Увеличение нейроаминов в фибробластах, происходит их активация. Содержание КА увеличено с 13 до 28 у.е. (Таблица 1, 2).

В глубоком соединительнотканном слое слизистой оболочки снижается плотность соединительной ткани, появляются разряженные пространства, в которых могут выявляться ярко люминесцирующие лимфоциты, нейтрофилы, моноциты (рис.6). Здесь же определяются группы ТК – до 7 на поле зрения при увеличении 10*10. Клетки дегранулированы, имеют вытянутую форму. Клетки мелкие, мельче, чем обычно. Наибольшее содержание КА определяется в цитоплазме сегментоядерных нейтрофилов.

При исследовании серотонина (СТ) выявилось, что его содержание в эпителии десны, по сравнению со здоровыми людьми, также было снижено. В сетчатом слое собственной пластинке слизистой оболочки десны имеется тенденция к увеличению содержания СТ в 1,7 раза (Таблица 1, 2).

Стенки сосудов люминесцируют не равномерно и как бы срстаются с окружающей тканью. Имеется интересная закономерность: чем ближе десна располагается к зубу, тем реже в ней встречаются цельные тучные клетки.

Серотониновый индекс.

В эпителии он снизился до 0,8 и стал ниже 1,0. По условиям метода наибольшее значение здесь приобретает медиатор адренергического звена вегетативной нервной системы – КА. В собственной пластинке слизистой и в тучных клетках СИ несколько снизился, оставшись при этом выше 1,0, тем самым ведущими медиаторами здесь остаются как СТ, так и КА.

Исследование ферментов – моноаминоксидазы (МАО) и сукцинатдегидрогеназы (СДГ) – в структурах десны при ранних периимплантитах.

Реакция на МАО прошла только в эпителии, который выявляется слабо. Около эпителия обозначаются инкапсулированные нервные окончания. Очень редко определяются МАО-положительные тучные клетки – до одной на 5 п. з. Содержание этого фермента снижено. Вполне возможно, что вследствие этого несколько увеличено содержание КА в некоторых структурах десны.

СДГ определяется в базальном и шиповатом слоях эпителия. Гранулы СДГ в эпителии выявляются вокруг ядра и по внутренней части мембраны. Реакция в тучных клетках под эпителием слабая.

Таким образом, при периимплантитах страдает аэробное окисление, содержание МАО и СДГ уменьшается. Увеличивается активность структур, участвующих при воспалительных и иммунологических процессах.

Исследование гликозаминогликанов (гепарина) в структурах десны при ранних периимплантитах.

При ранних периимплантитах в базальном и шиповатом слоях эпителия имеется легкая метахромазия. Клетки эпителия окрашиваются равномерно, ортохромно, что говорит о средней сульфатированности гепарина (Рисунок 5, 6).

Соединительная ткань собственной пластинки слизистой окрашивается ортохромно, не уплотнена. Ядра фибробластов окрашиваются ортохромно, т.е. ткань не содержит сульфатированного гепарина. Наблюдается сглаживание эпителия и образование в нем полостей.

В сосочковом слое соединительно-тканые волокна начинают располагаться параллельно базальной мембране. В сетчатом слое собственной пластинки слизистой волокна могут располагаться пучками, идущими перпендикулярно базальной мембране.

Здесь же небольшими шаровидными скоплениями встречаются гамма-метахроматичные ТК, которые имеют округлую или овальную форму. Большинство из них дегранулированы (Рисунок 5).

Это свидетельствует об увеличении сульфатированности гепарина в ТК, которые начинают дегранулировать.. Возможно, это явление служит адаптационной реакцией организма при данной патологии. В сетчатом слое определяется общее увеличение гамма-метахромазии, которое говорит об увеличении содержания гепарина.

Выводы.

1. В десне у здоровых людей в наибольшем количестве нейроамины определяются в эпителии десны, в тучных клетках, которые располагаются в виде цепочки под базальной мембраной и группами в сетчатом слое собственной пластинки слизистой оболочки, в эластических волокнах.
2. При ранних периимплантитах содержание нейроаминов в эпителии десны, за исключением катехоламинов, понижается, а в соединительной ткани, за исключением гистамина, повышается. Резко увеличивается число созревших, дегранулированных тучных клеток.

Список литературы

1. Брондз Б.Д., Рохлин О.В. Молекулярные и клеточные основы иммунологического распознавания / Москва, Наука. 1978. 338 с.
2. Быков В.Л. Секреторные механизмы и секреторные продукты тучных клеток // Морфология, 1999. Т. 115, № 2. С. 64-72.
3. Гемонов В.В., Лаврова Э.Н., Фалин Л.И. Развитие органов полости рта и зубов // Москва : Медицина, 2002. 185 с.
4. Иванов В.С. Строение и функция пародонта. Заболевания пародонта / Москва: Медицина, 1990. – С. 215-218.
5. Козлов В.А. Локализация и состояние тканевых трансмиссерных систем в норме и эксперименте. Монография. Москва, 2006. 124 с.
6. Козлов В.А., Бусова О.С. Тучноклеточная популяция почки и почечной капсулы. Монография. Москва, 2009. 104 с.
7. Козлов В.А., Бусова О.С. Миграция тучных клеток в почке // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2010. № 1 (65). С. 40-45.
8. Лойда З., Госсрау Р. Гистохимия ферментов / Москва: Наука. 1982. 458 с.
9. Любовцева Л.А., Московский А.В., Любовцева Е.В., Сидоров А.В., Московский В.Ф. Влияние толуюла и изогенной пересадки мозга на биоаминсодержащие клетки органов иммунной системы животных и кожи человека // Международный журнал по иммунореабилитации, 2001. Т. 3, №1. С. 170-171.
10. Московский А.В., Любовцева Л.А., Московский В.Ф. Распределение биологически активных веществ в развивающемся зубе на поздних этапах эмбриогенеза // Журнал «Стоматология». 2003. №1. С. 4-6.
11. Cross S.A., Ewen S.W., Rost E.W. A. Study of the methods available for the cytochemical localization of histamine by fluorescence induced with o-phthulaldehyde or acetaldehyde // J. Histochem. 1971. №6. P. 471-476.
12. Falck B., Hillarp N.A., Thieme G. and Torp A. Fluorescence of catecholamines and related compounds condensed with formaldehyde. J. Histochem. Cytochem, 1962. Vol. 10, p. 348-354.
13. Helio Chiarini-Garcia, Ana Alice D. cantos, Conceicao R.S.Machado. Mast cell types and cell-to-cell interactions in lymph nodes of the opossum Didelphis al-biventris. // J. Anatomy and Embryology. 2000. Vol. 201, №3. P. 197-206.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИСТАМИНА В ПЛАЦЕНТЕ ЧЕЛОВЕКА

Л.А. Любовцева, А.В. Самойлова, Е.В. Любовцева, А.А. Самойлова, А.А. Самойлов

ФГБОУ «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», г. Чебоксары

В плаценте имеются клетки, продуцирующие гистамин. К этим клеткам относятся тучные, гранулярные люминесцирующие клетки и макрофаги. Гистамин в плаценте определяется не только в клетках, но и в диффузном состоянии. Предположительно, располагаясь под трофобластическим эпителием и вокруг сосудов, гистаминсодержащие клетки, вероятно, являются частью плацентарного барьера и, диффузно выделенный гистамин из этих клеток, оказывают влияние на его проницаемость.

Ключевые слова: гранулярные люминесцирующие клетки (ГЛК), тучные клетки, гистамин, плацента.

1. Введение. В настоящее время в литературе имеются данные о значении гистамина в регуляции проницаемости гистогематического барьера [1, 2, 3, 7]. Показано, что гистамин принимает непосредственное участие в проницаемости плацентарного барьера и в значительной степени предопределяет развитие плода. Ранее было предположено, что гистамин может являться защитным фактором при увеличении функциональных требований к таким органам как: сердце, тимус, почки [6].

Целью настоящей работы явилось изучение локализации и концентрации гистамина в плаценте человека на тканевом и клеточном уровнях при доношенной беременности.

2. Материал и методы исследования. Материал плацент был взят в перинатальном центре ЧР при согласии рожениц. Исследовано 24 плаценты, полученные при срочных самопроизвольных родах. Возраст женщин был от 18 до 27 лет, из них 8 женщин было первородящих, 16 – повторнородящих. У всех женщин беременность и роды протекали без видимой патологии.

Из замороженных кусочков плаценты делали криостатные срезы толщиной 15-20 микрометров и обрабатывали: 1. Люминесцентно-гистохимическим методом Кросса, Эвен, Роста для изучения свободного гистамина в плаценте [9]. Количественное измерение гистамина проводилось в условных единицах с помощью флюориметрической насадки ФМЭЛ-1А на люминесцентный микроскоп ЛЮАМ-6 [4, 6, 8].

Статистическая обработка материала проводилась с помощью стандартного пакета программ Microsoft Office (Word и Excell) по Стьюденту.

3. Результаты собственных исследований. В результате проведенных исследований выявлено, что гистамин в клеточных структурах плаценты находится в двух состояниях: в диффузном и концентрированном. Диффузно гистамин распределяется неравномерно: максимальное его содержание находится в амниотическом эпителии амниотической оболочки (25 усл. ед.), меньше – в трофобластическом эпителии ворсинок 3-го и 4-го порядка (20 усл. ед.) и наименьшее количество – в стромах ворсин 1-го и 2-го порядка (14 усл. ед.).

Клеточные структуры, содержащие гистамин, также неоднородны. Здесь встречаются тучные клетки, гранулярные люминесцирующие клетки, которые относятся к клеткам АПУД-системы и макрофагоподобным клеткам. Кроме того, обнаруживается мелкая гранулярная «пыль».

