

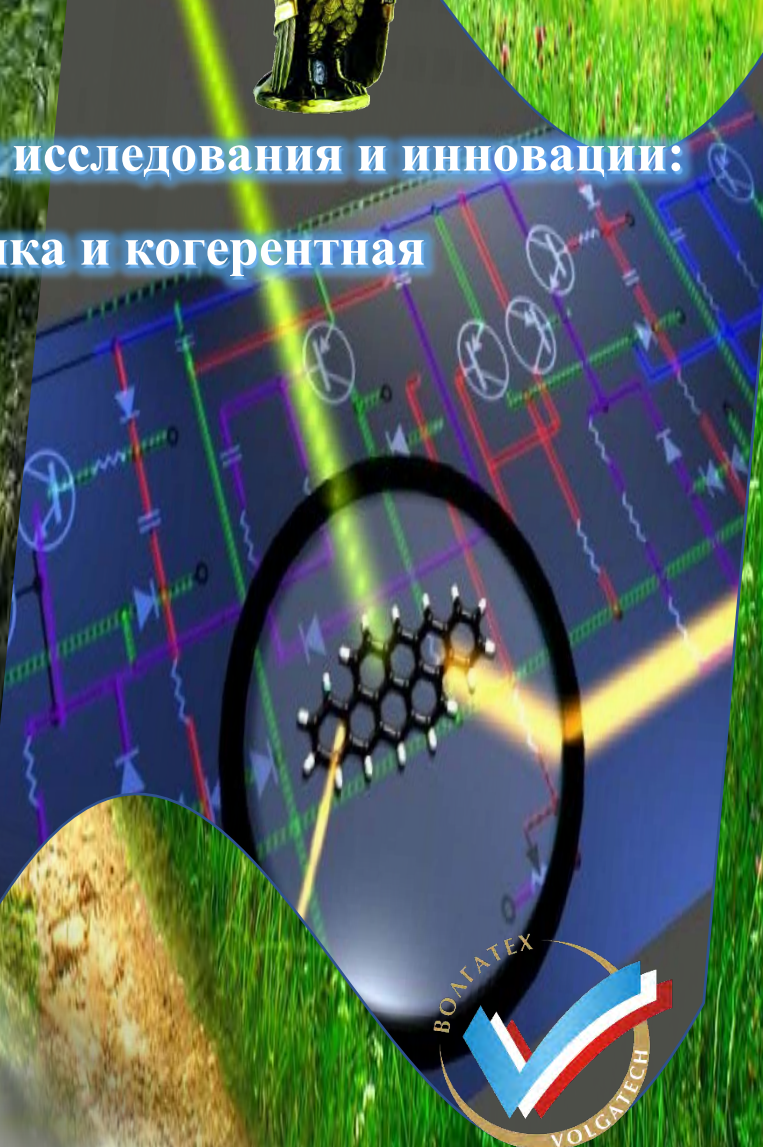
ХII Международная научная школа «Наука и инновации 2017»



ХII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА-СЕМИНАР



«Фундаментальные исследования и инновации:
нанооптика, фотоника и когерентная
спектроскопия»



Йошкар-Ола 2017



Участники открытия Школы

Научно-технический совет Государственной корпорации «Ростех»
Российский фонд фундаментальных исследований
Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере
Министерство образования и науки Республики Марий Эл
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-Экоблеск»
Государственный природный национальный парк «Марий Чодра»
ЧУ «Пансионат Яльчик»

МАТЕРИАЛЫ
ДВЕНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ
«НАУКА И ИННОВАЦИИ-2017»
ISS «SI-2017»

Материалы двенадцатой международной научной школы-семинара
«Фундаментальные исследования и инновации:
нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия»

10 - 16 июля 2017 года

Йошкар-Ола
2017

Программный комитет

Председатель

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

Сопредседатели:

В.Е. Шебашов – к.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО ПГТУ
А.И. Каширин – к.э.н., профессор, заместитель председателя Научно-технического совета Государственной корпорации «Ростех»

В.В. Самарцев – академик РАЕН, д.ф.-м.н., профессор, КФТИ КазНЦ РАН
Козлов В.А. (Россия, Чебоксары) – чл. корр. РАЕ, д.б.н., к.мед.н., профессор ФГБОУ ВО ЧГУ, ученый секретарь

Члены программного комитета:

В.С. Абрамов (Украина, Донецк)
А.У. Баходуров (Туркменистан, Худжан)
С.Д. Бородулин (Украина, Одесса)
С.А. Васаилиас (Греция)
Е.А. Виноградов (Россия, Москва-Троицк, чл. корр. РАН)
А.Г. Витухновский (Россия, Москва)
В.В. Воронин (Россия, Москва)
В.А. Голенищев-Кутузов (Россия, Казань)
А.В. Голенищев-Кутузов (Россия, Казань)
Ю.Б. Грунин (Россия, Йошкар-Ола, академик РАЕН)
А. Dimitrov (FL Group, Sofia, Bulgaria)
С.В. Еремеев (Россия, Москва)
В.К. Иванов (Россия, Йошкар-Ола)
Д.В. Иванов (Россия, Йошкар-Ола, чл. корр. РАН)
А.А. Калачев (Россия, Казань)
А.Н. Калиш (Россия, Москва)
Д.И. Камалова (Россия, Казань)
К.Р. Каримуллин (Россия, Москва-Троицк)
А.Н. Леухин (Россия, Йошкар-Ола)
С.А. Моисеев (Россия, Казань)

А.В. Наумов (Россия, Москва-Троицк, профессор РАН)
В.Г. Наводнов (Россия, Йошкар-Ола, академик РАЕН, чл.-корр. АИО)
Д.В. Николаев (Россия, Москва)
И.С. Осадько (Россия, Москва-Троицк)
А.А. Роженцов (Россия, Москва-Троицк)
Р.Ф. Полищук (Россия, Москва)
С.Г. Руднев (Россия, Москва)
М.Х. Салахов (Россия, Казань, академик АНТ)
К.М. Салихов (Россия, Казань, академик РАН)
Н.И. Сушенцов (Россия, Йошкар-Ола)
V. Serbezov (FLGroup, Sofia, Bulgaria)
А.Л. Степанов (Россия, Казань)
В.В. Стреналюк (Россия, Москва)
А.И. Фишман (Россия, Казань)
В.Н. Шабалин (Россия, Москва, академик РАН)
С.Н. Шатохина (Россия, Москва)
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:

А.А. Калачев – д.ф.-м.н., профессор, директор КазФТИ КНЦ РАН
Д.В. Иванов – чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор РАН проректор по НР ФГБОУ ВО ПГТУ
Т.М. Гусакова – к.э.н., доцент, Первый заместитель министра образования и науки РМЭ
Козлов В.А. – чл. корр. РАЕ, д.б.н., к.мед.н., профессор ФГБОУ ВО ЧГУ, ученый секретарь

Члены оргкомитета:

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

А.В. Мороз (Россия, Йошкар-Ола)
А.А. Роженцов (Йошкар-Ола)
В.Т. Сидорова (Йошкар-Ола)
А.Л. Степанов (Казань)
С.А. Степанов (Казань)
Н.И. Сушенцов (Йошкар-Ола)
С.А. Туйкин (Москва)
Д.Е. Шашин (Россия, 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:

Маслеников Антон Владимирович, e-mail: stratum_@mail.ru, тел. +7 917 713 92 91

М341 Материалы Двенадцатой международной научной школы «Наука и инновации-2017» ISS «SI-2017» / Редакционная коллегия: проф. И. И. Попов; чл.-корр. РАЕ, проф. В. А. Козлов; акад. РАЕН, проф. В. В. Самарцев. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. – 274 с.

ISBN 978-5-8158-1872-9

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 978-5-8158-1872-9

© ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

| | | |
|--|---|-----|
| 1. | Попов И.И., Козлов В.А. ЦЕЛИ ЗАДАЧИ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ «НАУКА И ИННОВАЦИИ» | 7 |
| II НАНООПТИКА, ФОТОНИКА И КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ | | |
| 2. | Виноградов Е.А., Компанец О.Н. ОПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ПОЗНАНИИ МИРА И ДЛЯ ПРАКТИКИ | 15 |
| 3. | Виноградов Е.А. ДЕМОНСТРАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДОВ ИК И РАМАН СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ | 36 |
| 4. | Абрамов В.С. ФРАКТАЛЬНЫЕ КВАНТОВЫЕ НАНОСИСТЕМЫ С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ | 49 |
| 5. | Каримуллин К.Р., Аржанов А.И., Наумов А.В. ФОТОННОЕ ЭХО В АНСАМБЛЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК | 58 |
| 6. | Турайханов Д.А., Шкаликов А.В., Латыпов И.З., Калачев А.А. ГЕНЕРАЦИЯ ОДНОФОТОННЫХ СОСТОЯНИЙ С ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ В РЕЖИМЕ СПОНТАННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ В КРИСТАЛЛЕ РР LiNbO ₃ | 63 |
| III ФИЗИКА-МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ-ТЕХНОЛОГИИ-ОБОРУДОВАНИЕ | | |
| 7. | Голенищев-Кутузов А. В., Голенищев-Кутузов В. А., Марданов Г. Д. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СТАРЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ И МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ РЕАЛЬНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ | 67 |
| 8. | Венедиктов С.В., Державин А.С., Селивестров Н.В., Якименко О.А., Иванов П.В., Лебедев А.Е., Лисов Э.Ю. РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 0,4КВ | 76 |
| 9. | Бородулин С.Д. БИОСВАРОЧНЫЙ АГРЕГАТ: ЛИНЕЙКА ИНСТРУМЕНТОВ И РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС "NICK. PIROGOV" ДЛЯ СВАРКИ ЖИВЫХ ТКАНЕЙ» | 83 |
| 10. | Леухин А.Н., Парсаев Н.В., Роженцов А.А., Безродный В.И., Карасев Д.В., Коковихина Н.А., Воронин А.А., Иванов А.И. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ РАДИОЛОКАТОРОВ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ | 87 |
| 11. | Леухин В.Н., Шабдаров Е.В. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ПОДГОНКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЗИСТОРОВ | 103 |
| 12. | Бортник Д.В., Орлов А.И. СИЛОВАЯ ЧАСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ГАРМОНИК ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОЙ НАГРУЗКИ | 109 |
| 13. | Котова С.П., Майорова А.М., Самагин С.А. ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ФОКУСАТОРЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ С ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ | 115 |
| 14. | Зыков С.А., Воронцов Д.А., Масленников А.В., Попов И.И. ДВУХЧАСТОТНЫЙ ФАЗОВЫЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ДАЛЬНОСТИ МЕТАНИЯ СПОРТИВНОГО СНАРЯДА И ЕГО ЭЛЕКТРОННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НА СВЧ-МОДУЛЯХ | 122 |

15. **Масленников А.В., Попов И.И.**
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
РЕГИСТРАЦИИ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ УПРАЖНЕНИЯ
СИЛОВОЙ ГИМНАСТИКИ ДЛЯ ВФСК ГТО 125
16. **Мороз А.В., Рыжова Е.А.**
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЕНОК
МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ 129
17. **Савельев А.А., Орлов А.И.**
УСТРОЙСТВО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ
ПО ФАЗАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4 КВ 132
18. **Сидорова В.Т., Карчин В.В.**
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧКИ РАЗМЫКАНИЯ В СЛОЖНОЗАМКНУТЫХ
ВОЗДУШНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 КВ 136
19. **Сушенцов Н.И., Степанов С.А., Шашин Д.Е.**
РАЗРАБОТКА ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ, МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ 139
20. **Шабдаров Е. В., Леухин В. Н.**
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА
НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОЧНОГО РЕЗИСТОРА 142
21. **Шатский М.А., Щелькалин М.Ю.**
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ REDMINE
ПРИ РАЗРАБОТКЕ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ 147
- IV ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ**
22. **Полищук Р.Ф.**
ЭТНОПОЛИТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА И УНИВЕРСУМ 152
23. **Полищук Р.Ф.**
ПОЧЕМУ ИМПЕРИИ ВОЗНИКАЮТ И РАСПАДАЮТСЯ 155
24. **Полищук Р.Ф.**
НА ПУТИ К ТЕОРИИ ВСЕГО: ОБОБЩЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ТЯГОТЕНИЯ НЬЮТОНА 158
25. **Полищук Р.Ф.**
ОТ ТЕОДИЦЕИ К НАУЧНОМУ РЕАЛИЗМУ. К 10-ЛЕТИЮ «ОБРАЩЕНИЯ ГИНЗБУРГА-
АЛФЁРОВА» ПРОТИВ КЛЕРИКАЛИЗАЦИИ РОССИИ 165
- V СКРИНИНГОВАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗДОРОВЬЯ**
26. **Щелькалина С.П., Крючков П. М., Колесников В.А., Николаев Д.В.**
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ БИОИМПЕДАНСНОГО АНАЛИЗА 172
27. **Николаев Д.В., Колесников В.А., Щелькалина С.П., Коростылев К.А.**
НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕХНОЛОГИИ БИОИМПЕДАНСНОГО ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗА 185
- VI ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ИННОВАЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ**
28. **Воронов Л. Н., Козлов В. А., Раматова А. М.**
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОРКОВЫХ ФОРМАЦИЙ КОНЕЧНОГО МОЗГА ПТИЦ С
РАЗЛИЧНО РАЗВИТОЙ РАССУДОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ МЕТОДОМ ФРАКТАЛОВ 191
29. **Воронов Л.Н., Аbruков В.С., Козлов В.А.**
ИЗУЧЕНИЕ ЦИТОАРХИТЕКТониКИ КОНЕЧНОГО МОЗГА ПТИЦ
МЕТОДОМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ 199

30. Еремеев В.Н., Шуканов Р.А.
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЕСТЕСТВЕННОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТИ
СВИНЕЙ В МОДЕЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНОГО
АГРОБИОГЕОЦЕНОЗА РЕГИОНА 206
31. Ефремова О.А., Любовцева Л.А., Гамзалиева Ш.Я., Семёнова М.Б.
ВЛИЯНИЕ КРАСНОГО СВЕТОДИОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА
БИОАМИНСОДЕРЖАЩИЕ СТРУКТУРЫ КОЖИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЫШЕЙ 210
32. Козлов В.А., Сапожников С.П., Голенков А.В., Фуфаева А.И., Николаева О.В.,
Александрова В.Ю., Петрова Ю.В.
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АМИЛОИДА 212
33. Лежнина М.Н., Шуканов Р. А., Шуканов А.А.
КОРРЕКЦИЯ ИММУНОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА БОРОВКОВ
ЦЕОЛИТАМИ РАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В АГРОПОЧВЕННЫХ
УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАКАМЬЯ РЕГИОНА 219
34. Фурина Р.Р., Голодюк Е.А., Чуркина С.А., Гремякина М.О.,
Роженцов А.А., Митракова Н.Н.
МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ОНКОЗАБОЛЕВАНИЙ
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЛЕТУЧИХ МЕТАБОЛИТОВ МОЧИ 223

VII НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

35. Колямшин О.А., Митрасов Ю.Н., Чигарова Н.А., Кондратьева О.В.
СИНТЕЗЫ ПРОИЗВОДНЫХ ПЕРМЕТРИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА
ОСНОВЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ S- И N-НУКЛЕОФИЛОВ 229
36. Колямшин О.А., Митрасов Ю.Н., Чигарова Н.А.
ГЕМ-ДИХЛОРЦИКЛОПРОПИЛЗАМЕЩЕННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ
ТИОЦИАНУРОВОЙ КИСЛОТЫ 233
37. Колямшин О.А., Данилов В.А., Митрасов Ю.Н.
2-МЕТАКРИЛОИЛОКСИЭТИЛОВЫЙ ЭФИР 4-(2,5-ДИОКСО-2,5-ДИГИДРО-1H-
ПИРРОЛ-1-ИЛ)БЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ И ПОЛИМЕРЫ НА ЕГО ОСНОВЕ 236
38. Митрасов Ю.Н., Чигарова Н.А., Колямшин О.А.
СИНТЕЗ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ
АММОНИЕВЫХ СОЛЕЙ МАЛЕАМОВЫХ КИСЛОТ 241

VIII НАУЧНО МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ

39. Гильмутдинов Т.С., Гильмутдинов Р.Т., Козлов В.А.
МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ К ВЫПОЛНЕНИЮ НОРМ ВФСК ГТО
В ПЕРИОД ОБУЧЕНИЯ ПО ФИЗВОСПИТАНИЮ В ВУЗЕ 244
40. Митрасов Ю. Н., Парамонова Н. Г., Михайлова Т. В., Козлов В. А.
ИЗ ОПЫТА РУКОВОДСТВА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ УЧАЩИХСЯ ПО ХИМИИ 249

ЛЕТОПИСЬ СОБЫТИЙ ИЗ ЖИЗНИ УЧАСТНИКОВ ШКОЛЫ

41. Попов И.И., Каримуллин К.Р.
ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ОПТИКИ И СПЕКТРОСКОПИИ НА ШКОЛЕ
«НАУКА И ИННОВАЦИИ»: ОТ САТЕЛЛИТНОГО СИМПОЗИУМА
ДО ШКОЛЫ-СЕМИНАРА «ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ:
НАНООПТИКА, ФОТОНИКА И КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ» 256

ФОТОХРОНИКА ШКОЛЫ

264

ПЕРВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

273



ООО «НПК -Экоблеск» - молодая научная инновационная компания, занимающаяся разработкой и производством неаллергенных «зеленых» натуральных моющих средств.

Компания располагает современным технологическим оборудованием, передовыми уникальными технологиями, соответствующими международным стандартам. Производственная мощность компании составляет **160 тыс. литров в месяц.**



Неаллергенные «зеленые» натуральные моющие средства серии «Экоблеск» изготавливаются из растительного сырья в строгом соответствии с технологией, разработанной российскими учеными.

«Экоблеск», созданный только из натурального сырья, качественно отмывает и обезжиривает поверхности, не оставляя разводов и предотвращая помутнение блестящих поверхностей изделий. Кроме того он обладает уникальным свойством разложения удаляемых органических молекул жиров, масел и продуктов на их основе, тем самым понижая значение ПДК в стоках.

Комбинации биомолекул, найденные химиками ООО «НПК-Экоблеск», позволили создать серию моющих средств для применения в различных промышленно-индустриальных отраслях: машиностроительные и приборостроительные предприятия, ювелирные заводы, пользователи оптических приборов и изделий. Средство обладает высокой эффективностью действующих растворов, что позволяет сократить затраты моющих цехов.

Стол заказов: +7-917-717-55-89 email: spc.ecoblesc@gmail.com

Адрес: Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Волкова, 50

УДК: 61.001(470.344)

**ЦЕЛИ ЗАДАЧИ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ «НАУКА И ИННОВАЦИИ»**

И.И. Попов¹, В.А. Козлов²

¹ФГБОУ ВО Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола
biht.orol@gmail.com

²ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», г. Чебоксары
pooh12@yandex.ru

Великие умы обсуждают идеи.
Средние умы обсуждают события.
Мелкие умы обсуждают людей.
Элеонора Рузвельт.

Принцип устойчивости к финансовым потокам:
Уровень внутренней культуры человека определяет количество денег, которыми он может управлять, не разрушая своей нравственности.
Иван Попов (Школа «Наука и инновации»)

Школа наука и инновации – постоянно развивающийся проект.

Цель школы-семинара заключается в выявлении тенденций развития фундаментальных и прикладных научных исследований по заявленной проблематике, перспективных с позиции вклада в развитие национальной экономики, и разработка подхода для оценки потенциальной капитализации результатов исследований.

Одной из первоочередных задач инновационной экономики является генерация идей создания высокотехнологичного инновационного бизнеса. Как подать результаты фундаментальных и фундаментально-поисковых научных исследований, чтобы вызвать интерес у организаторов инновационного бизнеса? Ответ на этот вопрос придает научной деятельности особую мотивацию и мобилизует творческую активность наиболее талантливой части общества на развитие инновационной экономики.

К основным задачам Школы относятся:

- Разработка оригинальных подходов к формированию инновационной среды в научном сообществе.
- Заслушивание и отбор научных сообщений, обладающих перспективными междисциплинарными контактами.
- Формирование моду-задающих направлений инновационной деятельности.
- Формирование перечня идей для создания перспективных инновационных проектов.
- Реализация технологий междисциплинарной «сшивки» в инновационный проект результатов работы исполнителей, обладающих совместимым научным потенциалом, и позиционирование совместного предложения для инвестора.
- Развитие технологий обновления действующего инновационного бизнеса.

Разработка оригинальных подходов к формированию инновационной среды в научном сообществе опирается на ключевые понятия:

- Оценка инновационной перспективы научных сообщений на этапе зарождения идей, когда предпочтение отдается качеству реализации имеющегося творческого потенциала.
- Внутренняя свобода, обеспечивающая состояние духотворчества – залог достижения оригинального инновационного результата, на пути достижения которого главным для человек является не количество денег, а качество их применения в будущем.
- Предоставление участнику Школы «Наука и инновации» возможности совершенствования накопленного историей философского опыта развития современного мира.
- Встраивание в современные методологические тенденции организации инновационной деятельности.

Анализ и отбор научных сообщений, обладающих перспективными междисциплинарными контактами, включает:

- Заслушивание научных сообщений, содержащих оригинальность как на фундаментальном уровне, так и уровне практического применения.
- Поиск в содержании услышанных сообщений, контактов для применения в работах других участников Школы «Наука и инновации» как в смежных областях исследований, так и других, совершенно неожиданных, областях их практического применения, то есть – формирование пространства применимости научной разработки.
- Анализ актуальных задач практического применения научных результатов, востребованного практической жизнью.

В работе Школы формирование модуля задающих направлений инновационной деятельности подразумевает следующее.

Методология:

- Аккумуляция знаний, способных решать задачи вызовов современными тенденциями развития и жизнедеятельности общества.
- Поиск партнеров, усиливающих эффективность применения новых знаний.
- Работа с держателями финансовых средств по включению их решения актуальных задач современности на его ранних этапах.

Примеры рассматриваемых на Школе направлений, формирующихся рыночную моду:

- Трехмерный динамический наноскоп.
- Регистратор в масштабе реального времени фемтосекундных временных интервалов.
- Многофакторная, скрининговая ранняя диагностика онкологических заболеваний.
- ВЧ-сварка артерий и вен как современный путь развития направления «Медицина транспорта».
- Химические технологии замены лакокрасочных покрытий, включая снятие старой краски, подготовка поверхности и нанесение новых покрытий, работающих в агрессивной среде.
- Создание корпоративных высокозащищенных оптических систем передачи данных.
- Производство особо чистого монокристалла карбида кремния для нужд электроники и светотехники.
- Производство фокусаторов для модуляции информации в квантовой информатике.

Перечень рассматриваемых на Школе идей для создания перспективных инновационных проектов:

- Оборудование для автоматической регистрации дальности метания спортивных снарядов.
- Оборудование для автоматической регистрации результата при выполнении упражнений силовой гимнастики, включая выполнение нормативов ВФСК ГТО.
- Технология оценки физической подготовленности населения на основе автоматической регистрации результатов тестовой и спортивной части ВФСК ГТО.
- Безгистерезисный редуктор.
- Медицинский скальпель на основе частично стабилизированного циркония с высокой остротой нескальывающегося лезвия, долговечностью и удобством в эксплуатации.

Технология междисциплинарной «сшивки» в инновационный проект исполнителей, обладающих совместимым научным потенциалом, и позиционирование совместного предложения для инвестора на Школе применена для подготовки проектов:

1. Система удаленной ранней многофакторной скрининговой диагностики онкологических заболеваний.
2. Динамический 3D наноскоп.
3. Технология и оборудование для ВЧ-сварки сосудов человека.
4. Заявка на инвестирование проекта «Система удаленной ранней многофакторной скрининговой диагностики онкологических заболеваний» передана на рассмотрение инвестору.

Краткая характеристика последнего проекта включает следующее:

- Создание системы ранней скрининговой диагностики онкологических заболеваний, обеспечивающей быстрое получение заключения об отсутствии или наличии онкологического заболевания из серии контролируемых этим методом онкологических заболеваний на ранней и последующих фазах их развития, обладающей высокой достоверностью за счет исследования большой группы биологических маркеров.
- Диагностика обеспечивается за счет обнаружения большого количества летучих метаболитов мочи, качественный состав (сочетание) которых критически зависит от вида опухолевого процесса и отличается от их комбинации у лиц, не имеющих опухолевого процесса, и верифицируется морфологическим анализом тканей онкологических больных на различных стадиях и фазах роста злокачественной опухоли.
- Анализ этого большого массива данных осуществляется с помощью программного обеспечения автоматического распознавания первичной информации и завершается постановкой предварительного диагноза.
- Ведутся переговоры как с отечественными, так и зарубежными инвесторами.

Технология обновления действующего инновационного бизнеса продемонстрирована участникам Школы на примере опыта работы Научно-производственной компании «Медасс» (г. Москва) по созданию и продвижению на рынок инновационных продуктов на основе методов биоимпедансного анализа состава тела человека.

В работе Школы-семинара приняли участие специалисты научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений РФ, а также представители зарубежных научно-исследовательских организаций и университетов – всего 96 участников из 20 организаций (41 молодых ученых, студентов и аспирантов возрасте до 35 лет). Представлено: 23 пленарных лекций, 22 устных доклада, 8 стендовых докладов; всего – 98 авторов из 4 стран (Российская Федерация, Болгария, Украина, Таджикистан).

На школе рассматриваются решения фундаментальных проблем когерентной и нелинейной оптики, физической оптики и оптической спектроскопии, связанных с:

- ✓ разработкой методов и проведением исследований новых материалов с квантовыми структурами,
- ✓ обнаружением и развитием физических основ нанооптических явлений и новых физических эффектов, оптических наноэлектронных и экситонных систем,
- ✓ развитием методов и средств оптоинформатики, включая квантовую память и получение нанооптических элементов,
- ✓ разработкой физических основ построения новых приборов, использующих принципы нанооптики и экситонные состояния полупроводниковых тонких пленок,
- ✓ разработкой методов ранней скрининговой диагностики онкологических заболеваний на основе оптической спектроскопии летучих метаболитов и морфологического состава фаций мочи человека,
- ✓ созданием научно-технологического задела в области оптики, спектроскопии, квантовой электроники и радиофизики для 1) координации усилий специалистов университетов, НИИ и научно-производственных предприятий, работающих в области современных оптических и электронных технологий; 2) подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации. развития современных технологий в Российской Федерации; 3) создания и развития научно-технологического задела в квантовой оптике и квантовой электронике, нанооптике и когерентная спектроскопия, фотонике и приборостроении для координации усилий специалистов университетов, НИИ и научно-производственных предприятий, работающих в области современных оптических и электронных технологий, формирующих отечественный инновационный потенциал; 4) подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации.

На школе-семинаре в рамках работы 10 секций и 4 конкурсов было проведено обсуждение результатов исследований и выявлены наиболее перспективные из них с позиции формирования основы для создания конкурентоспособных высокотехнологичных рыночных

продуктов по передовым направлениям российских и мировых исследований в области оптики и смежных с ней областях. Приглашенные лекторы знакомили участников Школы с актуальными направлениями современных научных исследований, которые обладают потенциалом активизации инновационной деятельности:

- Академик РАН, д.ф.-м.н., профессор Салихов К.М. (научный руководитель КФТИ КазНЦ РАН) прочитал лекцию «От случайного процесса к упорядоченному движению» по методологии ведения фундаментальных исследований.

- Чл. корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Е.А. Виноградов (ИСАН) прочитал лекцию «оптические спектры и их значение в познании мира и для практики» на примере выдающихся работ Института спектроскопии Российской Академии Наук (ИСАН) показал современные возможности спектроскопической науки для любых инновационно-ориентированных исследований, опирающихся на свойства материалов и биологических сред.

В своем пленарном докладе ИК и Раман спектроскопия для контроля и исследования тонкопленочных покрытий Е.А. Виноградов рассмотрел применение колебательной спектроскопии для характеристики неорганических сверхтвердых и антикоррозионных покрытий, приготовленных как методами напыления, так и методами химичкой реакции на поверхности. Приведены примеры исследования и характеристики моно-, 3- и 11-слоевых органических пленок С18N на медных подложках, приготовленных методом Лэнгмюра-Блоджет, а также самоорганизующихся монослоевых пленок биомолекул НДРА на подложках TiO₂/TiN/Nitinol, используемых при приготовлении имплантантов суставов.

Чл. корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор РАН Д.В. Иванов (проректор по научной работе ПГТУ) прочитал лекцию по проблеме развития систем радиозондирования верхних слоев атмосферы.

Д.ф.-м.н., профессор А.Н. Леухин (проректор по научной работе Марийского государственного университета) прочитал лекцию по современному состоянию исследований и по областям применения методов формирования 3D радиолокационных изображений в многокомпозиционных интерферометрических системах дистанционного зондирования Земли.

Д.ф.-м.н., профессор И.И. Попов выступил с пленарным докладом «Фотонное эхо – как метод фемтосекундной магнитооптической спектроскопии тонких текстурированных пленок», в котором сообщил о новых возможностях фемтосекундного стимулированного фотонного эха на локализованных экситонных состояниях тонких пленок. По обнаруженной периодической модуляции спада интенсивности СФЭ с ростом временного интервала между возбуждающими импульсами проведена оценка g-фактора квантового перехода. По значению g-фактора сделан вывод о формировании эффекта нефарадеевского поворота плоскости поляризации фотонного эха на сложных (заряженных) экситонных состояниях.

Пленарный доклад д.ф.-м.н., профессора С.В. Чекалина был посвящен формированию световых пульс и генерации широкополосного суперконтинуума при филаментации фемтосекундных ИК импульсов (пленарный доклад). Длительность световой пули, измеренная методом лазерной колорации, была около одного периода колебаний светового поля, а диаметр менее 10 мкм. Численно рассчитанные параметры световой пули хорошо согласуются с экспериментально измеренными.

В докладе д.т.н. профессора А.А. Роженцова показаны подходы к обработке сигналов 3D-наноскопа, позволяющие вести обработку изображения в режиме on-line.

Также на школе рассматривались новейшие результаты по изготовлению алмазной дифракционной решетки на основе ионной имплантации, STED-наноитографии трехмерных структур, новые методы исследования квантовых точек.

В докладе Н.Н. Митраковой, А.А. Роженцова предложена ранняя скрининговая диагностика онкологических заболеваний на основе летучих метаболитов мочи.

На основе хроматомасспектроскопии летучих метаболитов мочи человека осуществляется ранний и последующие этапы диагностики онкологических заболеваний.

Профессор Т. Ю. Могильная с соавторами предложила применение метода когерентной спектроскопии к диагностике онкозаболеваний на ранних стадиях. В докладе сообщается, что в течение ряда лет ими разрабатывался метод определения наличия патогенных организмов и on-line диагностики генномодифицированных продуктов. Метод основан на анализе спектров вынужденного рассеяния Мандельштамма-Бриллюэна в водных растворах. Были исследованы спектры ряда вирусов бактерий и наномаркеров для метода ПЦР. С целью возможности применения метода к диагностике онкологических заболеваний, были сняты спектры карциномы НТ29, которые подтвердили перспективность развития этого направления.

С.Д. Бородулин в пленарном докладе сообщил о ВЧ-сварке сосудов человека как о современном пути развития направления «Медицина транспорта». В работе представлен инструмент для сварки сосудов малого диаметра от 3 - 4 мм конец в конец. Конструкция инструмента состоит из двух половинок, что позволяет проводить операции шунтирования или реконструкции органов. Новый метод позволяет одной бригаде хирургов при помощи сварочных инструментов фиксировать сосуды дистального отдела органа, а другая группа проксимального. В конце операции орган и половинки инструментов для сварки соединяют, а сосуды сваривают.

Рассмотрен ряд решений медицинских проблем здоровьесбережения и скрининговой оценки качества здоровья на основе биоимпедансного анализа состава массы тела.

Чл. корр РАЕ, д.б.н., к.мед.н. В.А. Козлов сообщил об оригинальных результатах методов исследования амилоида, полученных как рядом зарубежных исследователей, так и исследовательской группой, организованной автором доклада.

Проблемы подготовки кадров и контроля физической подготовленности освещались в докладах д.т.н., профессора В.Г.Наводного и к.п.н., доцента Т.С. Гильмутдинова.

На Школе рассмотрен ряд проблем по развитию диагностических и энергосберегающих технологий в электроэнергетике, материаловедению и приборостроению.

На Школе проведены 4 конкурса.

Первое место на конкурсе ученых-инноваторов «Оригинальный научный доклад» разделили чл.корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Евгений Андреевич Виноградов за свое выступление по теме: «Оптические спектры и их значение в познании мира и для практики» и д.ф.-м.н., профессор Анатолий Николаевич Леухин за доклад: «Обработка сигналов в радиолокаторе и формирование 3D радиолокационных изображений в режиме САР». Третьего места достоин д.ф.-м.н., профессор Сергей Васильевич Чекалин за доклад: «Формирование световых пульс и генерация широкополосного суперконтинуума при филаментации фемтосекундных ИК импульсов».

Первое место на конкурсе Молодежного конкурса на «Лучший научный доклад молодых ученых» заняла Д.В. Прокопова за доклад: «Моделирование световых полей с вращением распределения интенсивности для задач микроскопии при помощи ЖК ПМС HOLOEYE НЕО-1080Р», второе место – К.В. Ефимова за доклад: «Создание установки для демонстрации спиральных пучков», третье место – О.А. Якименко за доклад «Разработка, реализация и исследование энергосберегающего автоматического коммутатора нагрузки для распределительных сетей 0,4кВ».

Выставки-конкурса инновационных разработок 1 место – Н.Н. Митракова за доклад: «Ранняя скрининговая диагностика онкологических заболеваний на основе летучих метаболитов мочи», 2 место – А.В. Голенищев-Кутузов за доклад: «Электрофизические процессы старения высоковольтной изоляции и методы диагностики реальных изоляторов в условиях эксплуатации», 3 место – С.Д. Бородулин за доклад: «Сварка сосудов это современный путь развития направления «Медицина транспорта».