Нами найдено, что наибольшее количество гистамина содержат тучные клетки (28 усл. ед.), меньше его в ГЛК (26 у.е.), еще меньше в макрофагоподобных клетках (19 усл. ед.) и менее всех – в люминесцирующих гранулах (9 усл. ед.). Все вышеперечисленные структуры располагаются неравномерно, образуют скопления в виде полей. Люминесцирующие клетки располагаются в компактном хорионе под амниотической оболочкой, а также в стромах ворсин 1-го и 2-го порядка, причем один слой располагается здесь под тро-

фобластическим эпителием, а второй – вокруг сосудов. А в строме стволовых ворсин присутствует в основном гранулярная «пыль».

Нами определено, что содержание гистамина в ГЛК у повторнородящих доходит до 32 у.е., а в ворсинках 1 и 2-го порядка его количество неоднозначно, но также выше, чем у первородящих.

Таблица 1.

Содержание гистамина в структуре плаценты первородящих женщин в условных единицах

Название структур	Эпителий амниона	Трофобласт	Строма ворсин	Тучные клетки	ГЛК	Макрофаги	Свободные гранулы
Содержание гистамина	25	20	14	28	26	19	9

Таким образом, можно видеть, что в плаценте осуществляется образование гистамина, находящегося, как в тучных и гранулярных люминесцирующих клетках, так и в диффузном состоянии. Предположительно гистамин плаценты участвует в функционировании гемато-плацентарного барьера, способствуя проницаемости сосудов.

Выводы:

1. Гистамин в плаценте располагается как диффузно, так и в клеточных структурах.
2. Гистаминсодержащими клеточными структурами являются тучные клетки, ГЛК и макрофагоподобные клетки. Располагаясь под амниотическим, трофобластическим эпителием и вокруг сосудов, гистаминсодержащие клетки, вероятно, являются частью гемато-плацентарного барьера и оказывают влияние на проницаемость этого барьера.

Литература

1. Бережная Н.М. Тучные клетки и гистамин: физиологическая роль / Н.М. Бережная, Р.И. Сепиашвили // Аллергология и иммунология. 2003. Т. 4, № 3. С. 29-38.
2. Быков В.Л. Секреторные механизмы и секреторные продукты тучных клеток / В.Л. Быков // Морфология. 1999. Т. 115, Вып. 2. С. 64-72.
3. Воробьева О.В., Любовцева Е.В., Любовцева Л.А. Влияние различных видов пересадок костного мозга на иммунные и биоаминные перестройки некоторых органов. Монография. – Изд-во ЧГУ. Чебоксары. 2016. 169 с.
4. Гордон Б.М. Математическое обоснование специфичности люминесцентно-гистохимических реакций на аутолюминесцирующих структурах / В кн.: Морфология и гистохимия тканей в норме, патологии и эксперименте Чебоксары. 1982. С. 71-76.
5. Карнаухов В.Н. Люминесцентный спектральный анализ клетки. М. Наука. 1978.
6. Козлов В.А. Локализация и состояние тканевых транмиттерных систем в норме и эксперименте. Монография. Москва, 2006. 124 с.
7. Любовцева Л.А. Люминесцентно-гистохимическое исследование аминоксодержащих структур костного мозга, тимуса и крови при действии нейромедиаторов и антигенов. Чебоксары, ЧГУ. 1993. 100с.
8. Любовцева Л.А., Голубцова Н.Н., Гурьянова Е.А., Любовцева Е.В. Количественный анализ гранулярных люминесцирующих и тучных клеток в органах иммунной и неиммунной систем. // Международный журнал по иммунореабилитации. 2000. Т. 2. № 2. С. 53.
9. Cross S.A., Ewen S.W., Rost F.W. A study of methods available for cytochemical localization of histamine by fluorescence induced with o-phthaldehyde or acetaldehyde // J. Histochem. 1971. V. 3. № 6. P. 471-476.

НОВОЕ ВОСХОЖДЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА

И.И. Попов

НО ПНР «Междисциплинарная Академия Науки и Инноватики», Республика Марий Эл,
п. Медведево, ул. Коммунистическая, 14
biht.orol@gmail.com

Приводится анализ роли и задачи физкультуры и спорта в оздоровлении современных общественных отношений. Показано развитие биологической сознательной жизни человека, начиная с формирования инфраструктуры материального мира. Смысла Жизни человека продемонстрирован на примере энергетических процессов, протекающих при реализации накоплении опыта биологической жизни и его трансформация в развитие души.

Введение. Какова же роль физической культуры и спорта в жизнедеятельности современного общества? Спорт – это средство эмоционального развлечения и разгрузки в форме соревновательного ШОУ? А физкультура – это предотвращение заболеваний и повышение жизненного тонуса и профессиональной активности? Или существует другое их глобальное предназначение? Существует такое мнение, что физкультура и спорт укрепляют физическое и функциональное состояние, повышающие работоспособность и способность физического противостояния возникающим внешним угрозам. Но неплохо бы оценить играют ли они какую-либо роль при формировании духовности человека, обеспечении гармонии между процессами духовного созидания и стремлении к созидательным духотворческим действиям, на способность извлекать свою пользу добывать себе блага из созданного до нас Природой? А не является ли спорт средством контроля и совершенствование физической подготовленности человека, влияния на развитие его души, на Смысл Жизни людей? Для того, чтобы ответить на эти и другие попутные вопросы необходимо погрузиться в природу создания человека и среды его обитания человека.

В работе по Вихревым технологиям кристаллообразования текстурированных тонких металлических пленок наноразмерной толщины (см. приложение 1) предложена обобщенная модель формирования иерархии материального мира. На примере которой продемонстрированы новые технологии формирования форм текстуры тонких металлических пленок. Введено понятие солитонной вихревой волны, содержащее следующую информацию о солитоне.

Солитон – это форма вихревого движения энергии мелкодисперсных частиц, обладающая свойствами частицы (в случае «короткого» вихря – электрона, нуклона и др.) или сверхдлинного вихря-трубки (интеллектона). Солитон характеризуется определенной длиной, набором частот, общей формой, рядом других функций в зависимости от его конкретной природы. Обычно амплитуда и частота солитона на краю возбуждения резко снижаются: в начале мала центробежная сила и велика центростремительная, большая правовращающая сила и малая левовращающая сила; в середине – равенство парных сил и увеличение диаметра вихря солитона; в конце – снова центростремительная сила много больше центробежной, но при этом левосторонняя сила много больше правосторонней. Наиболее существенными свойствами солитона являются: локальность возбуждения, сохранение частицеподобности и не размазывание в пространстве, как в случае обычной волны. Солитоны могут взаимодействовать между собой, при этом возможно «поедание» сильным слабым, взаимная аннигиляция, возникновение стоячего солитона и пр. В момент приближения солитонов между ними возникает притяжение – связь, что, видимо, и определяет известные типы связи между частицами. Показан порядок формирования «длинных» солитонов (интеллектонов), отражающих за наличие потенциальной энергии, ответственных за феномен «прозрения» и интуиции и составляющих «интеллектуальный фон» среды, а также – «коротких» солитонов (электронов), отражающих наличие кинетической энергии, отвечающих за активность протекания биохимических реакций и внутренних биоэнергетических потоков. Показано как в оптике

фазовые маски расширяют структуру лучей света. Эти работы использованы для демонстрации электрона, отделяющегося от «длинного» солитонного вихря (интеллектона), как фазовой маски, содержащей фазовую информацию, содержащуюся в интеллектоне, благодаря которой из образованного электрона формируется соответствующая этой информации структура вторичных «длинных» солитонов (вихрей заряженных частиц мелкодисперсного вещества). Показано, что отщепляющийся от интеллектона электрон является примитивной моделью кристалла души человека, лишенного воли и сознания.

По мере развития жизни на Земле в потоке интеллектонов, доходивших до нашей планеты стала посылаться более сложная фазовая информация, в результате действия которой происходило образование связей между вторичными, третичными и т.д. вихрями (интеллектонами). Это привело к созданию биологической жизни и ее объектов, не обладающих сознанием.

На следующей фазе развития Биологической Жизни на нашей планете в поступающем на нее потоке интеллектонов были посланы фазовые маски, содержащие информацию о формировании элементов биологического объекта, выполняющих роль памяти, содержащей сознательную и подсознательную информацию, организовавших сложные функциональные связи между элементами материальной иерархии человека и построившие средства обмена информацией с окружающей средой. Фазовые маски, пришедшие на Землю, являются кристаллами совершенной души человека, содержат фазовую информацию, в которой отражена многомерная матрица информационных связей. По мере развития человека эти связи реализуются в совокупности фазовых масок человека и формализуются человеком в виде знаний. Запущенные в человеке процессы саморегулирования внутренних биоэнергетических потоков и, соответственно, формирования различной степени разветвления материальной иерархии тела человека обеспечивают восприятие все новых информационных связей пришедшей на Землю многомерной матрицы этих информационных связей, то есть получение новой информации. В соответствии с усложнением иерархии материальных объектов тела усложняется и совокупность иерархии интеллектонов и электронов, определяющих биоэнергетику человека. В человеке открываются способности формировать собственные лепестки вихревых потоков (интеллектонов). В силу замкнутости системы лепесткового потока энергии и в силу действия закона сохранения энергии в замкнутой системе Посланный человеком поток интеллектонов достигнув определенного уровня его энергий разворачивает траекторию движения и обратно замыкается на человека. При этом на самом высоком уровне удаления интеллектона происходит ассоциативная выборка информации (новой фазовой маски), то есть концентрирование фазовой информацией исходящего потока интеллектонов. В вернувшемся потоке интеллектонов человек фиксирует пришедшую информацию и с помощью ее выполняет новую версию разветвления иерархии материальных объектов тела и разветвления интеллектонов и электронов, то есть развивает свою душу.

Интеллектоны, участвовавшие в формировании иерархии материального мира, имеют правое (по часовой стрелке) вращение энергии во внутреннем и внешнем (солитонном) кругах вращения. Фазовые маски, являющиеся кристаллами совершенной души, вложены в поток также правовращающейся энергии. По этой причине энергия, поступающая во входящих интеллектонах, расходуется на центробежное упорядоченное разветвление материальной инфраструктуры и инфраструктуры энергетических потоков. Она способствует развитию Души.