Победителем конкурса программы «У.М.Н.И.К.» стал С.А. Зыков за доклад: «Двухчастотный фазовый метод автоматического определения дальности метания спортивного снаряда».

Относительно новым явлением в науке является изучение самой науки как явления. Одним из таких методов является библиометрия, как показатель актуальности научных направлений, а также исследовательской активности, как личной, так и научных коллективов, учреждений. Библиометрия также является показателем благополучия государств, поскольку существует прямая связь между состоянием экономики государства и библиометрическими показателями его научных коллективов. В связи с вышесказанным, интерес представляют библиометрические показатели школы Наука и инновации.

Введение в обиход управления потоком научных исследований библиометрии является, безусловно, положительным явлением. Однако формальные критерии, предъявляемые редакциями журналов к публикациям – абсолютно необходимое условие, в принципе обеспечивающее среднее качество публикаций – могут усугбляться поверхностной осведомленностью рецензентов в вопросах, исследуемых автором рецензируемой статьи (научный фронт широк, а рецензентов мало). Поэтому более качественной оценкой публикаций является интерес к ней специалистов в данной области. Но как организовать чтение публикаций, если журнал – пусть именитый – в котором ты публикуешься, не читается. В том, что это так можно легко убедиться, достаточно зайти на портал e-library и просмотреть оглавления практически любых журналов, чтобы понять, что двухлетний импакт фактор вычисляется явно не из числа ссылок на статьи в этом журнале.

Видимо по этой причине и в связи с успешным развитием информационных сетевых технологий появился ряд международных научных порталов, занимающихся как размещением публикаций ученых, так и их библиометрическим анализом. Наиболее перспективным и удобным инструментом, на наш взгляд, является портал Research Gate. Ценность этого портала заключается еще и в том, что, здесь учитываются запросы автора, размещающего свои материалы и его научные интересы. При этом на портале могут быть размещены как ранее опубликованные, так и не опубликованные работы. Работа портала позволяет авторам, работающим в одной или близких научных областях, быстро обмениваться публикациями, что обеспечивает возможность ознакомления с самыми последними значимыми публикациями в области своих научных интересов.

Кроме того, этот портал позволяет оценить интерес научно-близких коллег к результатам твоей работы и сопоставить качество своей работы с общемировым уровнем [1, 2, 4, 5]. Поэтому материалы школы Наука и инновации с 2015 г. нами размещаются на портале Research Gate, что позволяет оценить эффективность работы школы.

Последний анализ проведен на основе данных, полученных с сайта Research Gate в период с июня 2016 и сопоставлен с результатами 2015 г. [3].

В таблице 1 показана ежегодная тематическая структура публикаций в сборниках Наука и инновации. Относительное представительство тематик публикаций в материалах Наука и инновации за период 2007-2015 гг. показано на диаграмме 1. Как можно видеть, наибольшее число публикаций приходится на физику, технологии и медикобиологические науки.

В таблице 2 представлены данные об объеме материалов в условных печатных листах, количестве статей и авторов, принявших участие в работе школ. Кроме того, показано количество просмотров материалов школ на Research Gate за двухлетний период наблюдений (2015-2017). При сопоставлении с данными таблицы 3, можно видеть, что интерес к публикациям школы нарастает. Особенно читаемыми являются материалы 2009, 2010, 2014 и 2015 гг. Большое внимание вызвали публикации 2016 г. За период двухлетнего наблюдения материалами школы интересовались представители 54 государств. Данные проиллюстрированы диаграммой 2, территории стран, исследователи которых проявили интерес к материалам школы, закрашены в оттенки синего цвета. Наибольшее число обращений к материалам

школы приходится на Российскую Федерацию, США и Китай. По-видимому, за счет расширения географии просмотров, число читателей из Российской Федерации в относительном выражении несколько уменьшилось – 51,7% против 52,8% в 2016 г. Напротив, увеличилось число читателей из США 12,1% против 10,3% в 2016 г. и Китая 4,9% против 2,9% в 2016г.

Таблица 1

Тематика публикаций, рассмотренных участниками Международной научной школы Наука и инновации за период с 2007 по 2015 гг.

| Тема | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | Итого |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Инноватика | 2 | 7 | 4 | 4 | 6 | 2 | 3 | 2 | 2 | 4 | 36 |
| Физика | 6 | 8 | 14 | 15 | 29 | 18 | 2 | 13 | 11 | 17 | 133 |
| Технологии | 6 | 16 | 10 | 15 | 46 | 12 | 19 | 11 | 14 | 10 | 159 |
| Медицина | 6 | 6 | 11 | 13 | 14 | 13 | 16 | 8 | 14 | 13 | 114 |
| Биология | 1 | 9 | 7 | 16 | 14 | 8 | 6 | 5 | 4 | 5 | 75 |
| Химия | 2 | 3 | 5 | 13 | 6 | 5 | 4 | 6 | 1 | 3 | 48 |
| Педагогика и технологии спорта | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 8 | 5 | 2 | 21 |
| Педагогика | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 20 |
| Итого | 25 | 51 | 54 | 79 | 119 | 60 | 54 | 56 | 52 | 56 | 606 |

Диаграмма 1

Относительное представительство тематик публикаций в материалах Наука и инновации за период 2007-2015 гг.



Таблица 2

Библиометрические показатели и сведения о числе скачиваний материалов Международной научной школы Наука и инновации за период с 2007 по июль 2017 гг.

| Сборник | Объем, п.л. | Число статей | Число авторов | Число просмотров на Research Gate |
|------------------------|----------------|--------------|---------------|-----------------------------------|
| Наука и инновации 2007 | 22,75 | 25 | 52 | 59 |
| Наука и инновации 2008 | 17,69 | 51 | 106 | 275 |
| Наука и инновации 2009 | 43,125 | 54 | 124 | 396 |
| Наука и инновации 2010 | 53,25 | 79 | 167 | 271 |
| Наука и инновации 2011 | 64,5 | 119 | 212 | 400 |
| Наука и инновации 2012 | 18,0 | 60 | 146 | 152 |
| Наука и инновации 2013 | 19,56 | 54 | 126 | 490 |
| Наука и инновации 2014 | 32,55 | 56 | 109 | 227 |
| Наука и инновации 2015 | 33,41 | 52 | 106 | 194 |
| Наука и инновации 2016 | 33,2 | 56 | 131 | 111 |
| Итого | 338,035 | 606 | — | 2575 |

Таблица 3

Прирост числа просмотров на ResearchGate материалов школы Наука и Инновации к 2016 г.

| № год издания | 2016 | 2017 | % прироста |
|--------------------|------|------|------------|
| 2 ²⁰⁰⁸ | 52 | 59 | 13,5 |
| 3 ²⁰⁰⁹ | 106 | 275 | 159,4 |
| 4 ²⁰¹⁰ | 124 | 400 | 222,6 |
| 5 ²⁰¹¹ | 167 | 271 | 62,3 |
| 6 ²⁰¹² | 212 | 349 | 64,6 |
| 7 ²⁰¹³ | 146 | 152 | 4,1 |
| 8 ²⁰¹⁴ | 126 | 490 | 288,9 |
| 9 ²⁰¹⁵ | 109 | 227 | 108,3 |
| 10 ²⁰¹⁶ | 106 | 194 | 83,0 |

Диаграмма 2

География просмотров материалов Международной научной школы Наука и инновации



Таким образом, результаты проведенного анализа позволяют утверждать, что интерес научной общественности мира к результатам работы Школы Наука и инновации продолжает увеличиваться.

Список литературы

- [1] Голенков А.В. Республиканские научно-практические конференции по психиатрии, наркологии и психотерапии // Вестник психиатрии и психологии Чувашии. 2008. № 4. С. 124-132.
- [2] Голенков А.В., Николаев Е.Л. Наукометрический анализ материалов I-IV съездов психиатров, наркологов и психотерапевтов Чувашии // Психическое здоровье. 2015. Т. 3, №10 (113). С. 45-49.
- [3] Козлов В.А. Наукометрический анализ материалов школы науки и инновации / Материалы Одиннадцатой международной науч. школы «Наука и инновации-2016» ISS «SI-2016» / Редакционная коллегия: проф. И.И. Попов; чл.-корр. РАН, проф. В.А. Козлов; акад. РАН, проф. В.В. Самарцев. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. С. 17–19.
- [4] Сапожников С.П., Голенков А.В. Приоритетные медико-биологические исследования в Чувашии по данным наукометрического анализа публикаций // Вестник Чувашского университета. 2014. № 2. С. 351–356.
- [5] Сапожников С.П., Голенков А.В., Козлов В.А. Индексируемые за рубежом публикации ученых-медиков Чувашии (по результатам поиска в Medline) // Acta Medica Eurasica. 2015. № 1. С. 26–31.

НАНООПТИКА, ФОТОНИКА, КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

ОПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ
И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ПОЗНАНИИ МИРА И ДЛЯ ПРАКТИКИ

Е.А. Виноградов, О.Н. Компанец

ФГБУН Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН),
108840 г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, 5
<http://www.isan.troitsk.ru>

Фундаментальная наука, как известно, изучает глубинные свойства природы. Прикладная наука использует достижения фундаментальной науки в повседневной жизни человека. Обе они обеспечивают научно-технический прогресс человечества. И фундаментальные, и прикладные науки развиваются по своим собственным законам и часто очень трудно увидеть между ними прямую связь. Спектроскопия, являясь одной из составляющих физики, очень хорошо объединяет фундаментальные и прикладные исследования. Пожалуй, только в спектроскопии любой фундаментальный результат легко, а порой и немедленно, может быть использован для практических применений. В этом смысле оптическая спектроскопия занимает особое место в мировой науке.

С одной стороны, оптическая спектроскопия – это наука о природе электромагнитного поля и о фундаментальных проблемах его взаимодействия с веществом. Именно благодаря спектроскопическим данным возникла необходимость в создании квантовой механики, электродинамики, теории поля и теории относительности. Только спектроскопические данные позволяют судить о процессах в высокотемпературной плазме, в звездах и межзвездной среде, об ультрабыстрых процессах в веществе, в том числе и на микромасштабах. Спектроскопия – одновременно метод и инструмент исследования состава и структуры материи, поскольку каждый объект природы обладает своей неповторимой энергетической структурой – спектром, который, как отпечаток пальца человека, однозначно говорит о его носителе – его составе, структуре, свойствах. Получение спектров природных объектов, исследование эффектов взаимодействия электромагнитного излучения с веществом и процессов генерации этого излучения, а также предложения по их использованию – основные задачи спектроскопии.

С другой стороны, спектроскопия – это и новейшие технологии. Особенно широкие возможности для фундаментальных и прикладных целей открываются при активном воздействии мощного светового потока на вещество. Так, например, с помощью лазера можно как охладить газ до сверхнизких температур (~ микроКельвин), недостижимых другими методами, так и создать сверхплотную термоядерную плазму с температурой до нескольких сотен миллионов градусов и изучать, таким образом, в лабораторных условиях физические процессы, протекающие как в открытом космосе, так и в звездах. С помощью излучения можно ионизовать атомы, диссоциировать молекулы, модифицировать ближайшее окружение молекулы в матрице, управлять химическими реакциями, создать гигантские локальные электрические и магнитные поля в веществе, управлять движением атомных пучков и т.д.

Спектроскопия служит методом и инструментом в разнообразных конкретных науках, а также в технических и технологических приложениях. Это и новые оптические эффекты, и фотохимия, и лазерное разделение изотопов, и ультрачувствительный анализ, и контроль состава и качества продукции, и разнообразные новые технологии, и новые материалы, и экологический мониторинг окружающей среды. Для научно-технического прогресса особенно важны два последних аспекта: новые материалы и технологии и экологический контроль.

Рассмотрим роль оптической спектроскопии в познании мира и для практики на примере работ Института спектроскопии РАН, как в области фундаментальных исследований, так и в плане реализации технологических проектов.

Институт спектроскопии РАН (ИСАН) является правопреемником Института АН СССР (ИСАН), организованного по решению Президиума АН СССР в 1968 году в связи с появлением большого числа неизвестных спектральных линий излучения из космоса, для изучения высокотемпературной плазмы и происходящих в ней ядерных и термоядерных реакций, для создания лазерных источников излучения и исследования с их помощью эффектов взаимодействия света с веществом, а также решения множества исследовательских и технологических задач материаловедения, промышленности, экологии, биофизики и др.

Организатором, первым директором и идеологом направлений научных исследований ИСАН стал профессор С.Л. Мандельштам, впоследствии член-корреспондент АН СССР. Ядро Института образовала группа сотрудников лаборатории Комиссии по спектроскопии АН СССР, к которой затем присоединились сотрудники ФИАН во главе с д.ф.-м.н. В.С. Летоховым, ставшим заместителем директора и возглавившим исследования в области лазерной спектроскопии. Штат Института пополнялся в основном молодыми способными выпускниками Московского физико-технического института, которые в настоящее время заняли серьезные позиции в мировом рейтинге ученых. Тогда же были определены основные направления проведения фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований Института, конкретное содержание которых, конечно, менялось со временем, и сейчас они могут быть сформулированы следующим образом:

- спектроскопия атомов, ионов, молекул, кластеров, объема и поверхности конденсированных сред, в том числе лазерная спектроскопия с активным воздействием света на вещество, и физико-технические основы применения ее результатов для разделения изотопов, управления движением атомов, в нанофотонике, фемтооптике, фотохимии, фотобиологии, аналитической химии, нанотехнологиях, информационных и др. технологиях;

- аналитическая спектроскопия и физико-технические основы применения ее результатов для диагностических целей, технологического контроля, в медицине, материаловедении, в экологическом мониторинге, для охраны здоровья человека, для изучения природных и техногенных катастроф и т.п.;

- разработка новых методов спектроскопии, научные основы разработки и создания уникальных приборов, спектральной аппаратуры, оптических и аналитических приборов, систем регистрации, методик и метрики измерений для обеспечения фундаментальных исследований и практических применений.

Кроме того, за Институтом закреплена Уставом совершенно необходимая для нормальной жизнедеятельности подготовка научных кадров высшей квалификации.

За (почти) 50 лет в ИСАН получены важные научные результаты мирового уровня, открывшие новые направления науки и технологий и заложившие их физико-технические основы. Коротко их перечислим, связывая с именами руководителей работ.

Систематические исследования энергетической структуры атомов и ионов позволили получить необходимые данные для астрофизики и спектральной диагностики высокотемпературной плазмы, а также разработать принципы и методы создания одного из важнейших элементов литографического процесса получения нанoeлектронных чипов – мощных источников экстремального ультрафиолетового излучения в области 6-17 нм.

В этом большая заслуга первых и теперешних руководителей работ по атомной спектроскопии С.Л. Мандельштама, Э.Я. Кононова, К.Н. Кошелева, А.Н. Рябцева.

Проведенные широким фронтом пионерские исследования в области лазерной спектроскопии привели к получению целого ряда новых принципиально важных результатов, которые

во многом определили современный облик лазерной физики, спектроскопии и нелинейной оптики. В их числе:

- разработка лазерных методов разделения изотопов и создание на этой основе совместно с рядом других организаций (в т.ч. с ТРИНИТИ) первой в мире промышленной установки лазерного разделения изотопов углерода;

- получение сверхузких резонансов в атомно-молекулярных спектрах и создание на их основе лазерных стандартов частоты и длины волны;

- разработка лазерных методов детектирования одиночных атомов и ионов и на этой основе создание установок ультрачувствительного мониторинга следов элементов и микропримесей в природных объектах и высокочистых веществах;

- создание научных основ физики ультрахолодных атомов и оптики атомных пучков и их применение в нанооптике, нанопотонике, атомной нанолитографии и других современных нанотехнологиях;

- инициация химических реакций ультракороткими импульсами и лазерная фемтохимия, лазерный оптический «наноскоп» для визуализации нанообъектов;

В вышеперечисленных направлениях исследований, отмеченных печатью таланта рано ушедшего из жизни В.С. Летохова, проявили себя коллективы, руководимые его учениками и коллегами (В.И. Балыкин, М.А. Большов, О.Н. Компанец, П.Г. Крюков, В.И. Мишин, Е.А. Рябов, С.В. Чекалин).

Крупные научные результаты получены в области молекулярной спектроскопии под руководством Р.И. Персонова – это разработка метода селективного лазерного возбуждения узких линий в спектрах примесных молекулярных систем при низких температурах и связанного с ним метода получения («выжигания») устойчивых спектральных провалов после воздействия на примесные молекулы интенсивного лазерного света. Такой метод позволил получать самую разнообразную информацию о свойствах примесных молекул и их окружения, а его дальнейшее развитие породило новый подход к исследованию микроскопической природы динамических процессов в неупорядоченных твердотельных средах, благодаря которому была впервые получена уникальная информация о динамике свойств стекол и полимеров в широком диапазоне температур и времен наблюдения (Ю.Г. Вайнер, А.В. Наумов).

Фундаментальным вкладом в спектроскопию твердого тела явились пионерские исследования Е.А. Виноградовым инфракрасного теплового излучения кристаллов и пленок, им же разработаны принципы построения ИК спектрометров высокой фотометрической точности и создана серия таких приборов для исследования оптических свойств полупроводниковых соединений. Проведенные широким фронтом исследования по спектроскопии твердого тела (Г.Н. Жижин, Х.Е. Стерин, Б.Н. Маврин, М.Н. Попова) дали самое большое в Институте число спектров разнообразных материалов оптоэлектроники и нанопластики, а их изучение позволило предложить пути, которые ведут к созданию или совершенствованию технологии получения новых материалов с заданными полезными свойствами.

Серьезными результатами могут гордиться и наши теоретики В.М. Агранович, Ю.Е. Лозовик, А.М. Камчатнов, А.Г. Мальшуков, В.И. Юдсон, предложившие множество идей и написавшие огромное количество монографий, а также статей и обзоров в самые престижные научные журналы.

Нельзя не упомянуть о созданных за 50 лет самых разнообразных научных приборах и установках, от нашедших широкое применение в практике компактных анализаторов металлов и сплавов (А.М. Лившиц) и многоканальных систем регистрации (Э.Г. Силькис) до уникальных установок. К числу последних можно отнести автоматизированные лазерные аналитические спектрометры (атомно-фотоионизационный и атомно-флуоресцентный) для ультрачувствительного определения следовых содержаний и микропримесей элементов (более 60) в различных объектах с пределами обнаружения элементов на уровне 10^{-10} и ниже весовых процентов (М. Большов, Г.И. Беков), а также автоматизированный комплекс

лазерного ионного источника для селективной фотоионизации и детектирования редких изотопов с короткоживущими ядрами в режиме «on-line» на выходе ускорителя и масс-сепаратора частиц (В.И. Мишин). Всего было изготовлено 10 подобных спектрометров, используемых в ИСАН, ИО РАН, ЛИЯФ РАН и других организациях, в том числе за рубежом (в Финляндии, Ю. Корею, КНР, ЦЕРН), для научных исследований, контроля технологии получения высокочистых веществ, определения следов элементов в природных образцах, для контроля загрязнений окружающей среды.

В настоящее время штат Института составляет примерно 200 человек, из них около 90 – научные сотрудники, в числе которых 24 доктора и 46 кандидатов наук. В состав Института входят пять научных отделов – теоретический, спектроскопии твердого тела, атомной, молекулярной и лазерной спектроскопии, а также лаборатория спектроскопии наноструктур и отдел лазерно-спектрального приборостроения. В ИСАН действует система подготовки высококвалифицированных научных кадров, которую поддерживает учебно-научная лаборатория экспериментальных методов спектроскопии. Научная и научно-техническая деятельность Института является основной, и ее объем в общем объеме выполненных работ составляет 100%. Тематика проводимых работ охватывает практически все приоритетные направления развития науки и техники.

Ежегодно учеными института публикуется 100-130 научных статей в ведущих реферируемых журналах, несколько книг и монографий, делается более 100 докладов на международных научных конференциях. Регулярно достижения Института входят в число основных научных достижений Российской академии наук, доклады ученых ИСАН заслушиваются на научных сессиях Отделения физических наук и на заседаниях Президиума РАН.

Институт сотрудничает с более чем 50 ведущими отечественными и зарубежными научными центрами и университетами. По данным различных отечественных и зарубежных источников, ИСАН наравне с крупнейшими институтами и вузами России входит в десятку научных организаций России с наибольшим числом публикаций на одного научного работника и наивысшим индексом цитирования работ.

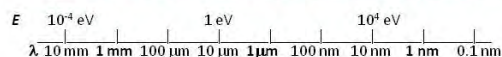
Институт располагает большим набором оборудования (Рис. 1), обеспечивающим проведение проблемно-ориентированных оптических исследований в широком спектральном диапазоне (от рентгеновского до сантиметрового диапазона длин волн) и со сверхвысоким спектральным (до 10^{-6} см⁻¹), временным (до 10^{-14} с) и пространственным разрешением (до 5 нм).

Рис. 1. Арсенал научных исследований ИСАН.

Это дает возможность проводить взаимодополняющие исследования материалов и процессов на единой научной платформе с получением достоверной детальной информации о структуре, оптических и магнитных свойствах, спектроскопических, релаксационных и других характеристиках различных материалов и структур с сохранением их свойств и функциональной активности.

- Инструменты с высоким спектральным разрешением до 10^{-6} см⁻¹, временным разрешением до 3×10^{-14} с и пространственным разрешением до 5 нм.
- Методы и приборы для ультрачувствительного детектирования следовых концентраций атомов (изотопов) и молекул в газах, жидкостях и твердых телах с пределом детектирования на уровне нескольких фемтограмм (10^{-15} г) в анализируемом образце;
- Методы и приборы для исследования ультратонких пленок (вплоть до монослоевых) на поверхностях металлов и диэлектриков и для характеристики этих пленок.

Исследования можно вести в диапазоне длин волн



Диапазон температур в проводимых в ИСАН исследованиях



В отделе атомной спектроскопии создан постоянно модернизируемый уникальный ряд спектрографов с различными диспергирующими элементами, источниками возбуждения высокоионизованных атомов и системами обработки спектров, построенных по разным оптическим схемам, позволяющих проводить регистрацию спектров с практически предельно возможным высоким разрешением в области экстремального ультрафиолета от 0,1 до 250 нм. На фото 1 показан один из них – уникальный вакуумный спектрограф нормального падения излучения с дифракционной решеткой 1200 штр/мм радиуса кривизны 6,65 м, предназначенный для проведения систематических исследований в области вакуумного ультрафиолета (30-250 нм) по изучению ионов высоких кратностей ионизации и развитию расчетных методов, вызванных как фундаментальным интересом к исследованию различных эффектов в физике таких ионов и спектров химически особенных звезд, так и практическими потребностями по созданию источников излучения для нанолитографии и рентгеновских лазеров.



Фото 1. ВУФ-спектрограф высокого разрешения нормального падения излучения.

В отделе лазерной спектроскопии используется большое число лазерно-спектроскопических установок и там же действует не имеющий аналогов в Европе современный лазерный широкодиапазонный фемтосекундный нанооптический спектрометрический комплекс (фото 2), предназначенный для измерения спектрально-кинетических характеристик образцов методом «возбуждения – зондирования» импульсами фемтосекундной длительности, для исследований по лазерной фотохимии, нанооптике, для изучения поверхностных наноструктур и молекулярных кластеров и их характеристики с фемтосекундным временным и нанометровым пространственным разрешением, а также для наблюдения структурной динамики в веществе с высоким пространственно-временным разрешением методом сверхбыстрой электронной дифракции.



Фото 2. Лазерный фемто-нано-оптический спектрометрический комплекс

Длительность лазерных импульсов – до 30 фс, энергия – до 2,4 мДж, частота следования – 1 кГц, спектральный диапазон 240-11000 нм и 0,3-3 ТГц, разрешение в режиме спектромикроскопа – до 5 нм.

В двух специально оборудованных «чистых» помещениях располагаются установки и оптические приборы для получения и исследования различного рода наноструктурных объектов, в том

числе ведутся разработки оптических устройств на основе квантовой наноплазмоники и изготовления планарных наноструктур (единичных и массивов наноструктур) методом атомной нанолитографии, с контролем их характеристик в условиях чистого помещения класса ISO 5.

В имеющейся в отделе спектроскопии твердого тела линейке из нескольких современных фурье-спектрометров фирмы *BRUKER* заметно выделяется не имеющий себе равных в Европе вакуумный широкодиапазонный фурье-спектрометр IFS-125HR, дополнительно оборудованный криостатами трех типов и лазером возбуждения (фото 3) и обеспечивающий высокоточные измерения спектров новых перспективных материалов, в том числе при низких температурах (1,5-300 К) и в магнитном поле (до 6 Тесла).

Фото 3. Фурье-спектрометр сверхвысокого разрешения IFS 125HR фирмы "Bruker". Спектральный диапазон 5-50000 см⁻¹, предельное спектральное разрешение 0,001 см⁻¹, точность определения волновых чисел 10⁻⁶ см⁻¹.

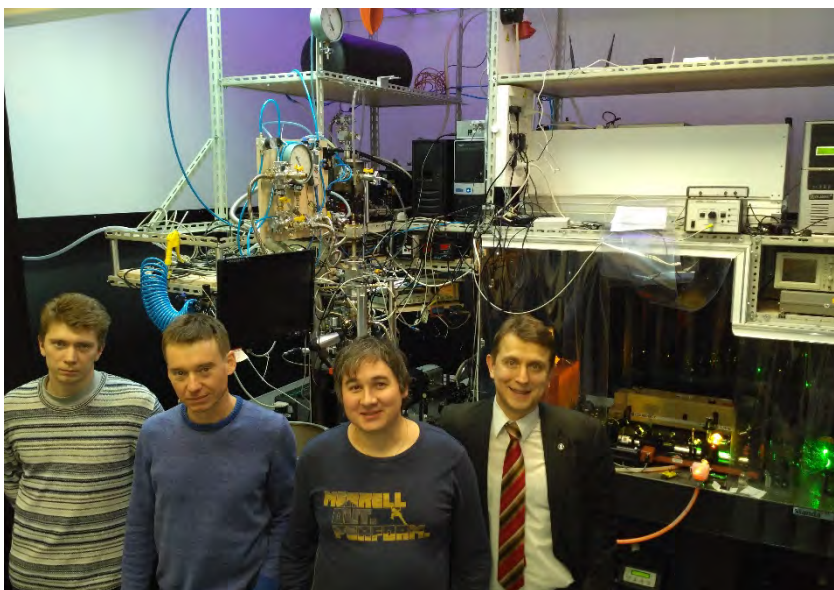


В отделе молекулярной спектроскопии, в ряду установок для лазерной спектроскопии газов, исследования динамических процессов в сложных молекулярных

системах и микроволновой спектроскопии молекулярных комплексов, также можно выделить уникальный лабораторный комплекс для регистрации и автоматического распознавания флуоресцентных изображений, спектров и спектральных историй одиночных примесных хромофорных молекул и других квантовых объектов как в (квази)свободном состоянии на поверхности, так и внедренных в конденсированные среды, исследования локальной динамики и оптической дальнеполевой нанодиагностики структуры конденсированных сред в широком диапазоне температур (фото 4). Комплекс дает информацию о параметрах и динамике микроскопического окружения примесной молекулы, не искаженную усреднением по ансамблю примесных молекул, как это имеет место при измерениях традиционными методами.

Фото 4. Уникальный многоцелевой лабораторный комплекс – люминесцентный микроскоп-спектрометр высокого разрешения для визуализации одиночных квантовых объектов, регистрации их спектров люминесценции и спектров возбуждения флуоресценции в широком диапазоне низких температур (1,5 – 300 К).

Уникальные лабораторные комплексы и установки Института являются гордостью экспериментаторов и формируют распределенный центр коллективного пользования «Оптико-спектральные измерения» (ЦКП ИСАН). Статьи с



экспериментальными результатами, получаемыми с использованием вышеперечисленного уникального оборудования, составляют около половины публикуемых Институтом научных работ. Многие из этих результатов получены в соавторстве с учеными из других организаций, в том числе зарубежных.

Вот уже более 100 лет спектроскопия – одна из наиболее динамично развивающихся областей науки. И сейчас в ней нет застоя – каждые несколько лет возникают новые направления исследований. Вот некоторые из тех направлений фундаментальных исследований, к которым привлечено внимание физиков в последние годы – это эванесцентная спектроскопия (оптика ближнего поля), фемтоаттосекундная спектроскопия, квантовая электродинамика микрополости, новые источники излучения с уровнем шума ниже квантового предела, спектроскопия единичных атомов и молекул, атомная оптика (лазерное управление движением атомов), оптическая нанодиагностика перспективных материалов и наноструктур. Вместе с этими направлениями, представленными и в ИСАН, рождаются новые технологии: лазерное разделение изотопов и ядерных изомеров; ультрачувствительные методы контроля состава сверхчистых материалов и загрязнения окружающей среды; создание сверхплотной плазмы для инициации термоядерных реакций; глубокое охлаждение атомов лазерным излучением и создание атомно-оптических гороскопов; новые разнообразные источники излучения; новые системы связи, квантовой обработки информации; оптические датчики и сенсоры на их основе, и многие другие.

Обо всех ведущихся в ИСАН работах в коротком обзоре рассказать невозможно, остановимся лишь на нескольких, наиболее важных направлениях и полученных результатах в последние три – пять лет.

В области атомной спектроскопии в вакуумном УФ диапазоне рассчитаны методом релятивистской теории возмущения с потенциалом в модели нулевого приближения энергетические уровни ионов никелеподобной последовательности с зарядом ядра $36 \leq Z \leq 79$; изучены неизвестные ранее спектры восьмикратно ионизованного рения (идентифицировано 112 спектральных линий, найдены энергии 83 уровней), трехкратно ионизованного иридия (определены конфигурации переходов, установлены 29 уровней), четырехкратно ионизованной платины (определены конфигурации переходов, установлены 17 уровней), семикратно ионизованного палладия (идентифицированы 178 линий), получены значения энергетических параметров и рассчитаны вероятности переходов, верифицированы атомные данные для изоэлектронного спектра семикратно ионизованного вольфрама, необходимого для диагностики плазмы токамаков (Рис. 2). /д.ф.-м.н. А.Н. Рябцев, к.ф.-м.н. Э.Я. Кононов/

Разработан для применений в масочной литографии прототип источника высокой яркости экстремального ультрафиолетового излучения (ЭУФ) с рабочей длиной волны 13,5 нм, основанный на лазерной плазме, получаемой с помощью управляемой импульсной Nd:YAG системы. В качестве исходного топлива использовались жидкие капли эвтектического сплава Sn-In, создаваемые капельным генератором, работающим в режиме дробления струи (Рис. 3). Охарактеризованы эмиссионные свойства ЭУФ плазмы, включая спектр излучения, временной профиль и эффективность преобразования лазерного излучения в полезные фотоны на длине волны 13,5 нм. На основе полученных экспериментальных результатов выяснены физические явления, которые могут повлиять на работу источника при высоких частотах повторения, произведена оценка средней яркости источника ($1,2 \text{ кВт/мм}^2 \text{ стерадиан}$) при высокой частоте повторения (8 кГц). /к.ф.-м.н. К.Н. Кошелев, В.М. Кривцун/

Рис. 2. Таблица изученности атомных/ионных спектров (по вертикали – кратность ионизации)

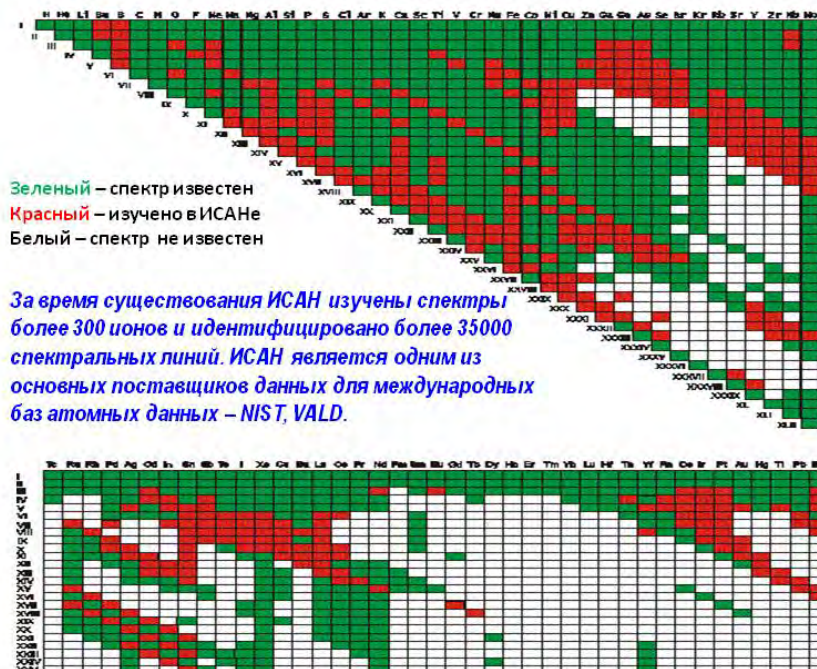
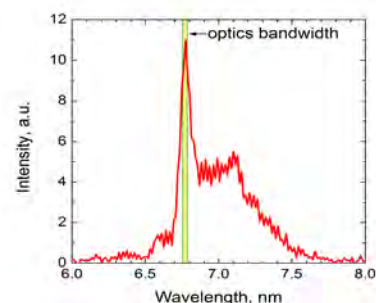
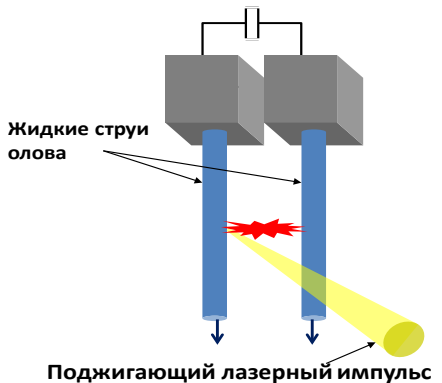


Рис. 3. Схема источника ВУФ излучения на 13,5 нм с разрядом между электродами из жидких струй олова.