Для того, чтобы центробежная сила не разбросала солитон в стороны, внутри его содержится левосторонняя центростремительная (вращающаяся против часовой стрелки) сила, сдерживающая центробежное действие и сохраняющая форму солитона. Сумма потенциальной энергии в солитоне перераспределяется между силой правого и левого вращений. В начале солитона сильна правовращающаяся сила. По мере того как она разгоняет энергию солитона наружу, растет энергия левого вращения, возрастает ее сдерживающее действие. В середине

солитона они равны. В конце солитона сила правого вращения минимальна, а сила левого центростремительного вращения максимальна, потому она сворачивает форму солитона в точку.

Поскольку под действием саморазвития процесса разветвления правых сил в организме человека, иерархическая структура материального мира и правых энергетических потоков стала принимать оригинальный (индивидуальный) вид с оригинальной ориентацией в пространстве, то на энергетическую структуру человека была послана симметричная многомерная маска информационных связей. Ее задача заключалась в сворачивании нужного солитона в нужном месте в положенное время. Эта фазовая маска забирала излишнюю правую потенциальную энергию, обеспечивая равновесие между созиданием и потреблением. Поскольку эта вторая фазовая маска также запускала процесс самосовершенствования за счет правой энергии, то она также приобретала оригинальные черты индивидуальности, и создавала память с аналогами реакции на вызовы окружающей среды, из которых строила алгоритм своего развития.

Стремясь к минимизации энергетических потерь и повышению своей энергетики, вторая фазовая маска породила состояние излишней эффективности в сдерживании правых сил. Поскольку сил созидания стало не хватать, сдерживающие силы приобрели функцию извлечения энергии из ранее созданных материальных образований окружающей среды. Извлекаемая из сторонних источников энергия получила название жизненных ресурсов. Получение больших запасов энергетических ресурсов способствовало снижению эффективности действия созидательных процессов правых сил, ранее полностью обеспечивавших энергией жизненный процесс человека. Наступает сворачивание разветвлений энергетических потоков, происходит обеднение души. Теряется энергетика формирования созидательного эгрегора правых сил, снижается качество фазовых масок, воспроизводимых в организме человека. Напротив, роль второй фазовой маски возрастает, начинается творческий процесс создания инфраструктуры и средств развития ее влияния. Возникают средства обмена сначала результатами этой работы, а потом уже и ее эквивалентами, финансовыми средствами.

Поддерживание жизненного процесса за счет приобретения у сторонних людей средств развития продуктов деятельности второй фазовой маски, создание схем неэквивалентных обменов породило, во-первых, несправедливость, во-вторых, разложение созидательной правой морали. Бесконтрольное пользование материальными ресурсами внешней среды привело к таким масштабам интенсификации трудовой деятельности на благо развития плодов второй фазовой маски, которые породили серию различных по масштабу кризисов в современном обществе, в том числе конфликтов способных уничтожить саму биологическую жизнь на нашей планете.

Активизация роли левых энергий в солитонах энергетической иерархии человека, привела к частичному или полному купированию солитонов, отвечающих за индивидуальность развития процессов, порождаемых первой фазовой маской. Остались в работе только энергетические центры, отвечающие за поддержание формы (тела человека). Вся высокоэнергетическая (высокочастотная) часть энергии, поступающей по правым интеллектонам расходуется на нужды левых сил.

Эти злоупотребления левых сил привели к климатическим изменениям, которые могут перерасти в природные катастрофы. Каков же выход? А выход в возврате к жизни «спящих» правых душ. Для этого необходимо повышать биохимические запасы тела человека, отказ от нерационального их использования, возврат человеку способности к эмоциональной концентрации и пробивании блокады в районе верхних энергетических чакр организма человека.

Смысл жизни человека. Питание человека осуществляется потенциальной энергией, поступающей из Космоса (в виде циркулирующего с разным направлением света или акустического излучения: правовращающегося, то есть со спином плюс одна вторая ($+\frac{1}{2}$), и левовращающегося – со спином минус одна вторая ($-\frac{1}{2}$)) и получаемой от объектов биологического и минерального мира. По мере взаимодействия с человеком она перераспределяется по вихрям кинетического движения мелкодисперсного вещества, связывающими как отдельные матери-

альные образования, так и их комплексы. Чем меньше формируется материальное тело, тем больше у него потенциальная энергия и меньше кинетическая. При увеличении плотности мелких материальных тел выше критического значения, происходит вскипание (взрыв) оболочек этих тел, в результате которого высвобождающая потенциальная энергия приобретает свойства кинетической энергии. Благодаря формированию кинетической энергии с той и ли иной интенсивностью и в том или ином окружении происходит перемещение как комплексов материальных образований, так и отдельных материальных образований различной величины. При этом благодаря содержанию информации, модулирующей потенциальную энергию, формируется пространственная структура формы и интенсивности потоков кинетической энергии, обеспечивающая строгую логику их перемещения в теле. Чем сложнее материальная структура тела, тем сложнее структура организации вихревого движения как отдельных материальных образований, так и их комплексов, тем выше энтропия (сложность, отражающую вероятность осуществления какого-либо макроскопического состояния) потенциальной энергии и сочетания информации ее модулирующей, тем большему объему космической информации становится чувствителен человек. Чем совершеннее приобретенный опыт человека во взаимодействии с биологическим миром, тем более совершенным становится его форма и содержание, определяющее энтропию (сложность, отражающую вероятность осуществления какого-либо макроскопического состояния) циркулирующих в нем потоков энергии, то есть уровень развития души. Чем выше уровень развития души, тем с более сложной информацией, запрашиваемой у объектов, более высоких в иерархии мироздания, обращается человек. Чем больше у человека потребность передать накопленный опыт своей души, реализуемая через воздействие на совершенствование окружающей среды, в виде прокачиваемой через него энергии и информации, тем более сложную информацию он запрашивает у объектов, выше стоящих в иерархии Мироздания. Потоком энергии, проходящим через человека, определяется глубина чувства, называемого любовью. Высшая любовь наступает при полной отдаче в окружающую среду того, что получил Свыше. По качеству этого (духовного) обращения оценивается уровень развития души, по нему и воздается каждому человеку индивидуально. Чем совершеннее душа человека, тем больше энергии и информации через ее прокачивается, тем выше уровень ее любви. Таким образом смысл человеческой жизни заключается в накоплении биологической жизни и ее трансформации в развитие души.

В связи с выше изложенным становится важная роль физической культуры и спорта в оздоровлении современного общества. Во-первых, их функции заключаются в тестирование способности человека преобразовывать свою потенциальную энергию в кинетическую (двигательную), творящую биологические процессы в организме, и концентрировать кинетическую энергию в виде движения электрических зарядов в фазовые маски, формирующие вихревые волны интеллектуального обмена с внешними объектами (интеллектоны).

При этом активная двигательная деятельность способствует расходу кинетической энергии (энергии электронов) на запуск биологических процессов, сопровождающих движение тела, и формирование фазовых масок, обеспечивающих интеллектуальное общение с внешним миром, когда на сформированный запрос информации (возникший вопрос) приходит расширенный информационный ответ. Именно по этой причине на ходу хорошо начинать думать, то есть осуществлять поиск параметров интеллектона (степени концентрации внимания), при которых идет ответная информация. Именно по этой же причине важна роль физической культуры в системе образования и просвещения.

Поняв духовную роль физической культуры и спорта, причины, при которых формируются условия для зарядки биохимического аккумулятора человека и обеспечения эффективной концентрации потенциальной энергии можно установить дополнительные условия повышения эффективности двигательной деятельности.

Можно выработать разумные и наиболее приемлемые для конкретного человека требования к питанию и здоровому сну. Сформировать наиболее эффективные методики адаптации физкультурно-спортивной подготовки к конкретным видам деятельности человека. Для достижения высоких спортивных показателей необходима не только система физических тренировок, ведения здорового образа жизни, высокая духовность, исключающая отток энергии на эгрегоры, навязываемые эмоциями, поступающими от внешней среды, но и многофункциональная система контроля физкультурно-спортивных показателей, условий жизнедеятельности и степени духовного совершенства, показателя ССЛ (социального статуса личности).

Для контроля как самих показателей физической подготовленности и функционального совершенства, так и условий, им способствующих, необходима комплексная и доступная для широких масс система тестирования, включающая как педагогические и психологические тесты, так и средства объективного контроля. Самым массовым и доступным способом тестирования физической подготовленности, является система выверенных с позиции энергетических затрат и охвата тестируемых частей тела эталонных двигательных упражнений, объединенных в Комплекс ГТО, адаптированный к возрасту, полу, размерам и весу тела, и обеспечивающий обратную связь человеку для ведения соответствующего образа жизни, путем выборки необходимых для него рекомендаций из банка данных автоматизированной информационной системы этого Комплекса. Также необходима доступная для людей постоянная массовая скрининговая неалиquotная (без забора проб) экспресс-диагностика на наличия у человека возбудителей инфекционных, грибковых, бактериологических и психосоматических заболеваний (см. проект «Интест» и метод диагностики и коррекции психосоматических заболеваний по методу Есеноковой Ф.Б. на основе биоэнергетической голографии).

Для поднятия престижа образа жизни выбранного общественного строя, демонстрации духовных и физических качеств служат спортивные соревнования, являющиеся эффективным средством эффективного аккумуляирования биохимической и электрической энергии и поднятия уровня способности концентрирования потенциальной энергии человека на эмоции, мобилизовавшей внимание человека. Для повышения качества эффекта, получаемого от спорта необходим своевременный контроль допинговых веществ и вредных для человека химических веществ в крови человека на ранних стадиях зарождения этих угроз. Для этого необходимо разработать и внедрить на основе технологии «Интест» систему удаленной массовой скрининговой неалиquotной (без забора проб) их экспресс-диагностики.