Исследование источников излучения с лазерной плазмой для следующего поколения литографии: $\lambda = 6 - 7$ нм

Разработан спектрометр скользящего падения для регистрации ВУФ-спектров в диапазоне 5–50 нм, в котором, в отличие от классической схемы, входная щель смещена с окружности Роуланда. В схеме спектрометра плоскость регистрации нормальна лучу зрения, что позволяет использовать детекторы на основе микроканальных пластин (МКП).



Измеренный эмиссионный ВУФ спектр Gd плазмы

Стандартная реализация «flat – field» спектрометра состоит в использовании дорогостоящих дифракционных решёток с переменным шагом, в разработанной же схеме применяется стандартная сферическая решетка. Спектрометр с МКП регистратором позволяет получать ВУФ спектры с наносекундным временным разрешением и спектральным разрешением 100-200 во всём регистрируемом диапазоне, что делает его актуальным для диагностики плазмы. /к.ф.-м.н. П.С. Анциферов/

Рассмотрение тематики исследований в области лазерной спектроскопии можно начать с работ отдела лазерной спектроскопии (руководитель – д.ф.м.-н. Е.А. Рябов).

Фундаментальной научной проблемой в интеграции фотонных устройств является проблема локализации света и создания нанолокализованных лазерных источников излучения. Принципиально новым подходом в миниатюризации лазеров является подход, основанный на использовании вместо фотонных – *плазмонных* полей, позволяющий преодолеть дифракционное ограничение на размер лазера. В лаборатории лазерной спектроскопии (руководитель. –

д.ф.-м.н. В.И. Балыкин) проведен комплекс исследований, результатом которого является развитие основных элементов «плазменной нанооптики», включающих в себя плазменную «материальную» среду (монокристаллические металлические поверхности с большой длиной распространения плазмонных волн); детекторы плазмонных волн (металлические поверхности, наноструктурированные методами ионной и электронной литографии); плазменные линзы и зеркала (для фокусировки, отражения плазмонных волн); плазмонную интерферометрию.

В этой же лаборатории предложен новый подход к пространственной локализации энергии излучения и её эффективного транспорта на основе гибридной системы «атом + наноотверстие», в которой для локализации и транспорта фотона используется квантовый объект – нейтральный атом. Атом поглощает фотон непосредственно перед отверстием, пролетает через отверстие и испускает фотон с другой стороны экрана (Рис. 4). Это позволяет реализовать в исследованной схеме нанолокализованный на масштабе ~10 пм источник единичных фотонов.

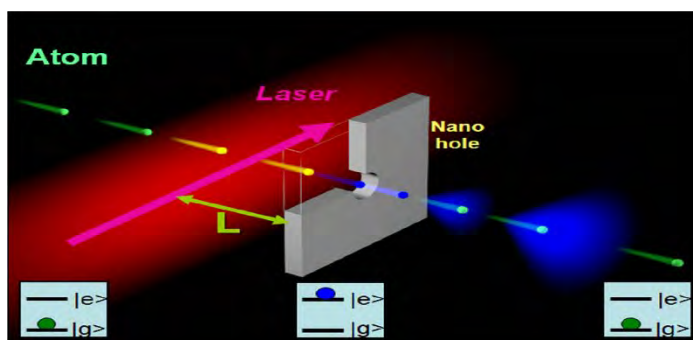


Рис. 4. Перенос одиночного фотона через наноотверстие движущимся атомом

Публикация: А. Е. Afanasiev, Р. N. Melentiev, А.А. Kuzin, А.Ю. Kalatskiy and V.I. Balykin, "Photon transport through a nanohole by a moving atom", *New J. Phys.*, v.18, p. 053015 (2016)

Эксперимент по переносу фотона атомом открывает возможности для исследования новых эффектов, в частности, определения сил Ван дер Ваальса при взаимодействии нейтрального атома с материалом экрана внутри цилиндрической полости (наноотверстие изготовлено в экране конечной толщины), изучения взаимодействия возбужденных атомов с плазмонными наноструктурами и исследования процессов квантового трения.

Здесь же теоретически предсказано и экспериментально подтверждено гигантское нарушение принципа взаимности планарной оптической линейной системы без магнитных полей, состоящей из металлической плёнки с наноотверстиями на поверхности планарного многослойного диэлектрического метаматериала (фотонного кристалла). Этот результат (Рис. 5) может быть использован для создания невзаимных устройств нанофотоники, таких как оптический нанодиод, и для управления распространением света в наномасштабах.

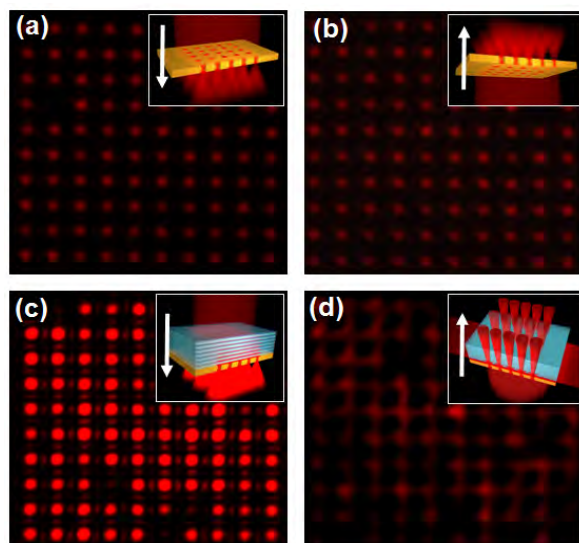


Рис. 5. Наблюдение гигантского нарушения принципа взаимности планарной оптической линейной системы. Показана оптическая невзаимность металлической, перфорированной наноотверстиями плёнки на поверхности планарного многослойного диэлектрического метаматериала (фотонного кристалла). Для случаев (a) и (b) прохождения света через перфорированную металлическую плёнку принцип взаимности не нарушается; для случаев (c) и (d) – нарушается. Стрелками показаны направления распространения света через планарные наноструктуры.

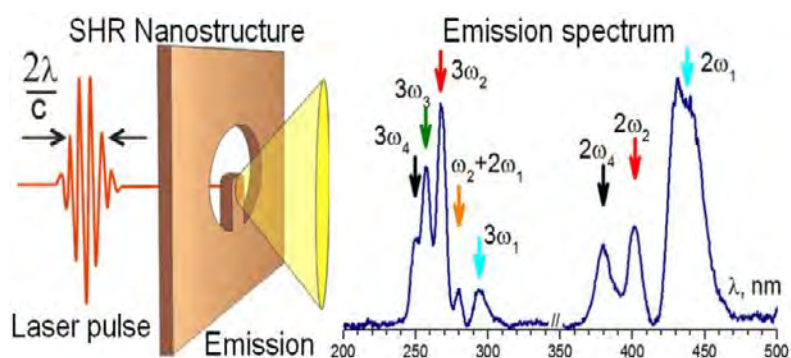
Публикация: V.V. Klimov, I.V. Treshin, A.S. Shalin, A.A. Kuzin, A.V. Zablotskiy, P.N. Melentiev, A.E. Afanasiev, and V.I. Balykin, «Giant reciprocity violation of the light transmission through metasurfaces», *NANO Letters*, v. 16, p. 1138-1142 (2016).

Еще один важный результат в области нано-плазмоники – создание наноразмерного УФ источника света (Рис.6). При нелинейном оптическом взаимодействии лазерного излучения с единичной золотой наноструктурой в предельных

экспериментальных условиях – при сверхкороткой длительности и ультравысокой интенсивности лазерного излучения, при геометрии наноструктуры (Split-Hole Resonator, SHR) и однородности ее поверхности на атомарном уровне – в наноструктуре одновременно возбуждается несколько мультипольных плазмонных резонансов на фундаментальной частоте.

На частотах этих резонансов наблюдается сильное нелинейно-оптическое взаимодействие, которое приводит к генерации 2^й гармоники излучения, 3^й гармоники излучения и излучения на смешанных частотах аномально высокой интенсивности (амплитуда ближнего поля SHR наноструктуры на частоте 3^й гармоники достигает 0,6% от амплитуды поля на фундаментальной частоте). Эффект позволяет реализовать источники УФ излучения с рекордно высокими интенсивностью и эффективностью преобразования света, не уступающие аналогичным источникам в видимой области спектра. Такие источники могут найти множество важных приложений, включая их использование в биомедицине.

Рис. 6. Гибридный плазмонный нанорезонатор: наноразмерный УФ источник света
 Публикация: P.N. Melentiev, A.E. Afanasiev, A.A. Kuzin, V.M. Gusev, O.N. Kompanets, R.O. Esenaliev, and V.I. Balykin, "Split Hole Resonator: A nanoscale UV light source", Nano Letters 16(2), 1138-1142 (2016).



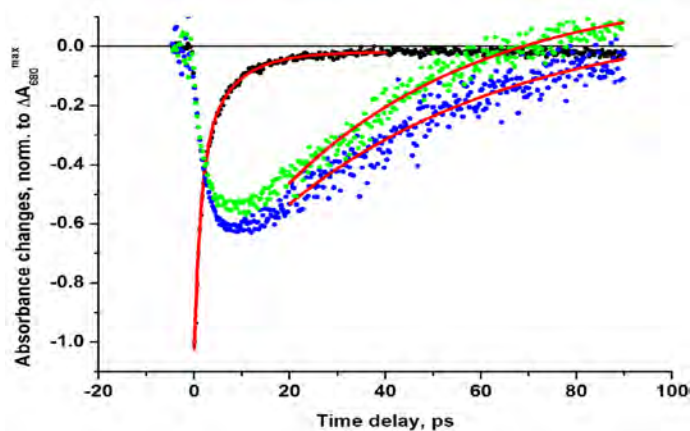
В лаборатории В.И. Балыкина продолжает развиваться и технология изготовления планарных наноструктур методом атомной камеры-обскуры, получившая название «атомной нанолитографии» и позволяющая с помощью атомного пучка прямо получать одновременно более миллиона идентичных ($> 10^6$) атомных, молекулярных структур и гетероструктур произвольной формы размером до 30 нм и менее. С ее помощью получены на поверхности диэлектрика образцы наноструктур из благородных металлов разной формы: нановолноводы, кольцевой нанорезонатор, оптическая наноантенна и др. «Атомная нанолитография позволяет также создавать единичные наноструктуры с расположенными вблизи них единичными квантовыми объектами, например, молекулами. Для изготовления наноструктур используется также острофокусированный ионный пучок из ионов Ga⁺. Микроскопия изготовленных нанотверстий проводится с помощью электронного микроскопа JEOL JSM-7001F с пространственным разрешением около 5 нм.

В лаборатории спектроскопии ультрабыстрых процессов (руководитель – д.ф.-м.н. С.В. Чекалин) методами фемтосекундной лазерной спектроскопии впервые исследована динамика наведенного поглощения изолированных тримеров фотосистемы 1 *Arthrospira platensis*, возбуждаемых импульсами длительностью 70 фс на длине волны 620 нм при 77 К (Рис. 7). Обнаружено, что между двумя формами тримеров с соответствующими максимумами поглощения на 710 и 730 нм нет передачи возбуждения и обе они заселяются за счет прямой передачи возбуждения от хлорофилла. Полученный результат важен для понимания первичных процессов фотосинтеза в зеленых растениях и, в конечном счете, для создания высокоэффективных преобразователей солнечной энергии.

В другой работе исследована кинетика первичных процессов при фотовозбуждении производной порфиринового красителя I₂BODIPY – перспективного вещества для фотодинамической терапии, химических сенсоров и активных сред лазеров. Прослежена цепь событий от сверхбыстрой (0.6 пс) внутренней конверсии, колебательной релаксации первого возбужден-

ного синглета (7 пс) до интерконверсии (115 пс) в долгоживущее триплетное состояние, распадающееся вследствие тушения кислородом и триплет-триплетной аннигиляции на микросекундной временной шкале (совместно с Институтом химической кинетики и горения СО РАН).

Рис. 7. Динамика наведенного поглощения изолированных тримеров фотосистемы I *Arthrospira platensis* при 77 К при их возбуждении фемтосекундными (70 фс) лазерными импульсами. Представлены экспериментально измеренные зависимости изменения поглощения (ось ординат) от времени (ось абсцисс, время в пс) тримеров *A. Platensis* на длинах волн 710 нм (синие точки), 730 нм (зеленые точки) и 680 нм (черные точки) при возбуждении 70 фс лазерным импульсом на длине волны 620 нм. Красные кривые – аппроксимация результатов экспериментов двумя экспонентами (1 пс и 5 пс) в полосе поглощения хлорофилла и одной экспонентой (40 пс) для длин волн 710 нм и 730 нм.



Публикация: V. Kompanets, V. Shubin,

I. Terekhova, E. Kotova, V. Kozlovsky, V. Novoderezhkin, S. Chekalin, N. Karapetyan, A. Razjivin «Red chlorophyll excitation dynamics in *Arthrospira platensis* photosystem I trimeric complexes as studied by femtosecond transient absorption spectroscopy», FEBS Letters 588, 3441–3444 (2014).

Экспериментально продемонстрирован метод измерения профиля остро сфокусированного лазерного пучка высокой интенсивности, сочетающий фотоионизацию свободных молекул с проекционной микроскопией в расходящемся электрическом поле. При измерении фокального пятна фемтосекундного лазерного излучения на длине волны 400 нм с пиковой интенсивностью 10^{14} Вт/см² в вакууме вблизи миллиметрового острия достигнуто пространственное разрешение на уровне 2 мкм.

В других работах лаборатории, выполненных вместе с лабораторией спектроскопии возбужденных состояний (руководитель – д.ф.-м.н. Е.А. Рябов), в качестве объектов исследования были выбраны наноразмерные кластеры, «световые пули» и пленки.

В рамках развития методов лазерного контроля и управления фотоиндуцированными реакциями исследовано образование структурированных пленок углерода и окиси кремния на поверхности ионных кристаллов при распаде адсорбированных молекул под действием фемтосекундного инфракрасного (ИК) излучения. Исследована селективная ИК многофотонная диссоциация молекул в импульсном газодинамически охлажденном молекулярном потоке, взаимодействующем с твердой поверхностью. Проведены исследования динамики внутримолекулярной релаксации молекуле (CF₃)₂C=C=O, инициируемой резонансным фемтосекундным ИК излучением.

Впервые измерена сверхбыстрая динамика диссоциации наноразмерных кластеров в результате возбуждения входящих в них молекул резонансным фемтосекундным ИК излучением. Эксперименты проведены с кластерами [Fe(CO)₅]_n (n ~ 250 – размер кластеров). ИК импульс (~ 5 мкм) возбуждал колебания связи C≡O, УФ импульс детектировал вылетающие свободные молекулы Fe(CO)₅ (Рис.8). Измерена кинетика образования молекул Fe(CO)₅ при разных условиях ИК лазерного возбуждения. Предложена модель, хорошо описывающая результаты эксперимента и позволившая определить профиль изменения температуры кластеров. Оценены скорости внутримолекулярной и внутрикластерной релаксации колебательной энергии (IVR) в [Fe(CO)₅]_n кластерах. Полученные данные важны для понимания внутренних процессов в кластерах.

В рамках разработки физических основ новых, малозатратных методов лазерного разделения изотопов для атомной энергетики, альтернативных центрифужному способу, для целей получения изотопически чистых материалов, в том числе широко востребованных изотопов

углерода и кремния, предложен и реализован метод определения с помощью квадрупольного масс-спектрометра состава и содержания нейтральных импульсных кластерных пучков по ионным сигналам кластерных фрагментов, отображающим времяпролетные спектры кластеров в этих пучках. На примере пучков разного размера смешанных кластеров $(\text{SF}_6)_m\text{Ar}_n$ (где $1 \leq m \leq 4$ и $0 \leq n \leq 9$ – число молекул и атомов в кластерах, соответственно) показано, что с помощью предложенного метода можно определять состав и содержание нейтральных ван-дер-ваальсовых молекулярных и атомно-молекулярных кластеров в пучках.

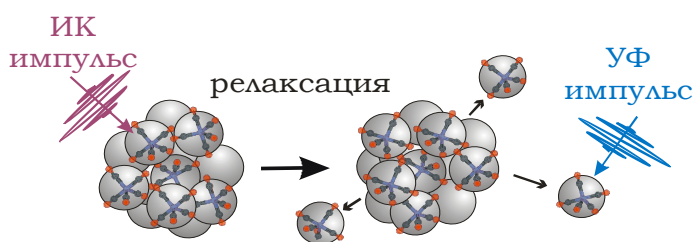
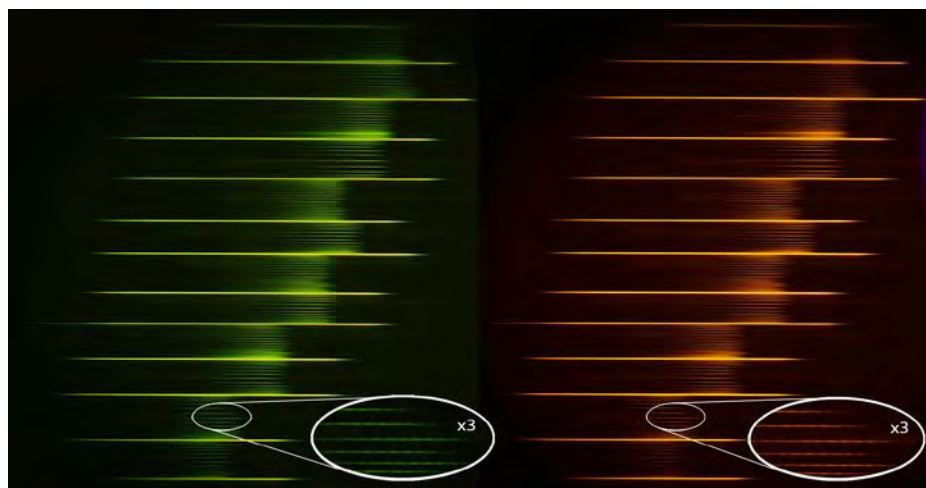


Рис. 8. Сверхбыстрая динамика диссоциации наноразмерных кластеров при возбуждения входящих в них молекул резонансным фемтосекундным ИК излучением.

Публикация: D.G. Poydashev, V.N. Lokhman, V.O. Kompanets, S.V. Chekalin, E.A. Ryabov. "Ultrafast Dissociation Dynamics of $[\text{Fe}(\text{CO})_5]_n$ Clusters Induced by Femtosecond IR Radiation" *J. Physical Chemistry*, DOI: 10.1021/jp510130x (2014).

Впервые зарегистрированы строго периодические осцилляции плотности центров окраски (ЦО), наведённых в изотропном кристалле LiF при филаментации фемтосекундного импульса на длине волны, перестраиваемой в полосе 2600–3350 нм (Рис.9). Установлено, что период структуры составляет около 30 мкм, при этом с увеличением длины волны лазерного излучения период сокращается, а амплитуда осцилляций возрастает. Максимум плотности центров окраски, обнаруженный при филаментации импульса на длине волны 3000 нм, связан с увеличением вклада прямой генерации центров окраски при поглощении целого числа фотонов экситонной полосой. Численно показано, что периодическая структура центров окраски в LiF возникает вследствие периодического изменения амплитуды светового поля в образующейся при филаментации «световой пуле» длительностью в 1,5 оптических периода. (Совместно с Институтом лазерной физики СО РАН и МГУ).

Рис. 9. Периодическая структура из центров окраски в LiF, наведённая фемтосекундным филаментом среднего ИК-диапазона. Приведены фотографии одной и той же серии люминесцентных структур, наведённых в LiF лазерными импульсами с длиной волны 3000 нм различной энергии (от 9 мкДж в нижнем фрагменте до 15,6 мкДж в верхнем). Яркие линии, разделяющие фрагменты, соответствуют записям ЦО при многоимпульсной экспозиции, тонкие линии во фрагментах — записям ЦО при экспозиции одиночными импульсами. Люминесценция возбуждается излучением непрерывного лазера на длине волны 450 нм. Внизу показаны увеличенные втрое фрагменты изображения, где видны периодические изменения яркости люминесцентных структур, наведённых единичными импульсами. Публикация: S.V. Chekalin, V.O. Kompanets, A.V. Kuznetsov, A.E. Dormidonov and V.P. Kandidov. Regular 'breathing' of a near-single-cycle light bullet in mid-IR filament. *Laser Phys. Lett.* 13 (2016) 065401 (5pp), doi:10.1088/1612-2011/13/6/065401.



Важным направлением исследований отдела лазерной спектроскопии стала разработка нового метода изучения сверхбыстрой ($10^{-10} - 10^{-13}$ с) структурной динамики конденсированных сред на основе четырёхмерной (с временным разрешением) электронной микроскопии и создание уникального экспериментального комплекса для исследования динамических процессов в новых перспективных материалах, в том числе при их структурных и физических превращениях и при взаимодействии с излучением. (д.ф.-м.н. С.А. Асеев). В рамках этого направления разработан и запущен первый в России 4D- микроскоп, основанный на сочетании просвечивающего электронного микроскопа и современной импульсной лазерной техники, формирующей ультракороткие электронные пучки, позволяющие выполнять эксперименты в области сверхбыстрой электронной микроскопии/дифракции. На созданном фемтосекундном электронографе методом фемтосекундной электронной дифракции (д.ф.-м.н. С.А. Асеев) впервые осуществлено прямое наблюдение генерации когерентных оптических фононов в плёнке сурьмы (Рис. 10). Образец возбуждался импульсом фемтосекундного лазера ($\lambda=800$ нм) и зондировался импульсным фотоэлектронным пучком ($\tau < 350$ фс). В полученных дифракционных картинах наблюдались осцилляции интенсивности, соответствующие частотам колебаний оптических фононов, возбуждённых лазерным излучением: полносимметричной (A_{1g}) и дважды вырожденной (E_{2g}) фононным модам сурьмы и их комбинациям. (Совместно с МИТХТ, ИПЛИТ и ИФТТ РАН).

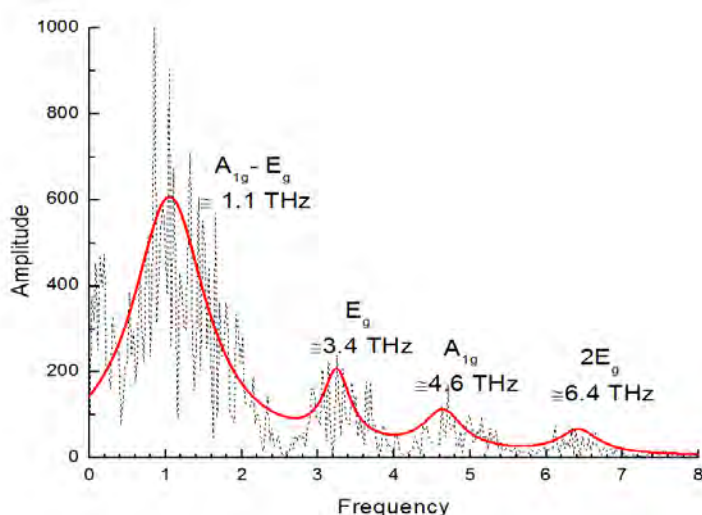


Рис. 10. Прямое наблюдение генерации когерентных оптических фононов в тонких плёнках методом фемтосекундной электронной дифракции. Показан спектр осцилляций дифракционного сигнала в плёнке сурьмы. Частоты и наблюдаемые пики соотношены с соответствующими модами колебаний оптических фононов. Публикация: Миронов Б.Н., Компанец В.О., Асеев С.А., Ищенко А.А., Мисочко О.В., Чекалин С.В., Рябов Е.А. Direct observation of the generation of coherent optical phonons in thin antimony films by the femtosecond electron diffraction method. JETP Letters, 103, No 8, p. 531-534/

С указанной выше работой тесно связан другой проект (д.ф.-м.н. С.В. Чекалин), нацеленный на осуществление возможности простран-

ственно-контролируемой модификации поверхностных свойств материала и получения химически видоизменённого нанорельефа с помощью лазерного излучения фемтосекундной длительности и полученных с его помощью узконаправленных, сжатых во времени нанопучков электронов.

Важным направлением работ отдела спектроскопии твёрдого тела остается спектральная диагностика новых материалов и наноструктур (член-корр. РАН Е.А. Виноградов). Оптическая и колебательная Фурье-спектроскопия позволяет исследовать слоистые пленочные структуры, квазикристаллы, сверхтвёрдые и сверхпрочные покрытия; нанотрубки, нанокомпозиты, оксиды редкоземельных элементов в порах диаметром 40-150 нм, наночастицы редкоземельных элементов и соединений в кристаллах и стеклах; наночастицы и их комплексы с редкими землями в полимерных матрицах и другие перспективные для применений материалы. Работа ведется широким фронтом в тесном сотрудничестве с многими российскими и зарубежными партнерами.

В лаборатории Фурье-спектроскопии (д.ф.-м.н. М.Н. Попова) совместно с учеными Института физики имени Л.В. Киренского СО РАН и МГУ имени М.В. Ломоносова проведено

спектроскопическое исследование редкоземельных боратов со структурой хантит, направленное на совершенствование технологий диагностики наноматериалов и наноустройств. Методом спонтанной кристаллизации из раствора в расплаве выращены кристаллы из нескольких подсемейств семейства редкоземельных (РЗ) боратов со структурным типом природного минерала хантита. Изучены характерные особенности широкодиапазонных ИК, КРС и рентгеновских спектров для различных модификаций (РЗ) боратов; исследованы спонтанные структурные и магнитные фазовые переходы по температуре в ферроборатах и ряде хромовых боратов; рассмотрены спектроскопические проявления спин-фононного и электрон-фононного взаимодействия в этих соединениях; разработаны методы детектирования примесей в лазерных кристаллах и рекомендации по технологии их роста для улучшения качества (Рис. 11). Разработан алгоритм и построены программы расчетов в рамках модели обменных зарядов параметров гамильтониана электрон-деформационного взаимодействия РЗ ионов. Изучены особенности фазовых переходов, динамики решетки, магнитных и оптических свойств РЗ ферроборатов, являющихся мультиферроиками.



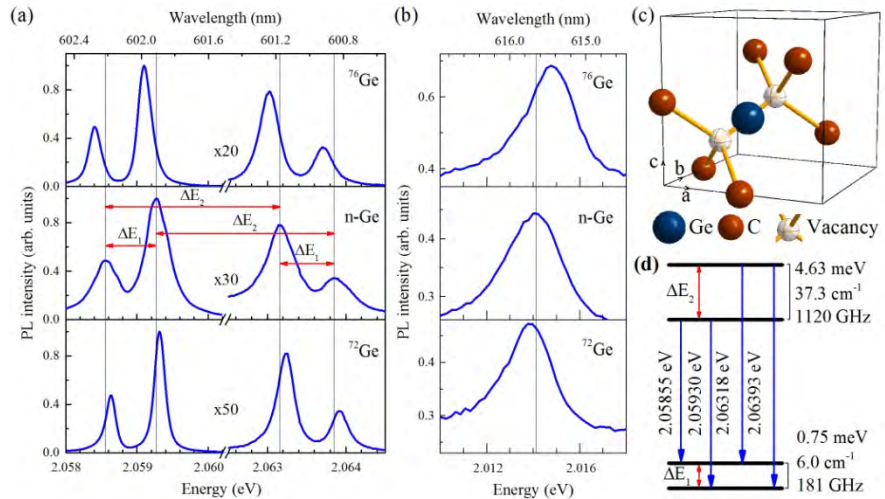
Рис. 11. Фурье-спектроскопия высокого разрешения: детектирование примесей в лазерных кристаллах

Проведено исследование новых люминесцентных центров в легированных различными изотопами германия алмазах, синтезированных при высоких давлениях и температурах (Рис. 12). Показано, что германий входит в решетку алмаза рядом с вакансиями, образуя центры «германий-бивакансия» (Ge-V), определены электронная структура этих центров и характеристики их люминесценции. Предложено использовать Ge-V центры в устройствах квантовой информатики в качестве однофотонных эмиттеров и для построения трехуровневых квантовых систем.

В той же лаборатории обнаружен оптический линейный дихроизм в изотропной кристаллографической базовой плоскости тетрагонального кристалла метабората меди – сегнетомагнетика с уникальными свойствами. Выяснена природа линейного дихроизма и показано, что он может служить чувствительным, селективным по подрешеткам методом обнаружения фазовых переходов и зондирования магнитных структур. Данная работа поставила точку в принципиальной дискуссии о возможности контролировать хиральность кристалла с помощью магнитного поля.

В работе по диагностике методом КРС наноструктур оксида титана, полученных новым методом из газовой фазы при различных температурах с использованием наночастиц для разделения фракций по размерам от 20 ангстрем и выше, обнаружено, что все наноструктуры имели спектр анатаза (одной из модификаций окиси титана).

Рис. 12. (а) Тонкая структура бесфононной линии (БФЛ) в спектрах люминесценции алмаза, легированного различными изотопами германия; (b) Вибронный спутник БФЛ, обусловленный локальной колебательной модой, частота которой зависит от массы изотопа германия; (c) Структура германиевого центра в алмазе: атом Ge между двумя вакансиями углерода C; (d) Схема уровней энергии и оптических переходов в германиевом центре.
 Публикация: Е.А. Екимов, S.G. Lyapun, K.N. Boldyrev, M.V. Kondrin, R. Khmel'nitskiy, V.A. Gavva, T.V. Kotereva, M.N. Popova, Germanium – vacancy color center in isotopically enriched diamonds synthesized at high pressures, Письма в ЖЭТФ, 102, № 11 (2015).

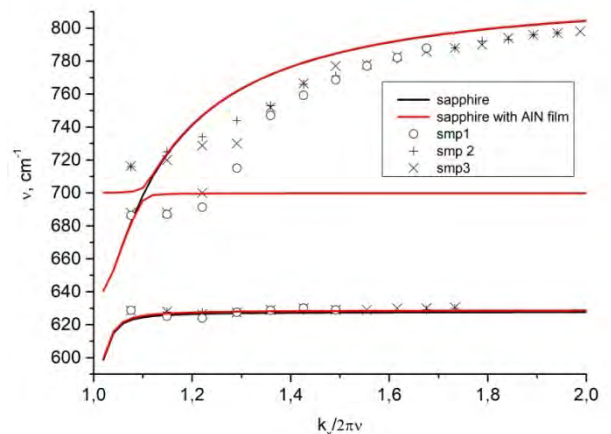


Исследовано влияние оксидов Nd_2O_3 , MoO_3 , and RuO_2 и температурных режимов на частичную кристаллизацию (в том числе с образованием нанокристаллитов) алюмосиликатных стекол, показано, что RuO_2 является центром образования зародышей кристаллитов, в то время как Nd_2O_3 тормозит процесс кристаллизации.

Изучение люминесцентных свойств новых кварцевых стекол с добавлением наночастиц оксидов церия и тербия показало высокий квантовый выход люминесценции, что открывает перспективы использования этих оптических материалов.

В широком спектральном диапазоне от 380 до 1500 cm^{-1} измерены инфракрасные спектры отражения и нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) нанометровых пленок нитрида алюминия на сапфире. Показано, что при использовании стандартных методов исследования ИК спектров отражения (в дальнем поле) пленки нанометровой толщины не видны из-за их малой оптической плотности. В спектрах же нарушенного полного внутреннего отражения (спектры поглощения в ближнем поле) благодаря резонансу поверхностного поляритона сапфира с оптическим фоном пленки возникает расщепление поверхностного поляритона, поэтому, используя измеренную дисперсию поляритонов, можно определить оптические постоянные и пленок, и границы раздела пленка-подложка. На Рис. 13 представлены экспериментальные данные положения максимумов полос в спектрах НПВО и дисперсионные кривые поляритонов, полученные при наилучшем совпадении с расчетом путем подгонки оптических констант и пленки, и подложки.

Рис. 13. Дисперсия поверхностных поляритонов не отожженного (o), отожженного (+) и нитризованного сапфира (x). Расчетные кривые получены для сапфира (черная кривая) и сапфира с пленкой AlN толщиной 2 нм и с частотой поперечных колебаний 700 cm^{-1} и частотой продольных колебаний 890 cm^{-1} (красные кривые).

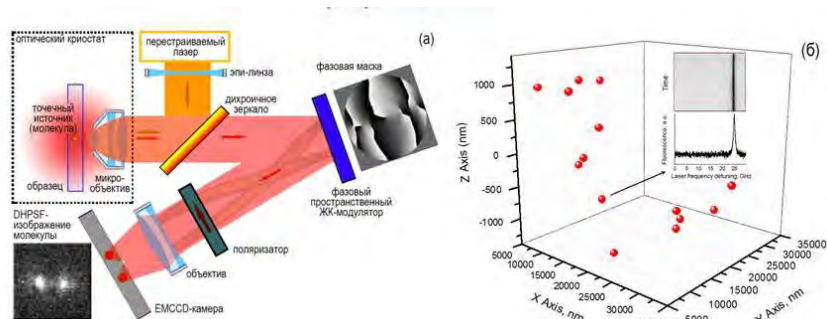


Нужно еще отметить разработку в отделе спектрометрического метода обнаружения и оценки фальсификации питьевого молока (путем разбавления водой, мукой и другими примесями) с применением портативного двух канального спектрометра коротковолнового ближнего ИК диапазона и подделок молочного жира растительными маслами с применением спектрометра на линейке InGaAs фотодиодов, на устройства для реализации указанных методов получены патенты (к.ф.-м.н А.В. Калинин). К приборостроительным разработкам отдела можно отнести также создание лабораторного прибора для измерения концентрации легирующих электроактивных примесей (бор, фосфор, мышьяк) в высокочистом кремнии с чувствительностью до 2 ppt (к.ф.-м.н К.Н. Болдырев).

К направлению спектроскопии конденсированных сред близко примыкает диагностика локальных параметров твердотельных органических структур, предложенная и исследуемая в отделе молекулярной спектроскопии ИСАН (д.ф.-м.н. Ю.Г. Вайнер, д.ф.-м.н. А.В. Наумов). Метод основан на использовании в качестве спектрального нанозонда, вводимого в твердотельную среду, одиночных хромофорных молекул, оптические спектры которых чрезвычайно чувствительны к параметрам ближайшего микроокружения и содержат разнообразную информацию о параметрах этого окружения. Метод обладает целым рядом уникальных достоинств – это отсутствие усреднения по объему образца, малое искажающее действие, высокая информативность, диагностика нанообъектов практически любой природы.