Самой важнейшей задачей физкультуры и спорта является положительный вклад в мировое противостояние двух моралей, созидательной (духотворческой) и потребительской (извлекающей личную пользу из ранее созданного, разрушая его), то есть божественной (нравственной) и демонической (эгоистичной). В результате этого противостояния сформировалась доминирование демонической морали, реализованной в мировоззрении, навязавшее смысл жизни людей, заключающийся в потребности капитализации всех жизненных процессов. У большинства людей активно работают только 3 (телесных) энергетических центра (чакры). Работа других четырех (из семи) чакр, отвечающих за индивидуальное согласованное развитие человека в соответствии с Всевышним Замыслом, реализующимся через Высший Разум, оказалась заблокирована. Вместо доступа к источнику идеальной информации человеку в подсознание «защиты» аналоги реакции на вызовы окружающей среды из демонической программы поведения человека с помощью пропаганды через созданные людьми СМИ. В настоящее время на земном шаре имеется порядка 1% «не спящих» душ, и только в России имеется их критическое число, равное 10%, достаточное для создания энергетического эгрегора, способного запросить помощь от источника Высшего Разума, которая сделает очевидным для большинства жителей нашей планеты необходимость жизни в контакте с информацией духотворного эгрегора и осознание ошибочности выбора смысла жизни, навязанного демоническим эгрегором. Процесс этого возврата будет связан с просыпанием «спящих» душ. То, что сейчас человеку удастся сконцентрировать свою внутреннюю энергию

лишь на преодолении трудностей, представляющих для него большую опасность, или раскупорить на эти цели «ампулу» зарезервированной в организме биохимической энергии под воздействием возникшего суперстресса. ЭТИ возможности полностью могут вернуться к человеку лишь в случае аккумуляирования в организме достаточного уровня биохимической энергии или при наличии достаточной воли к эмоциональной концентрации энергии. Благодаря формированию духотворного эгрегора на территории России пошел процесс массового просыпания душ, особенно молодых, незапутанных жизненными хитросплетениями. Второе благоприятное обстоятельство связано с тем, что в силу свершившихся галактических событий, заключающихся в смене характера изменения галактических вибраций (излучений), поступающих на Землю: с замедления их частот на нарастание, люди нашей Планеты обречены ради выживания на переход к новому мировоззрению, на основе которого могут сложиться признаки Новой Цивилизации. Серьезность влияния галактических изменений на материальную жизнь, подтверждается фактом, зарегистрированным в 2010 году современными физиками, уменьшения размеров протона на 5% [1], влекущим за собой изменения в органике, увеличение скорости образования и регенерации материи. Наступает опасность массового роста психосоматических заболеваний, и возникновении состояний людей, не совместимых с жизнью в силу нарастающей несогласованности процессов изменения задаваемых со стороны темпов природного энергоинформационного обмена на нашей Планете и внутренней психологии человека.

Методики духовного общения Человека с источниками космического излучения (с помощью духовных практик и участия в религиозных мероприятиях) через потоки поступающей на Землю космической энергии позволяют ему внести корректировки в параметры своей психики в сторону согласования с параметрами космической энергии. Это потребует рост аккумуляирования в организме человека достаточного уровня биохимической энергии или воспитание воли к эмоциональной концентрации энергии, а также принятие нового мировоззрения гармонизации (согласованности) процессов духотворческого созидания и разумного сдерживания, обеспечения равновесия между потреблением материальных и духовных благ. Возникнет ситуация, когда потребление не будет превышать созидание за счет разрушения ранее созданного материального мира ранее созданного, ради извлечения ресурсов для жизни и личной выгоды (как это происходит в настоящее время).

Формируя энергетические запасы и тренируя способности эмоциональной концентрации физкультура и спорт мобилизуют людей на возврат к контакту с источником идеальной информации, обеспечивающем изначальный Смысл Жизни человека, заключающийся в накоплении опыта биологической жизни и трансформации его в развитие души. То есть способствуют просыпанию душ и оздоровлению отношений в современном обществе, тем самым – спасению биологической жизни на нашей планете Земля.

Заключение. Дан анализ роли физкультуры и спорта в оздоровлении современных общественных отношений. Дана краткая характеристика обобщенной модели формирования материального мира и биологической жизни. Раскрыт порядок развития сознательной биологической жизни. Показаны энергетические процессы, протекающие при реализации Смысла Жизни человека, заключающемся в накоплении опыта биологической жизни и его трансформация в развитие души. Проанализированы задачи физкультуры и спорта и пути развития его инфраструктуры. Показан характер их влияния на оздоровление отношений между людьми.

Список литературы

[1] Pohl R, et al. (July 2010). "The size of the proton" (PDF). Nature. 466 (7303): 213-216. Bibcode:2010 Natur.466..213P. doi:10.1038/ nature10.1038/ nature 09250.

**МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ ШКОЛЫ-СЕМИНАР
«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ:
НАНООПТИКА, ФОТОНИКА И КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ»
В ЖУРНАЛЕ ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ**

И.И. Попов, К.Р. Каримуллин

С 2017 года в журнале «Известия Российской академии наук. Серия физическая» ежегодно публикуются статьи, подготовленные по материалам лучших докладов, представленных на международной научной школе-семинаре «Фундаментальные исследования и инновации: нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия», рекомендованные программным комитетом конференции. К настоящему времени опубликованы следующие выпуски:

- № 5, том 81, (2017) – XI Школа-семинар, 5-9 июля 2016 г.;
- № 8, том 82, (2018) – XII Школа-семинар, 11-15 июля 2017 г.;
- № 12, том 82, (2018) и №№ 1, 3, 10, том 83, (2019) – XIII Школа-семинар, 3-7 июля 2018 г.

Материалы XIV международной научной школы-семинара «Фундаментальные исследования и инновации: нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия», прошедшей с 2 по 6 июля 2019 года в рамках международной научной школы «Наука и инновации – 2019», будут опубликованы в № 12, том 83 (2019). Этот выпуск посвящен 80-летию одного из основателей школы «Наука и инновации», почетного лектора Школы, д.ф.-м.н., профессора Виталия Владимировича Самарцева.

Далее представлено содержание выпуска с краткими аннотациями статей.

УДК 535:530.182

**ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ СВЕТОВЫХ ПУЛЬ
В ВИХРЕВОМ ПУЧКЕ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

© 2019 г. Е. В. Васильев¹, В. П. Кандидов^{1,2}, В. О. Компанец¹,
С. В. Чекалин¹, С. А. Шленов²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук, Москва, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Физический факультет и Международный учебно-научный лазерный центр, Москва, Россия

Рассмотрено формирование кольцевых световых пуль при филаментации фемтосекундных оптических вихрей в кристалле LiF в условиях аномальной дисперсии групповой скорости, описаны особенности пространственно-временной динамики импульсов, приведены количественные оценки параметров световых пуль. Проанализирован механизм формирования световой пули в первом нелинейном фокусе, рассмотрены модели стационарного оптического вихря и щелевого пучка.

УДК 535.14

ЭКСИТОННАЯ НУТАЦИЯ В СЛОЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

© 2019 г. В. В. Самарцев¹, Т. Г. Митрофанова¹, О. Х. Хасанов²

¹Казанский физико-технический институт имени Е. К. Завойского – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

²Государственное научно-практическое объединение «Научно-практический центр по материаловедению Национальной академии наук Беларуси», Минск, Беларусь

Теоретически показана возможность наблюдения экситонной нутации в тонком слое полупроводниковых квантовых точек типа CdSe/CdS/ZnS.

УДК 535.42, 543.42

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ТРЕХМЕРНОЙ НАНОСКОПИИ

© 2019 г. Д. В. Прокопова^{1,2}, Е. Н. Воронцов¹, С. П. Котова¹, Н. Н. Лосевский¹, С. А. Самагин¹, И. Т. Мынжасаров³, А. А. Горшелев^{3,4}, И. Ю. Еремчев^{3,4}, А. В. Наумов^{4,5}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук, Самарский филиал, Самара, Россия

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», Самара, Россия

³Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Долгопрудный, Россия

⁴Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук, Москва, Россия

⁵Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский педагогический государственный университет», Москва, Россия

Исследуется возможность повышения энергетической эффективности дифракционных оптических элементов (ДОЭ), формирующих двухлепестковые световые поля, распределение интенсивности которых поворачивается при распространении. Такие ДОЭ используются в микроскопии сверхвысокого разрешения для модификации функции рассеяния точечного источника света путем фазовой пространственной модуляции светового пучка, что позволяет реконструировать с нанометровой точностью все три пространственные координаты точечных излучающих объектов. Повышение энергетической эффективности дифракционных оптических элементов необходимо для увеличения точности локализации точечных излучателей в продольном направлении (вдоль оси Z).

УДК 530.145.1

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОТОННЫХ МОЛЕКУЛ ДЛЯ КВАНТОВОЙ ПАМЯТИ

© 2019 г. Н. С. Перминов^{1,2}, К. В. Петровни¹, Д. Ю. Таранкова³, С. А. Моисеев^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ», Казанский квантовый центр, Казань, Россия

²Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ», Кафедра радиоэлектроники и информационно-измерительной техники, Казань, Россия

Предложен пошаговый метод оптимизации многорезонаторной квантовой памяти на основе системы взаимодействующих кольцевых резонаторов, связанных с общим волноводом. Наша схема оптимизации демонстрирует эффективный и надежный способ реализации сверхширокополосной спектрально улучшенной квантовой памяти на чипе.

УДК 004.27, 004.056.55

КРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СУЖЕННЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ДАТЧИКОВ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

© 2019 г. С. Н. Андрианов¹, Ю. Ю. Кочнева¹, О. П. Шиндяев¹, А. В. Шкаликов²

¹Государственное научное учреждение Республики Татарстан Академия наук Республики Татарстан, Институт прикладных исследований, Казань, Россия

²Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

Проведено исследование технологических процессов изготовления суженных волокон с

устойчивой повторяемостью параметров при их нагреве с короткой не адиабатической областью сужения. В работе сообщается об экспериментальной реализации метода изготовления суженных волокон с заданными параметрами электроискровым методом на установке со специальными возможностями для реализации этих процессов.