В рамках развития указанного метода коллектив отдела молекулярной спектроскопии (д.ф.-м.н. А.В. Наумов, совместно с МПГУ, МФТИ) впервые осуществил эксперименты по трехмерной криогенной оптической спектромикроскопии с субдифракционным пространственным разрешением (Рис. 14), основанной на регистрации флуоресцентных изображений, бесфонных спектральных линий и спектральной динамики одиночных молекул, внедренных в качестве нанозондов в исследуемый материал (молекулярный кристалл). Нанометровая точность реконструкции всех трех координат точечного излучателя достигается путем инструментальной модификации аппаратной функции точечного источника света по биспиральной схеме (double helix point spread function, DHPSF [W.E. Moerner et al. PNAS 2009]) с использованием элементов адаптивной оптики. Раздельное возбуждение и детектирование флуоресцентного свечения одиночных молекул достигается путем перестройки частоты узкополосного лазера в резонанс с частотами электронных переходов отдельных молекул. Техника может быть использована для гиперспектральной многоцветовой нанодиагностики структуры и динамики твердых материалов и наноструктур благодаря ультравысокой чувствительности спектральных зондов к параметрам локального окружения. Полученный результат позволяет расширить возможности отмеченных Нобелевской премией по химии 2014 г. методов флуоресцентной микроскопии сверхвысокого разрешения для решения задач материаловедения и нанотехнологий.

Рис. 14. (а) Принципиальная схема криогенного эпи-люминесцентного 3D-микроскопа сверхвысокого разрешения с модификацией аппаратной функции точечного источника. (б) 3D-реконструкция расположений одиночных молекул террилена в молекулярном кристалле орто-дихлоробензола, осуществленная путем регистрации бесфонных люминесцентных изображений одиночных молекул при температуре 5К.



На вкладке изображен спектр возбуждения флуоресценции одной из молекул и его временная эволюция (спектральный след).

Публикация: A.V. Naumov, I.Y. Eremchev, A.A. Gorshlev, "Laser Selective Spectromicroscopy of Myriad Single Molecules: Tool for Far-Field Multicolor Materials Nanodiagnosics" // *European Physical Journal D*, v.68, iss.11, pp.348-369 (2014). [DOI: 10.1140/epjd/e2014-50414-x].

В отделе создан измерительный комплекс для 3D-наноскопии с детектированием флуоресцентных изображений одиночных точечных излучателей при комнатной температуре. Проведены эксперименты по детектированию флуоресцентных траекторий одиночных полупроводниковых коллоидных нанокристаллов (CdSe/ZnS) с контролем их пространственного расположения с нанометровой точностью. Разработана методика детектирования люминесценции одиночных квантовых точек (КТ) CdSe, выращенных в застеклованных жидкокристаллических Cd-алкоанатах. Обнаружено, что фотолюминесценция одиночных КТ имеет мерцающий (флуктуирующий) характер, а в ряде случаев подвержена процессам спектральной диффузии.

В этом же отделе д.ф.-м.н. Ю.Г. Вайнером развита методика изучения низкотемпературной динамики поверхности и приповерхностных слоев полимерных пленок по спектрам одиночных хромофорных молекул при их диффузионном внедрении на заданную глубину в приповерхностные нанослои пленок (в т.ч., размещенных непосредственно на поверхности). На примере аморфного полиизобутилена, легированного молекулами тетра-трет-бутилтеррилена, показано, что в приповерхностных слоях глубиной менее 20 нм спектральная динамика хромофорных молекул не подчиняется предсказаниям стандартной модели низкотемпературных стекол. Обнаружено, что хромофорные молекулы, помещенные строго на поверхность полимерных пленок, не проявляют стабильных бесфонных спектральных линий. Зарегистрированные отклонения объяснены значительным уменьшением в приповерхностной области полимера высоты потенциальных барьеров, сильным возрастанием плотности колебательных состояний, а также поверхностной спектральной диффузией хромофорных молекул, вызванной возбуждающим излучением.

Среди спектрометрических задач, которые приходится решать отделу, уместно назвать абсорбционную спектрометрию пламени для поиска оптимальных условий процессов горения в сверхзвуковых потоках горючих смесей летательных аппаратов и ракет. Работа ведется лабораторией аналитической спектроскопии (д.ф.-м.н. М.А. Большов) в сотрудничестве с ОИВТ РАН и ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского. Исследователями предложена новая схема бесконтактного определения параметров до- и сверхзвуковых газовых потоков, основанная на регистрации нестационарных линий поглощения тестовых молекул в условиях сильного уширения линий поглощения при реализации жестких условий в смешивающихся потоках при температурах до 2000 К и давлениях в смеси для 2.5 атм. Для указанных условий разработана техника регистрации сильных линий поглощения в различных спектральных диапазонах с двумя независимыми диодными лазерами и специализированным алгоритмом обработки экспериментальных данных.

Наряду с решением спектроскопических задач в Институте выполняются работы и приборостроительного плана. В отделе лазерно-спектрального приборостроения (д.ф.-м.н. О.Н. Компанец) за последние несколько лет созданы и испытаны опытные образцы портативного биосенсора (Рис. 15) в составе биодатчиков на основе наноконструкций ДНК и портативного дихрометра для прямого экспрессного определения в жидкости физиологических концентраций ряда биологически активных соединений с порогом их обнаружения, не уступающим аналогичной характеристике имеющихся на рынке традиционных приборов такого же назначения (совместно с Институтом молекулярной биологии имени В.А. Энгельгардта РАН и ООО «Лаборатория оптико-электронных приборов»).

В интересах ракетно-космической и авиационной отрасли создан анализатор водорода в титановых сплавах (Рис. 16) в составе: генератор конденсированной искры, мини-спектрометр для регистрации спектра водорода в диапазоне 550-680 нм, программное обеспечение и аналитическая методика измерения концентрации водорода с калибровкой по эталонам типа ОСО22. Получено Свидетельство об утверждении типа средства измерения на «Комплексы атомно-эмиссионные для анализа водорода в титановых сплавах с регистратором спектра МОРС-1» (к.т.н. Э.Г. Силькис, совместно с ООО «МОРС»).

Завершена разработка широкодиапазонного спектрографа (одновременно регистрируемый участок спектра 190-960 нм) с системой регистрации на 24 линейных ПЗС (МОРС-24) и

светосильной входной оптикой, предназначенного для работы с различными генераторами возбуждения спектра в создаваемых эмиссионных спектрометрах. Проведены исследования его возможностей по анализу геологических объектов с лазерно-искровым генератором возбуждения спектров. Чувствительность для 60 элементов доведена до 10^{-4} – 10^{-5} массовых долей процента. Проведен анализ возможностей эмиссионного спектрометра на основе «гелиевого» плазмотрона и системы регистрации МОРС-9 по определению в минералах содержаний галогенов, серы и фосфора, достигнута чувствительность определения серы на уровне 10 ppm (к.т.н. Э.Г. Силькис, совместно с ООО «МОРС» и ГЕОХИ РАН).

Ключевой элемент биосенсорной технологии - биодатчик на основе пространственно упорядоченных частиц холестерической жидко-кристаллической дисперсии (ХЖКД) молекул ДНК (разработка ИМБ РАН), повреждение или разрушение которого под действием биологически активных и токсических соединений (БАС) из содержащей их исследуемой жидкости сопровождается изменением присущего биодатчику сигнала аномального кругового дихроизма (КД), регистрируемого портативным дихрометром (ИСАН).

Применение:

Детектирование биологически активных и токсичных соединений в медицине (клиническая диагностика, фармако-кинетика, персонафицированная терапия), контроль пищевых продуктов, био-безопасность.

Публикация: Г.Скуридин, Ф.В.Верещагин, В.И.Сялянов, В.М.Гусев, М.А.Павлов, О.Н.Компанец, Ю.М.Евдокимов. Сенсорные системы, т.29, №1, с. 99-107 (2015).

Схема получения ДНК-биодатчика



Биосенсорные тест-системы (биосенсоры) на основе полифункционального дихрометра СКД-2МУФ (слева) и трехволнового (на светодиодах) дихрометра СКД-4

Рис. 15. Оптические биосенсоры на основе ДНК-биодатчиков и дихрометра для биомедицины



Эмиссионный анализатор водорода в титановых сплавах



Лазерно-искровой эмиссионный спектрометр с фотоэлектронной кассетой на 24 ПЭС

Рис. 16. Приборы для анализа водорода в титановых сплавах и геологических образцов

Оценены возможности измерения содержания серы на эмиссионном спектрометре с источником возбуждения спектров (двухструйным дуговым плазмотроном) в области длин волн 921-925 нм (к.т.н. Э.Г. Силькис). Проведена оценка чувствительности определения серы по геологическим и почвенным эталонам, измерены содержания серы в графитовых образцах

предприятия НИИ «Графит»-МЭЗ. В диапазоне 330-1080 нм проведены измерения линейчатого спектра высокой плотности водородной лампы типа ДВС-25 на спектрографе с дисперсией 7.3 А/мм. При разумных экспозициях (10-60 секунд) в указанном диапазоне зафиксировано порядка 2100 линий. Альбом спектров ДВС-25 в универсальном формате dat может быть использован для калибровок спектральной шкалы спектрографов, оснащенных фотоэлектронными системами регистрации.

Разработан линейный двигатель с подвижным магнитом для преимущественного использования в Фурье-спектрометрах, устройство которого обеспечивает снижение индуктивности соединенных обмоток при увеличении силы на единицу тока и уменьшение изменения коэффициента преобразования в зависимости от положения магнита по диапазону перемещения (с.н.с. И.Н. Нестерук).

И, конечно, нельзя не сказать хотя бы коротко о результатах высоко цитируемых работ теоретиков ИСАН из Теоретического отдела (рук. д.ф.-м.н. А.М. Камчатнов) и Лаборатории спектроскопии наноструктур (к.ф.-м.н. Ю.Е. Лозовик), являющихся гордостью Института.

Предсказано существование новых типов фундаментальных, мультипольных и вихревых солитонов в конденсатах Бозе-Эйнштейна со спин-орбитальным взаимодействием, удерживаемых в зеemanовском периодическом потенциале. Приведена классификация возможных солитонных состояний в данной системе и показано, что все вышеупомянутые решения могут быть устойчивы (д.ф.-м.н. Я.В. Карташов).

Вычислены скорость медленного распада метастабильного возбуждения системы двух пространственно разделенных кубитов (резонансных двухуровневых атомов, квантовых точек и т.п.), взаимодействующих с модами одномерного волновода, а также вероятность попадания дважды возбужденной системы в метастабильное состояние. Знание этих параметров существенно для возможных применений метастабильных состояний для так наз. «квантовой памяти» (д.ф.-м.н. В.И. Юдсон).

Предсказан новый эффект квантовой электродинамики в нестационарной полости – нефотонное, параметрическое возбуждение атома за счет встряхивания его *виртуальной* фотонной шубы (другими словами, динамический эффект Лэмба). Перспективной системой для наблюдения эффекта является сверхпроводящая схема из линий с изменяющимся граничным условием с помощью сквида (аналога нестационарной оптической полости), другая возможность реализации эффекта – модуляция взаимодействия сверхпроводящего кубита с линией. Рассчитано квантовое запутывание кубитов с фотонами. Динамический эффект Лэмба в сверхпроводящей системе может быть использован для создания квантовой памяти на сверхпроводящих кубитах (к.ф.-м.н. Ю.Е. Лозовик).

Разработана квантовая теория генератора плазмонов на графене. На основе управляющего квантового уравнения, описывающего диссипативную динамику электромагнитного поля плазмона и активной среды на основе квантовых точек, исследованы три возможных режима генерации плазмонов на графене. Первый режим реализуется в диапазоне длин волн до 3 мкм и характеризуется высокой когерентностью плазмонов и двухпиковым спектром. Второй режим соответствует диапазону от 3 до 5 мкм, в нем происходит генерация когерентных плазмонов с однопиковым спектром подобно обычному лазеру. В третьем режиме (реализуется при длине волны плазмона больше 5 мкм) генерация когерентных плазмонов невозможна, происходит усиление плазмонов, спонтанно возбуждаемых активной средой (аналогично работе светодиода). На основе графенового плазмонного лазера можно создать компактные, сверхчувствительные сенсоры ИК диапазона для изучения биологических молекул, основанные на срыве анализируемой молекулой плазмонной генерации вблизи порога генерации (Рис. 17).

Исследованы взаимодействие и туннельная проводимость между концами коаксиальных углеродных нанотрубок на примере двух (11,11) нанотрубок с открытыми концами с химиче-

ски адсорбированными на них атомами водорода. На основе расчетов туннельной проводимости и энергии взаимодействия нанотрубок предложены схема и принципы работы наносенсора, предназначенного для измерения силы, и наносенсора для измерения магнитного поля, основанного на магнитном взаимодействии нанотрубок, заполненных эндофуллеренами (к.ф.-м.н. Ю.Е. Лозовик, к.ф.-м.н. А.М. Попов).

Рис. 17. Схема квантового генератора плазмонов на графене.



Наконец, в Институте продолжает работать один из пионеров органической электроники в мире проф. В.М. Агранович, известный своими фундаментальными трудами по экситонам и поляритонам в кристаллах, в том числе органических, начиная с 60-х годов прошлого века. Его работы последнего времени предлагают принципиально новый тип гибридных (органика-неорганика) оптоэлектронных устройств, основанных на сочетании перспективных свойств экситонов Ванье-Мотта и Френкеля, что может послужить мощным катализатором для разработок, исследований и развития инновационных технологий в стране в области органической электроники.

Как можно видеть из представленного выше материала, ученые ИСАН тесно взаимодействуют с физиками и технологами других научных учреждений, включая зарубежные. Институт спектроскопии РАН стал в стране своего рода «центром кристаллизации» профессионалов в области оптики, спектроскопии, спектрального анализа и оптико-спектрального приборостроения независимо от их места работы. ИСАН явился организатором Всероссийской школы по спектральному анализу, которая объединила спектроскопистов-аналитиков НИИ, вузов и заводских лабораторий. Институт – бессменный организатор съездов по спектроскопии с участием иностранных ученых и специалистов (в 2016 г. прошел XXV такой съезд), конференций и научных школ по различным разделам оптической спектроскопии, Троицкой конференции «Медицинская физика и инновации в медицине». Ученые Института не замыкаются в его стенах и широко привлекаются другими организациями к оппонированию диссертаций, проведению экспертиз, относящихся к области оптики и спектроскопии, к участию в комиссиях по научно-техническим вопросам, научных и диссертационных советах.

Особое внимание в институте уделяется вопросам подготовки научных кадров высшей квалификации. При ИСАН создан Научно-образовательный центр «Широкодиапазонная спектроскопия перспективных материалов», работает базовая кафедра МФТИ «Нанооптика и спектроскопия». В Институте продолжает функционировать Диссертационный совет по присуждению ученых степеней кандидата и доктора физико-математических наук по специальностям «оптика» и «теоретическая физика» (председатель Совета – чл.-корр. РАН Е.А. Виноградов, ученый секретарь – к.ф.-м.н. К.Р. Каримуллин).

Общепризнанные научные достижения Института спектроскопии – результат профессионализма и высокой отдачи его ученых, а также усилий дирекции по организации научных работ, поддержанию инфраструктуры, подготовке кадров. Благодаря предпринятым мерам удалось сохранить работоспособный квалифицированный состав научных сотрудников и специалистов, действующее опытное экспериментальное производство, научную библиотеку

(одну из лучших в РАН), всю необходимую инфраструктуру, практически обновить весь парк лабораторного оборудования и компьютеров и даже привлечь в коллектив способную молодежь. При этом следует особо отметить, что Институт никогда не сдавал своих площадей в аренду коммерческим структурам – они нужны ему самому, особенно сейчас, в период возобновления интереса государственных структур к науке и инновациям.

Более детально познакомиться с основными научно-инновационными результатами сотрудников ИСАН можно на сайте Института по ссылкам:

Публикации сотрудников Института спектроскопии РАН по результатам работ, выполненных в 2016 и в 2015 годах с использованием научного оборудования Центра Коллективного Пользования ИСАН:

http://isan.troitsk.ru/ru/achievements_ckp.php

Основные достижения сотрудников ИСАН в 2009-2014 гг

<http://isan.troitsk.ru/ru/achievements.php>

Основные публикации сотрудников ИСАН в 2009-2014 гг

<http://isan.troitsk.ru/ru/publications.php>

УДК: 537.868.4

**ДЕМОНСТРАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДОВ ИК И РАМАН
СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ
И ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ****Е.А. Виноградов**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии
Российской академии наук, 108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, 5.
evinogr@isan.troitsk.ru

В докладе демонстрируются возможности применения колебательной спектроскопии для характеристики тонкопленочных покрытий на примере пленок SiO_xN_y и SiO_x на стальных и кремниевых подложках, пленок AlN и MgO на сапфире, приготовленных как методами напыления, так и методами химической реакции на поверхности. Показано, что наиболее детальную и корректную информацию о параметрах функции диэлектрической проницаемости покрытий можно получить из частотно-угловых спектров фононных поляритонов. Приводятся также примеры исследования моно-, 3 – и 11-слоевых органических пленок пристина (C_{18}N) на медных подложках, приготовленных методом Лэнгмюра-Блоджет.