УДК 535.21:535.566+534.5:53.043:53.082.55

ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЖИДКОСТЕЙ АЦЕТОНИТРИЛА И ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДА НА ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СВЕРХБЫСТРОГО ОПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА КЕРРА

© 2019 г. В. Г. Никифоров

Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия
Рассматривается связь между структурой жидкостей ацетонитрила (AN) и диметилсульфоксида (DMSO) и вращательными откликами в сигнале сверхбыстрого оптического эффекта Керра. Показано, что в жидкости DMSO структура ассоциатов в виде цепочек препятствует появлению наведенной ориентационной анизотропии молекул. В жидкости AN антипараллельные димеры способны переориентироваться под действием лазерного поля накачки; в формировании либрационного отклика участвуют как димеры так и мономеры.

УДК 535.21:535.566+534.5:53.043:53.082.55

ВОЗМОЖНОСТИ ДВУХИМПУЛЬСНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ С РЕГИСТРАЦИЕЙ СВЕРХБЫСТРОГО ОПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА КЕРРА

© 2019 г. Д. К. Жарков¹, В. Г. Никифоров¹, А. Г. Шмелев¹, А. В. Леонтьев¹, В. С. Лобков¹

Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия
Представлены результаты спектроскопии молекулярных движений в жидкости при двухимпульсном возбуждении и регистрации сверхбыстрого оптического эффекта Керра (ОЭК). Показано, что при определенном выборе параметров двухимпульсной последовательности реализуется селективная спектроскопия отдельных молекулярных движений.

УДК 537.312.51, 537.312.52, 537.312.53, 537.312.6

ОСОБЕННОСТИ ФОТОИНДУЦИРОВАННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ ЛАНТАНА И СТРОНЦИЯ

© 2019 г. Д. К. Жарков¹, А. В. Леонтьев¹, Д. П. Павлов¹, Р. Ф. Мамин¹

Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия
В работе обсуждаются результаты воздействия ультракоротких лазерных импульсов с длиной волны 514 нм на электрическое сопротивление гетероструктуры LAO/STO в диапазоне температур 80–290 К. Обнаружено обратимое нарастание сопротивления образца при облучении светом во всем диапазоне изменения температуры.

УДК 541.49, 544.032.65

НОВЫЕ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ МЕЗОГЕННЫХ БЕТА-ДИКЕТОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЛАНТАНОИДОВ(III) ДЛЯ МНОГОРАЗОВЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ТЕРМОМЕТРОВ

© 2019 г. Д. В. Лапаев¹, В. Г. Никифоров¹, В. С. Лобков¹, А. А. Князев²,
Ю. Г. Галяметдинов^{1,2}

¹Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского – обособленное структурное

подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия
Представлен новый подход к созданию фотостабильных высокочувствительных сенсорных элементов для многоразовых люминесцентных термометров на основе застеклованных пленок мезогенных бета-дикетонатных комплексов европия(III) и тербия(III), нечувствительных к кислороду, эффективно поглощающих свет в области 390-410 нм и обратимо изменяющих время затухания люминесценции в области 143-348 К.

УДК 535.012, 530.182, 53.05

ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ В ПЛЁНКАХ ПОЛИМЕРНОГО ЭЛЕКТРЕТА НА ОСНОВЕ МЕТАКРИЛОВЫХ ПОЛИМЕРОВ С ОРГАНИЧЕСКИМИ ХРОМОФОРАМИ

© 2019 г. А. Г. Шмелев^{1,*}, А. В. Леонтьев¹, Д. К. Жарков¹, В. Г. Никифоров¹,
Г. М. Фазлеева², Л. Н. Исламова², А. А. Калинин², Т. А. Вахонина², А. Ш. Мухтаров²,
М. Ю. Балакина², В. С. Лобков¹

¹Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

²Институт органической и физической химии имени А.Е. Арбузова — обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

Реализована генерация второй гармоники на длине волны 514 нм в композиционных полимерных пленках с D-π-A (push-pull) хромофорами, обладающими оптической квадратичной нелинейностью, с помощью усиленных фемтосекундных импульсов на длине волны 1024 нм. Показана фотостойкость пленки к действию лазерных импульсов с пиковой интенсивностью до 11.6 ГВт·см⁻². При этом эффективная генерация второй гармоники наблюдается в широком диапазоне углов падения луча накачки на образец (20° – 80°) с максимумом в области 60°.

УДК 535.31:53.05

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОЧАСТИЦ YVO₄: Yb³⁺/Er³⁺

© 2019 г. А. В. Леонтьев¹, Д. К. Жарков¹, А. Г. Шмелев¹, В. Г. Никифоров¹, В. С. Лобков¹

¹Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

Синтезированы люминесцентные наночастицы (НЧ) YVO₄: Yb, Er в диапазоне размеров 10--700 нм. При лазерном возбуждении на 980 и 257 нм наблюдается эмиссия ионов Er³⁺ в спектральной области 527 и 555 нм. Спектральная линия ионов Er³⁺ в области 660 нм не регистрируется, что косвенно указывает на низкую эффективность безызлучательных многофоновых внутриионных переходов и нечувствительность НЧ к тушителям люминесценции в водном растворе.

УДК 535.34

ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВОБОДНОГО ОБЪЁМА В ПЛАСТИФИЦИРОВАННОМ ПОЛИВИНИЛБУТИРАЛЕ

© 2019 г. Д. И. Камалова¹, Л. Р. Абдразакова¹

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия

С использованием ИК-фурье-спектроскопии исследовано распределение свободного объёма в полимерной матрице поливинилбутирала (ПВБ), пластифицированного полиэтиленглико-

лем ПЭГ400. С помощью набора конформационно-неоднородных зондов определены эффективные размеры подвижных элементов свободного объема в системах ПВБ/ПЭГ400 составов 80:20, 70:30, 60:40 и 50:50. Показано влияние процентного состава смеси на распределение свободного объема в ней.

УДК 621.3.048

КОМПЛЕКСНАЯ ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРАХ

© 2019 г. А. В. Голенищев-Кутузов¹, В. А. Голенищев-Кутузов¹, Д. А. Иванов¹,
Г. Д. Марданов¹, А. В. Семенников¹, Ю. В. Ваньков¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия

Разработан комплексный метод, позволяющий дистанционно с одновременным использованием электромагнитного, акустического и электрооптического датчиков измерять набор характеристик частичных разрядов и повышенных градиентов электрического поля под рабочим напряжением и таким образом определять вид, место расположения дефектов и степень их влияния на работоспособность высоковольтных изоляторов.

УДК 004.588

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛЕГКИХ НА РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

© 2019 г. Р. Ш. Минязев¹, А. А. Румянцев¹, А. А. Баев², Т. Д. Баева²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ», Казань, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия

Разработана вспомогательная нейросеть, решающая задачу предобработки рентгеновских изображений с целью выделить на них области с легкими и позвоночником и маскировать ненужные области. Обработанные с ее помощью изображения использованы при обучении основной нейросети для выявления патологий в легких. Проведено сравнение качества обучения основной нейросети на предобработанной базе снимков и исходной.

УДК 004.588

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФАНТОМА ТОРСА ЧЕЛОВЕКА

© 2019 г. А. А. Роженцов¹, А. А. Баев¹, А. О. Евдокимов¹,
Г. И. Смирнова¹, Ю. Н. Ендальцев¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия

Для тестирования программного обеспечения при разработке системы интраоперационной навигации на основе 3D-моделирования с технологией дополненной реальности были отобраны материалы для фантома торса человека. Значения рентгеновской плотности по шкале Хаусфилда подобранных эквивалентов тканей находятся в диапазонах, соответствующих определенным группам биологических тканей. Достоверность исследования была доказана путем сравнения 3D-моделей фантома, изготовленного из данных материалов, и реального пациента.

УДК 535.212

ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕЩЕНИЯ АНТИСТОКСОВОЙ ПОЛОСЫ В СПЕКТРАХ ВРМБ – УСИЛЕНИЯ В КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРАХ, СОДЕРЖАЩИХ ПАТОГЕННЫЕ ОРГАНИЗМЫ И НАНОЧАСТИЦЫ

© 2019 г. Т. Ю. Могильная^{1,2}, В. И. Томилин², А. Г. Ботиков³

¹Общество с ограниченной ответственностью «СЭРВЭТ», Москва, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия

³Федеральное государственное бюджетное учреждение "Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почётного академика Н.Ф. Гамалеи" Министерства здравоохранения Российской Федерации Москва, Россия

Рассматривается возможность разработки ВРМБ-метода для определения концентраций наноструктур, для которых информацию о составе несет распределение антистоксовой составляющей спектра. Проведены экспериментальные исследования динамики спектров взвеси вакцинных штаммов *E.coli* и спектров биологических структур. Проведены оценочные расчеты и экспериментально подобраны интенсивности излучения накачки, при которой логарифм интенсивности антистоксовой составляющей вплоть до концентраций 10^6 микробных клеток·мл⁻¹ является гладкой возрастающей функцией концентрации.

УДК 544.576

ОСАЖДЕНИЕ НАНОКЛАСТЕРОВ МЕТАЛЛОВ ИЗ КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ НА ПОВЕРХНОСТЬ ПОРИСТЫХ РУЛОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРЕЗА

© 2019 г. А. М. Васильев^{1,2}, Д. Ю. Кукушкин², В. В. Трофимов³

¹Общество с ограниченной ответственностью «СЭРВЭТ», Москва, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия

³Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Проведено исследование технологии получения металлизированных покрытий на сверхпопористом углеволокнистом материале из коллоидных растворов методом электрофореза. Рассмотрены технологии и оборудование для осаждения наночастиц серебра и других металлов на рулонный углеродный материал, состоящий из волокон толщиной 6 мкм, который используется в качестве электродного материала для источников тока.

УДК 537.22, 537.63

ВЫСОКОПРОВОДЯЩИЙ СЛОЙ НА ГРАНИЦЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА BaSrTiO₃ И ФЕРРОМАГНЕТИКА LaMnO₃

© 2019 г. Д. П. Павлов¹, Т. С. Шапошникова¹, А. О. Чибирев¹,
Ю. И. Головкин², В. М. Мухоморов², Р. Ф. Мамин¹

¹Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр Южный научный центр
Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия

Исследованы свойства гетероструктуры Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO₃/LaMnO₃ в случае, когда LaMnO₃ и Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO₃ наносятся в виде пленок на подложку SrTiO₃. В этом случае высокопроводящее состояние не обнаружено. В образцах гетероструктуры Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO₃/LaMnO₃ в «обычной» архитектуре, когда пленка Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO₃ наносится на монокристаллический образец LaMnO₃, обнаружено влияние магнитного поля на температурное поведение сопротивления.

УДК 537.312.62, 535.317.1, 539.213, 530.1

**АКТИВНЫЕ НАНООБЪЕКТЫ, НЕЙТРИНО И ПОЛЕ ХИГГСА
В АНИЗОТРОПНЫХ МОДЕЛЯХ ФРАКТАЛЬНОЙ КОСМОЛОГИИ**

© 2019 г. В. С. Абрамов

*Государственное учреждение Донецкий физико-технический институт
им. А.А. Галкина*

Исследуются взаимосвязи основных параметров активных нанобъектов (наночастицы, атомные дефекты, нейтрино) с бозоном Хиггса и полем Хиггса на основе моделей фрактальной космологии. Свойства активных нанобъектов зависят от давления, состояния физического вакуума и космологических параметров. Получены оценки предельной частоты вращения и размера наночастицы в лазерном поле с круговой поляризацией, массы покоя нейтрино.

УДК 535.2

**ОЦЕНКА УШИРЕНИЯ ТРИОННЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ
ТОНКОЙ ПЛЕНКИ Si(P)/Si(B)/ZNO В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ЭКСИТОН-ФОНОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ДРУГИХ ФАКТОРОВ**

© 2018 г. Попов И.И., Архиреев И.А., Вашурин Н.С., Воронин Д.Е., Гладышева А.А.,
Ксенофонтов С.И., Мороз А.В., Никитин Д.А., Степанов С.А., Сушенцов Н.И.

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет,
424001, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д.3
porov@volgatech.net*

Выполнены эксперименты по технологической возможности воспроизводства параметров трехслойных пленок Si(P)/Si(B)/ZnO и создание макетов резонансной среды для исследования трионных состояний. Выполнена оценка вклада экситон-фононного взаимодействия в однородное уширение трионных спектральных линий, в том числе и при воздействии продольного однородного магнитного поля.



Сопредседателю Школы
«Наука и инновации»,
академику РАЕН,
доктору физико-математических наук,
профессору
Виталию Владимировичу Самарцеву
исполняется

80 лет

Уважаемый, Виталий Владимирович,

от всей души поздравляем Вас с наступающим 80-летним юбилеем!

Желаем здоровья, любви, уюта, тепла, внимания, многомерной востребованности, характерной для Вас неумной энергии, творческого запала, удачи и успехов, еще больше благодарных учеников, хороших научных результатов.

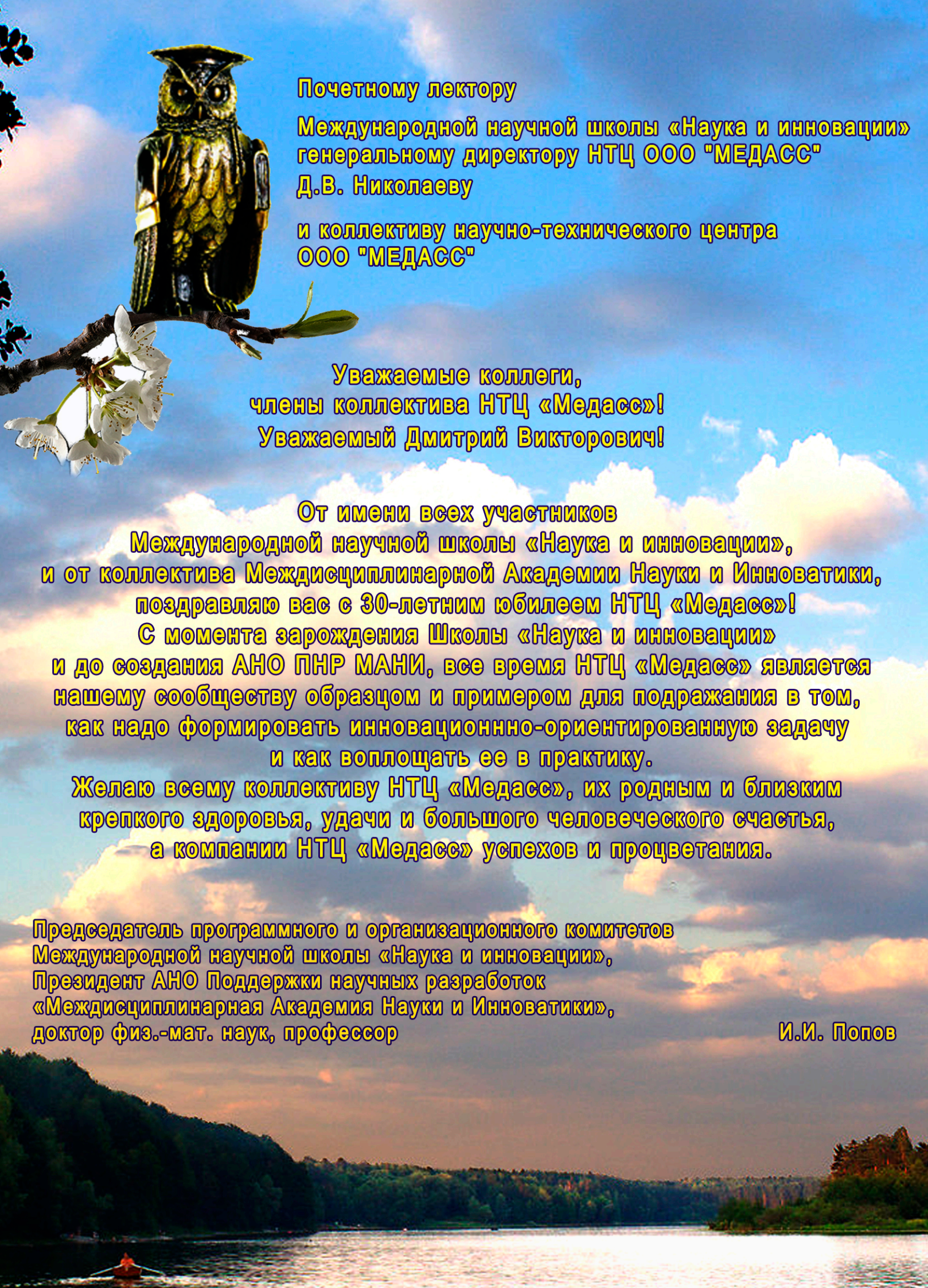
Вы, Виталий Владимирович – человек-эпоха. Эпоха, возрождения и развития **фотонного эха**, того самого явления, на основе которого Природа построила процессы масштабирования информации при построении иерархии материальных объектов тела человека и иерархии энергоинформационных солитонных потоков им соответствующих. Предсказанная Вами динамическая эхо-голография претендует в настоящее время на прототип биоэнергетической голографии, построенной на стимулированном фотонном эхе на интеллектонах человеческой души.

Вы – эпоха проведенных Вами серий конференций по фотонному эхо и когерентной спектроскопии, Чтений по квантовой оптике по квантовой оптике, конференций молодых ученых в Казани, серию международных научных школ «Наука и инновации». **Вы объединили** вокруг себя сотни ученых, посвятивших свою жизнь оптической науке. Для всех Вы открыты и доступны. **Ваша помощь и участие** ощущали научные лаборатории Казани, Москвы, Санкт-Петербурга, Самары, Волгограда, Казани, Великого Новгорода, Минска и Харькова, множества других городов и, конечно же, Йошкар-Олы. **Вы соавтор переводов на русский язык** большого ряда лучших монографий мира в области современной оптической науки. **Вами написано** около десятка научных монографий. Сотнями измеряется список Ваших научных публикаций. Десятками измеряется список Ваших учеников, подготовленных Вами докторов и кандидатов наук. Вы являетесь автором ряда выдающихся научных работ и входите в число наиболее признанных и цитируемых физиков г. Казани. **С Вашим именем связано** огромное количество научных проектов в области физики, поддержанных РФФИ, МНТЦ, Академией наук СССР и РАН, инновационно-ориентированных научных проектов.

Благодаря Вам появилась экспериментальная группа по фотонному эхо в Йошкар-Оле. Именно, по Вашей инициативе была **создана Международная научная школа «Наука и инновации»**, сопредседателем которой Вы стали с первого момента вместе со своим учеником профессором И.И. Поповым и соратником профессором А.П. Сухоруковым и остаетесь им до настоящего момента.

Виталий Владимирович, Вы замечательный человек, успешный и известный во всем мире ученый-физик, хороший товарищ и друг, любящий и верный супруг, наставник и воспитатель. Желаем Вам долгой и счастливой жизни.

Участники Международной научной школы «Наука и инновации»



Почетному лектору

Международной научной школы «Наука и инновации»
генеральному директору НТЦ ООО "МЕДАСС"

Д.В. Николаеву

и коллективу научно-технического центра
ООО "МЕДАСС"

Уважаемые коллеги,
члены коллектива НТЦ «Медасс»!
Уважаемый Дмитрий Викторович!

От имени всех участников

Международной научной школы «Наука и инновации»,
и от коллектива Междисциплинарной Академии Науки и Инноватики,
поздравляю вас с 30-летним юбилеем НТЦ «Медасс»!

С момента зарождения Школы «Наука и инновации»
и до создания АНО ПНР МАНИ, все время НТЦ «Медасс» является
нашему сообществу образцом и примером для подражания в том,
как надо формировать инновационно-ориентированную задачу
и как воплощать ее в практику.

Желаю всему коллективу НТЦ «Медасс», их родным и близким
крепкого здоровья, удачи и большого человеческого счастья,
а компании НТЦ «Медасс» успехов и процветания.

Председатель программного и организационного комитетов
Международной научной школы «Наука и инновации»,
Президент АНО Поддержки научных разработок
«Междисциплинарная Академия Науки и Инноватики»,
доктор физ.-мат. наук, профессор

И.И. Попов

ФОТОХРОНИКА ШКОЛЫ



Участники открытия Школы «Наука и инновации 2019»



**Председатель Школы
открывает ее заседания**



**Ученик и учитель:
Создатели Школы, доктора
физ.-мат наук, профессора
Попов И.И. и Самарцев В.В.**



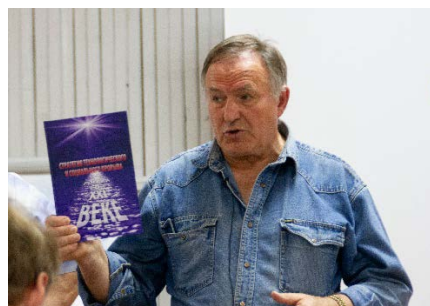
**Почетный лектор Школы
Д.В. Николаев**



Чубич Д.А., МФТИ (Москва)



**Агибалов А.А. (руководитель
компании «Интест»,
Кандидов В.П. (д.ф.-м.н.,
профессор МГУ), Иванов Д.А.
(проректор по науке МГТУ,
чл.-корр. РАН, профессор)**



**Профессор В.Д. Плыкин
вручает свою монографию
«Стратегия технологического и
социального прорыва России в XXI веке»**



**Ученый секретарь Школы-семинара
Каримуллин К.Р.**



**Старые друзья:
Попов И.И., Голенищев-Кутузов В.А., Сушенцов Н.И.
– заведующий кафедрой
КиПР ПГТУ, ответственной
за проведение Школы**



**Агибалов А.А.. – вице-президент АНО
ПНР МАНИ, руководитель компании
«Интест»**



**Самарцев В.В. и Сушенцов
Н.И.**



**Участники летней научной
сессии АНО ПНР
«Междисциплинарная
Академия Науки и
Инноватики»: Мы – за новое
мировоззрение**



**Люди дела: Ботиков А.Г. и Могильная
Т.Ю. (Москва), Голенищев-Кутузов
В.А. (г. Казань)**



**Попов И.И. (Йошкар-Ола) и
Могильная Т.Ю. (Москва)**



**Попов И.И.,
Голенищев-Кутузов В.А.,
Садыков М.Ф.**



**Сладкая парочка: почетный лектор
Школы и председатель локального
оргкомитета**



**Председатель локального
оргкомитета Гладышева Е.И.,
его члены: Гладышева А.А.,
Гладышева Е.А.**



**Заседание Школы:
Банний Ю.В. и другие**



Доцент Мороз А.В.



Участники церемонии закрытия Школы «Наука и инновации 2019»



**Д.т.н., профессор
В.Д. Плыкин
докладывает свою
Резонансную вихревую
модель Вселенной**



**Сопредседатели программного
комитета доктора физ.-мат. наук
член корр. РАН Иванов Д.В.,
президент МАНИ Попов И.И.,
академик РАЕН Самарцев В.В.**



**Преемственность поколений
(от 3 до 87): В.А. Голенищеву-Кутузову
(третий слева в 1 ряду) – 87 лет, Оле
Банной (третья слева во 2 ряду) – 3 года**



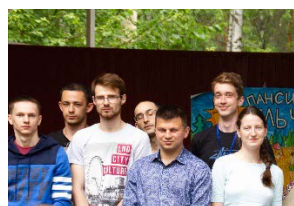
Председатель за работой



**Каримуллин К.Р. и
Абрамов В.С.
(прямо из Донецка)**



**Люди одной мечты (позаведовали
кафедрами – пора и отдохнуть)**



**Молодое поколение:
будущее Школы**



**Важная встреча: Самарцев В.В.
(Казань), Котова С.П. (Самара)
Романов В.С. (Казань)**



Организаторы Школы



Во время заседания



Перед началом заседания



Ученый секретарь отчитывается



В зоне отдыха



Собираемся!



Прогулка по Яльчику



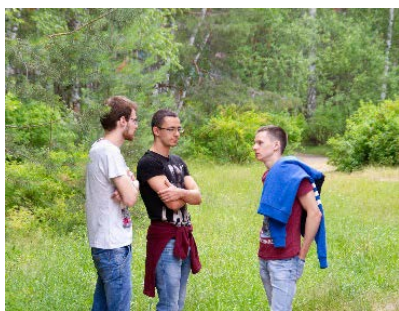
Лодочная станция



**З
аветная беседка**



На набережной Яльчика



На пикнике



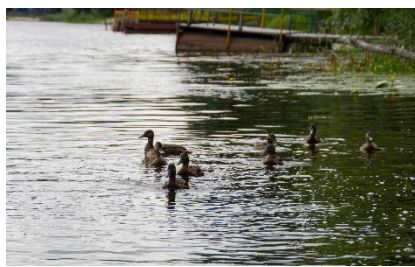
Во оно счастье!



**Щелькалина С.П.:
«Мы еще не все сказали!»**



В туристическом походе



Постоянные обитатели



Наш любимый лес



Свидание на Яльчике



Идем на лодочную прогулку



Отдых для души



А это – Мы!



Вот это Я!



А это – Мы!



Троицкие и Баев А.А. с ними что-то замышляют



Яльчикский Домовой



Нет ничего полезнее ценного совета



Школа закончилась: дорога домой!

ПЕРВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

Наука и инновации
ISS«SI-2019»

Пятнадцатая международная научная школа
«Наука и инновации — 2020»:

**Золото России — не в рудниках,
Золото России — в умах!**



Йошкар–Ола 2020

С 29 июня по 5 июля 2020 года в г. Йошкар–Оле на базе Поволжского государственного технологического университета и АНО ПНР «Междисциплинарной Академии Науки и Инноватики» с участием Казанского физико-технического института КазНЦ РАН и Института спектроскопии РАН проводится Четырнадцатая международная научная школа «Наука и инновации – 2020».

Организаторы Школы

Российский фонд фундаментальных исследований
Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»
Казанский физико-технический институт им.Е.К.Завойского – ФГБУН ФИЦ КазНЦ РАН
ФГБУН Институт спектроскопии РАН
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет»
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова»
АНО ПНР «Междисциплинарная Академия Науки и Инноватики»
Российская академия естествознания
Малое предприятие (бизнес-инкубатор высоких технологий) ООО «ОРОЛ»
ООО «Научно-производственная компания - Экоблеск»
ЧУ «Пансионат Яльчик»

Почтовый адрес и контакты Оргкомитета:

424001, Республика Марий Эл, г. Йошкар – Ола, пл. Ленина, 3; тел.: (8362)677806; E-mail: popov@volgatech.net
Информация о подготовке и проведении Школы:
http://www.volgatech.net/about_the_university/departments/846/?sphrase_id=6131

Программа научной школы включает:

1. Пленарное заседание
2. Секция «Инноватика»
3. XIII международный научный школа-семинар «Фундаментальные исследования и инновации: нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия»
Секция 3.1. *Нанооптические явления и эффекты*
Секция 3.2. *Оптоинформатика*
Секция 3.3. *Когерентная оптика и оптическая спектроскопия*
Секция 3.4. *Нанооптические явления и эффекты*
Секция 3.5. *Нанооптические материалы и методы их исследования*
Секция 3.6. *Нанооптика и фотоника*
Секция 3.7. *Нанооптические и экситонные приборы*
Секция 3.8. *Радиолокация и инфотелекоммуникации*
Стендовая секция 3.9. *Нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия*
4. Сателлитный симпозиум «Физика резонансных явлений и ее инновационные аспекты»
Секция 4.1. *«Физика – материаловедение – технологии – оборудование»*
Секция 4.2. *«Информационные технологии и их инновационный потенциал»*
Секция 4.3. *«Химия, новые материалы и химические технологии»*
5. Сателлитный симпозиум «Живые системы и их инновационная привлекательность»
Секция 5.1. *Медицинские проблемы здоровьесбережения и скрининговая оценка качества здоровья*
Секция 5.2. *Актуальные проблемы современной медицины*
Секция 5.3. *Актуальные проблемы современной медицинской диагностики*
Секция 5.4. *«Биотехнологии и экологические проблемы общества»*
6. Сателлитный симпозиум: Гуманитарные подходы к формированию инновационной среды
Секция 6.1. *Фундаментальные основы современного миропонимания*
Секция 6.2. *Гуманитарно-педагогические аспекты кадровой политики в инноватике*
7. Стендовая секция «Инновационно-ориентированные прикладные научные исследования»
8. Клуб профессорской мысли
9. Всероссийская молодежная научная школа-семинар «Наука и инновации – 2020»
10. Конкурс ученых-инноваторов «Оригинальный научный доклад»
11. Выставка-конкурс инновационных разработок

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ – ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

← 1 пробельная строка →

И. О. Фамилия автора и соавторов (через запятую)

← 1 пробельная строка →

место работы (почтовый адрес)

e-mail:

← 1 пробельная строка →

Аннотация (структурированный реферат) статьи: обоснование, цель, материал и методы, результаты исследования, заключение), – объемом не более 250 слов.

Ключевые слова: не более десяти слов

← 1 пробельная строка →

Аннотация на английском языке, являющаяся аутентичным переводом аннотации на русском языке.

Key words: not more than ten words

1. Введение. Это сообщение содержит инструкции по подготовке статей для Пятнадцатой международной научной школы «Наука и инновации – 2020» ISS «SI-2020»

Текст статьи должен быть подготовлен в текстовом редакторе Word, формат листа А4. Статья сопровождается **двумя отсканированными рецензиями (внешняя и внутренняя с заверенными подписями рецензентов) в pdf формате**. Статьи отправлять сразу на два адреса (указывать в адресной строке почтовой программы одновременно: председателю школы **Ивану Ивановичу Попову** biht.orol@gmail.com и сопредседателю, ученому секретарю школы **Вадиму Авенировичу Козлову** rooh12@yandex.ru. Перед отправкой статья должна быть проверена авторами на уникальность текста в одной из специализированных программ, например, **Etxt Антиплагиат**, уникальность текста должна составлять не менее 90%.

Требования к оформлению – следующие:

- объем статьи: для докладов – 6 полных страниц, для стендовых докладов – 4 страницы, для лекций и обзоров до 10 страниц;
- лазерная печать на белой бумаге формата А4 (210мм×297мм) с одной стороны листа;
- поля: слева, справа, сверху, снизу по 20 мм.

2. Инструкции. Текст должен быть разделен на следующие разделы напечатан следующим образом:

- шрифт Times New Roman, через **один** интервал;
- заголовок статьи 12 pt, прописными буквами, шрифт жирный, по центру, без кавычек и подчеркиваний, без условных сокращений, переноса слов и точки в конце;
- инициалы и фамилия автора (-ов): 12 pt, шрифт жирный, по центру;
- **место работы – 12 pt, курсив, по центру**, если авторы работают в разных организациях, то указывается место работы каждого автора с указанием надстрочного цифрового индекса после фамилии автора и аналогичного цифрового индекса перед названием места работы этого автора, каждое новое сообщение о месте работы очередного автора начинать с новой строки;
- электронная почта автора, с которым будет вестись переписка: 12 pt, по центру;
- основной текст: 12 pt, выравнивание по ширине, абзацный отступ 10 мм (**табуляцию не применять!**);
- страницы не нумеровать;
- секционные заголовки (**1. Введение**, содержащее обоснование необходимости проведенного исследования или литературного обзора, **2. Цель исследования**, **3. Материал и методы**, **4. Результаты исследования и их обсуждение**, **5. Выводы**) – 12 pt, шрифт жирный, по левому краю без абзаца, кавычек и подчеркиваний, условных сокращений, нумеруются арабскими цифрами, текст раздела продолжается на той же строке после секционного заголовка;
- мягкие переносы устанавливать;
- рисунки контрастные, оси координат, кривые и надписи на рисунках должны быть жирными и четкими;
- подписи к рисункам – 10 pt, через один интервал, ниже рисунка, по центру (если одна строка) или выравнивание по левому и правому краям (если более одной строки), одна строка пропускается после подписи к рисунку, нумерация рисунков последовательная – **Рис. 1. Рис. 2. ... Рис. N;**

- подписи к таблицам 10 pt, через один интервал, выше таблицы, по центру (если одна строка) или выравнивание по левому и правому краям (если более одной строки), одна строка пропускается после подписи таблицы, нумерация таблиц последовательная – **Таблица 1**, выравнивание вправо, предшествует подписи к таблице;

- текст в таблицах – 10 pt;

- формулы – на протяжении всей статьи формулы должны быть одного формата, примерные размеры: обычный – 12, крупный индекс – 10, формулы должны быть последовательно пронумерованы, формат номер – в правом крайнем положении от формулы в круглых скобках.

Пронумерованные рисунки и таблицы вставляются в текст. Каждая страница статьи должна быть пронумерована с обратной стороны листа.

Конфликт интересов – авторы подтверждают, что публикуемый ими материал не нарушает авторских и/или материальных прав третьих лиц, в том числе юридических, не являющихся авторами данной статьи.

Благодарности – авторы могут выразить благодарность физическим лицам и/или каким-либо организациям-грантодателям и т.п., помощь которых была существенна при проведении данного этапа исследовательской работы авторов.

Список литературы – 12 pt – оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008 «Библиографическая ссылка». Нумерация ссылок на литературу в квадратных скобках, например, [1] в порядке первого упоминания в тексте (не по алфавиту). Список литературы помещается в конце статьи в порядке ссылок в тексте (через один интервал, нумерация в виде «висячей строки», выравнивание по левому краю (если одна строка) или выравнивание по левому и правому краям (если более одной строки). Приводится полный список авторов каждой статьи, монографии или патента.

← 1 строка →

Список литературы

← 1 строка →

[1] Корнилов В.И. Турбулентный пограничный слой на теле вращения при периодическом вдуве/отсосе // Теплофизика и аэромеханика. – 2006. – Т. 13, № 3. – С. 369-385.

[2] Кузнецов А.Ю. Консорциум – механизм организации подписки на электронные ресурсы // Российский фонд фундаментальных исследований: десять лет служения российской науке. – М.: Науч. мир, 2003. – 2003. – С. 340-342.

[3] Тарасова В. И. Политическая история Латинской Америки: учеб. для вузов. – 2-е изд. – М.: Проспект, 2006. – С. 305-412.

[4] Глухов В. А. Исследование, разработка и построение системы электронной доставки документов в библиотеке: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новосибирск, 2000. – 18 с.

[5] Еськов Д.Н., Бонштедт Б.Э., Корешев С.Н., Лебедева Г.И., Серегин А.Г. Оптико-электронный аппарат // Патент России № 2122745. 1998. Бюл. № 33.

[6] Марьинских Д.М. Разработка ландшафтного плана как необходимое условие устойчивого развития города (на примере Тюмени) // Экология ландшафта и планирование землепользования: тезисы докл. Всерос. Конф. (Иркутск, 11-12 сент. 2000 г.). – Новосибирск, 2000. – С. 125-128.

[7] Литчфорд Е. У. С Белой Армией по Сибири [Электронный ресурс] // Восточный фронт Армии Генерала А. В. Колчака: сайт. – URL: <http://east-front.narod.ru/memo/latchford.htm> (дата обращения 23.08.2007).

Научное издание

**МАТЕРИАЛЫ
ЧЕТЫРНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ
«НАУКА И ИННОВАЦИИ – 2019»
ISS «SI–2019»**

**МАТЕРИАЛЫ
ЧЕТЫРНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ-СЕМИНАРА
«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ:
НАНООПТИКА, ФОТОНИКА И КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ»**

Ответственный за выпуск И. И. Попов

Все статьи публикуются в авторской редакции

Подписано к печати 30.08.2019. Формат 60х84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Тип Таймс.
Усл. печ. л. 26,27. Тираж 500 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано в ООО издательско-полиграфическая фирма «СТРИНГ»
424000 Йошкар-Ола, ул. Строителей, 95



**Котова
Светлана
Павловна**

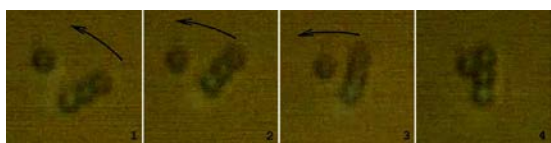
ПОБЕДИТЕЛЬ КОНКУРСА “ОРИГИНАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ - 2019”

**за цикл работ в области разработки методов управления
характеристиками световых полей
в задачах оптической манипуляции микроскопическими объектами**

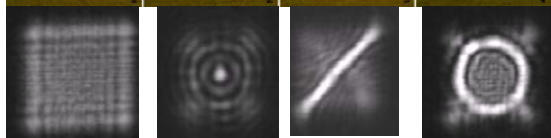
В научном коллективе, руководимой С.П.Котовой, разработаны новые способы формирования оптических ловушек для захвата, удержания и перемещения по заданным траекториям микроскопических объектов. На основе оптики спиральных пучков света созданы фазовые элементы и сформированы вихревые поля в виде заданных кривых. Наличие углового момента позволяет перемещать захваченные микроскопические объекты по траекториям, заданным распределением интенсивности светового поля, а также деформировать удлинённые объекты или ансамбли микрообъектов. На рисунках представлены примеры перемещения частиц по различным траекториям и деформирования ансамбля живых микроорганизмов. Метод перспективен для динамического манипулирования посредством управляемых многоэлементных фазовых пространственных модуляторов.



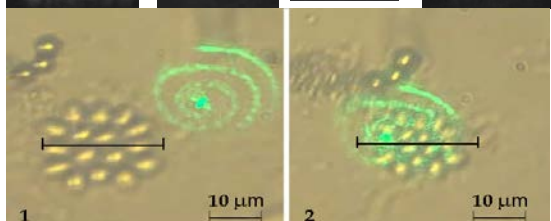
Сферические частицы латекса диаметром 1.2 мкм перемещаются по траектории, заданной распределением интенсивности светового поля: вдоль границы треугольника, квадрата, спирали Архимеда



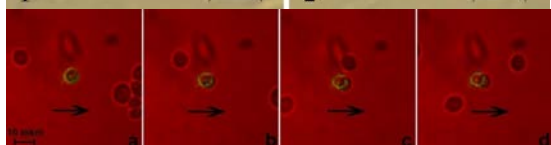
Захват и поворот сфер латекса диаметром 1.2 мкм ловушкой в виде отрезка



Управляемые оптические ловушки, сформированные с помощью фокусатора: точечная, в форме отрезка, в форме кольца



Под воздействием вихревого светового поля в форме спирали Архимеда ансамбль биологических микроорганизмов сжался в диаметре на 25 %.



Эксперимент по захвату и удержанию контурной ловушкой одиночной клетки дрожжей. Стрелка показывает направление перемещения столика микроскопа.

Предложен, разработан и создан компактный перестраиваемый четырехканальный жидкокристаллический фокусатор, позволяющий формировать различные типы оптических ловушек и динамически управлять ими. Реализованы точечные ловушки, ловушки в виде отрезка колец, эллипсов и С-образные. Продемонстрированы захват и удержание сформированными ловушками прозрачных и поглощающих микрообъектов (см. рисунки). Являясь компактным и технологически более простым по сравнению с многоэлементными пространственными модуляторами света, устройство представляет интерес для практического использования, как в лазерных пинцетах, так и в системах оптической бесконтактной диагностики.