Ключевые слова: фононные поляритоны, частотно-угловые спектры, пленки SiO_xN_y , SiO_x , AlN и MgO , магнетронное распыление

The report demonstrate possibilities of applications IR and Raman spectroscopy methods for characterization and investigation of thin films covering as example using investigations of SiO_xN_y and SiO_x on steel and silicon substrates, and AlN and MgO films on sapphire. These films were prepared by sputtering methods, as well as methods of chemical reaction on surfaces. It was shown that the more detail and correct information about all parameters of dielectric function can be obtained from angle-frequency spectra of phonon polariton of the samples. In the report as example the results of investigations of mono-, 3 – and 11-layres organic LB films of pristine (C_{18}N) on Cu substrates are discussed.

Keywords: phonon polaritons, the frequency-angular spectra, the SiO_xN_y , SiO_x , AlN and MgO thin films, magnetron sputtering.

1. Введение. Колебательная спектроскопия (ИК и Раман) обладают высокой химической селективностью и позволяют определять многие физические свойства материалов, влияющих на параметры оптических фононов, такие как кристаллическая структура и ее совершенство, элементный состав материала. Влияние внутренних и внешних напряжений, температуры, размеров кристаллических зерен, отклонения от стехиометрии, политипизм кристаллов, окисление поверхности и приповерхностных слоев и многое другое может быть обнаружено через исследование оптических фононов и их параметров. Исследуя угловую зависимость колебательных спектров (меняя угол падения света на образец) можно выяснить ориентацию кристаллической решетки и/или ее зерен (кластеров). При этом методы колебательной спектроскопии являются неразрушающими и могут быть дистанционными. ИК техника в ряде случаев обладает не только очень высокой селективностью, но и чувствительностью к малым оптическим плотностям покрытий вплоть до монослоевых пленок на поверхности кристаллов. Рамановская техника, с другой стороны, более удобна для исследований образцов в камерах высокого давления, высоких температур и для исследований с высоким пространственным разрешением, и она наиболее популярна для исследования и характеристики углерод содержащих покрытий. Правила отбора для ИК и Рамановских спектров различны и поэтому они взаимно дополняют друг друга.

Технология выращивания тонкопленочных покрытий отрабатывается, как правило, опираясь на исследования физических свойств пленок в зависимости от режимов роста. Одним из важнейших методов исследования физических свойств пленок является метод измерения частотной зависимости функции диэлектрической проницаемости в широком спектральном диапазоне. Однако традиционные оптико-спектральные методы (спектры отражения-поглоще-

ния) структур с тонкими пленками не дают желаемой информации, поскольку для исследования физических (оптических) свойств сверхтонких (нанометровых) пленок до сих пор нет спектрометров с необходимой фотометрической точностью. В большинстве случаев свойства пленок сильно отличаются от свойств объемных материалов, из которых они изготовлены и, кроме того, в процессе выращивания пленок может происходить изменение структуры приповерхностного слоя подложки. Как известно, гетероэпитаксиальный рост неизбежно сопровождается образованием дислокаций, если толщина пленки превышает некоторую критическую величину. Критическая толщина (h_c) зависит от рассогласования периодов решетки пленки (a_f) и подложки (a_s), $f = a_f - a_s$, и согласно модели Мэттьюза $h_c \sim 1/f$ [1]. Если активная область оптоэлектронного устройства формируется в объеме пленки, то дислокации портят все дело, и борьба с ними представляет одно из актуальных направлений в технологии. Очевидный способ избавления от дислокаций состоит в использовании пленок докритической толщины. К сожалению, на практике это возможно не всегда из-за малости h_c при больших f [1].

О качестве кристаллической структуры пленок можно судить по измеренным в ИК области спектра частотам и временам жизни оптических фононов, точнее – фононных поляритонов. Традиционные методы ИК спектроскопии, работающие в дальнем поле, как правило, малоинформативны, поскольку они просто не «видят» их из-за малой оптической плотности тонких пленок. В ряде случаев для определения физических параметров нанопленок полезно использовать спектроскопию поверхностных поляритонов. Поверхностные поляритоны (ПП) являются нерадиационными электромагнитными возбуждениями, распространяющимися вдоль границы раздела. Они существуют на границе двух сред, если диэлектрические проницаемости контактирующих веществ имеют разные знаки [2 – 7]. Поле ПП вблизи поверхности (интерфейса) является ближним полем, и оно «привязано» к поверхности. В силу этого свойства спектры ПП могут оказаться очень чувствительными к характеристикам интерфейса [4-8].

Аналитические возможности спектроскопии ПП резко возрастают, если частота оптического фонона пленки попадает в область существования ПП подложки. Поверхностные плазмоны металлических подложек существуют в очень широкой области спектра и взаимодействие оптических фононов полупроводниковых и диэлектрических пленок с плазмонами подложки изучены довольно хорошо [2-7]. Взаимодействие оптических фононов пленок с фононными поляритонами диэлектрических подложек изучено до сих пор менее детально. Из-за резонанса между ними, возникает расщепление и сдвиг спектров поглощения ПП подложки. В этом случае экспериментальные данные позволяют восстановить все константы функции диэлектрической проницаемости и пленки и подложки, и тем самым характеризовать свойства и пленки и интерфейса. Возникающая при этом щель в дисперсионных кривых ПП подложки пропорциональна корню квадратному из толщины пленки, что позволяет измерять толщину и очень тонких пленок [9]. В силу этого спектроскопия ПП может быть уникальным источником информации о физических свойствах сверхтонких пленок на поверхности монокристаллов.

В докладе обсуждаются экспериментальные результаты исследования оптических свойств тонкопленочных покрытий на примере пленок оксинитрида кремния (SiO_xN_y) на стали и оксида кремния (SiO_x) на кремнии [10-11], пленок AlN и пленок MgO на сапфире [8, 12-16].

2. Экспериментальные результаты. Особенности исследования тонкопленочных покрытий рассмотрим сначала на примере пленок оксинитрида кремния (SiO_xN_y) на стали и оксида кремния (SiO_x) на кремнии традиционными методами ИК спектроскопии (в дальнем поле). Оптические и электрические свойства этих пленок сильно зависят от состава, и, меняя в процессе выращивания состав, можно использовать их в различных приложениях, таких как элементы солнечных батарей и люминесцентных устройств, как защитные и маскирующие слои в микроэлектронике [18,19]. Интересны также их механические свойства [20]. Пленки SiO_xN_y и SiO_x были выращены на различных подложках методом радиочастотного магнетронного испарения

в нескольких режимах из чистой кремниевой мишени в атмосфере различных газов [11]. Инфракрасные спектры отражения образцов пленок SiO_xN_y и SiO_x на подложках из стали и кремния были измерены в спектральном диапазоне $50\text{-}7500\text{ см}^{-1}$ на ИК-Фурье спектрометре IFS66v (BRUKER) с использованием приставки на отражение при варьировемых углах падения света.

Колебательные состояния пленок могут быть радиационными или нерадиационными. Непосредственно взаимодействовать с внешним электромагнитным полем, т.е. поглощать либо излучать электромагнитные волны, могут лишь радиационные состояния [2-4 и ссылки в них]. В тонких образцах с плоскопараллельными границами (особенно для пленок на металлических подложках) в спектрах отражения возникает интерференция, и для описания спектров отражения-поглощения необходимо использовать выражение для отражательной способности, справедливое для любой толщины пленки h_f и любых углов падения света θ на образец [4-7]:

$$R^{P,S}(\omega, \theta) = |r_{123}^{P,S}|^2, \quad (1)$$

где $r_{123}^{P,S}$ – коэффициент Френеля трёхслойной структуры для P – или S поляризованных волн, падающих в среде "1" под некоторым углом θ от нормали к плоской границе, отделяющей среду "1" от среды "2" и "3". Для немагнитной плоской структуры (магнитная проницаемость $\mu = 1$) коэффициенты $r_{123}^{P,S}$ записываются в виде [4-7]:

$$r_{123}^{P,S} = \frac{r_{12}^{P,S} + r_{23}^{P,S} \exp(-2\kappa_2 h_f)}{1 + r_{12}^{P,S} r_{23}^{P,S} \exp(-2\kappa_2 h_f)}, \quad r_{ij}^P = \frac{\kappa_i \varepsilon_j - \kappa_j \varepsilon_i}{\kappa_i \varepsilon_j + \kappa_j \varepsilon_i}, \quad r_{ij}^S = \frac{\kappa_i - \kappa_j}{\kappa_i + \kappa_j}, \quad (2)$$

где $\kappa_i = [k_x^2 - k_0^2 \varepsilon_i]^{1/2}$, $k_x = k_0 n_i \sin \theta$ – тангенциальная компонента волнового вектора падающей волны, $k_0 = \frac{\omega}{c}$ – волновое число в вакууме, $n_i = \sqrt{\varepsilon_i}$; ε_1 – диэлектрическая проницаемость среды, из которой свет падает на образец (чаще всего – вакуум), $\varepsilon_2(\omega)$ – диэлектрическая проницаемость пленки, $\varepsilon_3(\omega)$ – материала подложки. Диэлектрическая проницаемость металлической подложки обычно используется в виде формулы Друде, а диэлектрическая проницаемость пленки в виде формулы для дисперсионного осциллятора:

$$\varepsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\nu_{e-ph})}, \quad \varepsilon(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty)\omega_{TO}^2}{\omega_{TO}^2 - \omega^2 - i\gamma\omega}, \quad (4)$$

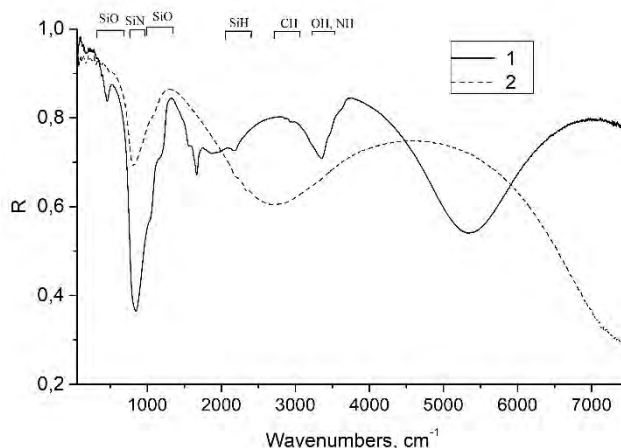
где ω_p – плазменная частота, ν_{e-ph} – частота электрон-фононной релаксации, $\varepsilon_0, \varepsilon_\infty$ – диэлектрические проницаемости на низких и высоких частотах, ω_{TO} – частота поперечного оптического фонона, γ – константа ангармонического распада фонона.

Исследование оптических свойств твердых тел базируется на измерении спектральных интенсивностей вышедшего из образца света. Это может быть как свет от внешнего источника прошедший через образец, отраженный или рассеянный, так и может быть свет, рожденный каким-либо возбуждением (в частности, тепловым движением ионов) внутри объекта исследований [2-7]. В оптическом эксперименте, таким образом, исследуется в дальнем поле результат радиационного распада поляритона. Поляритон характеризуется зависимостью $\omega(\vec{q})$, даже без учета эффектов пространственной дисперсии, \vec{q} – двумерный волновой вектор в плоскости пленки. Для восстановления зависимости $\omega(\vec{q})$ необходимо измерение спектров отражения (поглощения) при различных углах падения (излучения) света на образец. Отражательная способность $R(\omega, \theta)$ кристаллической пленки (пластины) произвольной толщины h_f в трехслойной структуре «вакуум – пленка – металл» определяется формулами (1)-(4). Зная

экспериментальный спектр отражения можно восстановить из него все константы диэлектрической проницаемости пленки.

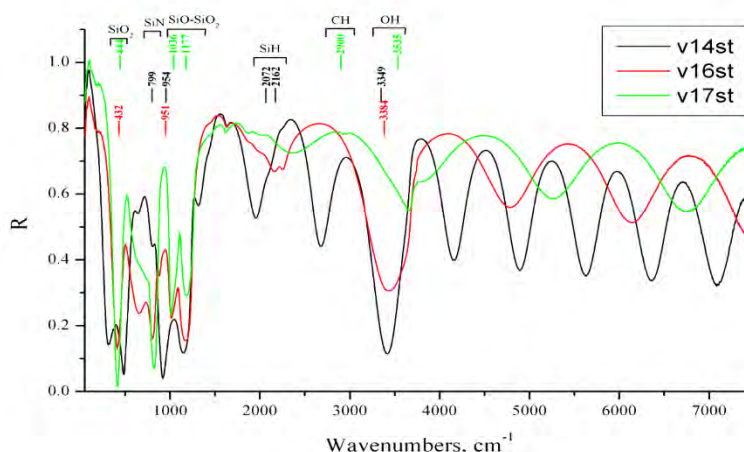
На рис. 1 представлены спектры ИК отражения-поглощения пленок SiO_xN_y на стальной подложке при угле падения ИК излучения на образец $\theta=15^\circ$. Пленки выращены при двух режимах работы магнетрона: мощность 250 и 150 Вт [11].

Рис. 1. ИК спектры отражения-поглощения пленок SiO_xN_y на стальной подложке. $\theta = 15^\circ$. 1 – $h_f = 500$ нм, $\epsilon_\infty = 2.77$; 2 – $h_f = 510$ нм, $\epsilon_\infty = 3.52$. Принадлежность полос поглощения к соответствующим химическим связям представлена в верхней части рисунка [11].



На рис. 2 представлены спектры отражения-поглощения пленок SiO_x , выращенных также на стальной подложке при различных режимах магнетронного распыления из кремниевой мишени и при различных давлениях смеси азота, кислорода и аргона [11].

Рис. 2. ИК спектры отражения-поглощения пленок SiO_x на стальной подложке при угле падения ИК излучения $\theta = 15^\circ$. Образец v14st – $h_f = 4100$ нм, $\epsilon_\infty = 2.437$; образец v16st – $h_f = 2250$ нм, $\epsilon_\infty = 2.445$; и образец v17st – $h_f = 2300$ нм, $\epsilon_\infty = 2.45$. Принадлежность полос поглощения к соответствующим химическим связям представлена в верхней части рисунка.



В спектрах на рис. 2 кроме полос поглощения колебательными состояниями пленок (оптическими фононами) видны спектры поглощения интерференционными модами (моды Фабри-Перо). Интерференционные полосы облегчают задачу измерения толщины пленки и константы высокочастотной диэлектрической проницаемости, так называемую ϵ_∞ , определяемую всеми электронными переходами в пленке. Варьируя константы функций диэлектрических проницаемостей пленок при наилучшей подгонке расчетных спектров с использованием формул (1) – (4) к экспериментальным можно получить все константы диэлектрических проницаемостей и через них получить необходимые сведения об элементном составе пленок и их кристаллическом качестве. Для этой процедуры подгонки спектров мы использовали программу SCOUT (Spectroscopic Objects and Utilities), написанную для WINDOWS [21]. В результате процедуры подгонки получаем частоты, силы осцилляторов и величины затухания фононов, и, сравнивая их с литературными данными, можем произвести отнесение полос поглощения пленок SiO_xN_y по компонентам пленки. Полосы 450 см^{-1} , 800 см^{-1} и $1050 - 1200 \text{ см}^{-1}$ относятся к оптическим фононам диоксида кремния, наиболее сильная полоса $850-950 \text{ см}^{-1}$ принадлежит нитриду кремния, полоса вблизи 1000 см^{-1} принадлежит монооксиду кремния, полосы в области $2100-2300 \text{ см}^{-1}$ связаны с колебаниями группы SiH, полосы $2800-3000 \text{ см}^{-1}$ относятся к CH колебаниям, а полоса вблизи 3500 см^{-1} принадлежит OH (или NH) колебаниям [11].

Образцы с пленками SiO_xN_y и SiO_x на стали исследовались также и методом комбинационного рассеяния света (КРС) (в англоязычной литературе Рамановские спектры) в геометрии на отражение. Использовался спектрограф TRIAX с тройным монохроматором, Notch фильтром и CCD камерой. Возбуждение спектров осуществлялось аргоновым лазером ($\lambda = 514.5$ нм). Спектрограф оснащен микроскопом, обеспечивающим диаметр сфокусированного лазерного излучения в один микрометр, что позволяет проводить исследования с высоким пространственным (латеральным) разрешением. В отличие от ИК спектров, в спектрах КРС регистрируются колебательные состояния пленок с существенно большим волновым вектором и в них не могут проявиться интерференционные моды, способные привести к некоторым систематическим ошибкам [2-7, 22]. Спектры КРС, как и спектры ИК поглощения, дали также характеристические колебания с Si-N (или Si-O-N) связями в области $800\text{-}1100$ cm^{-1} ; узкая полоса 1007 cm^{-1} вероятно связана с нанокристаллитами SiN_x ; пик на частоте 480 cm^{-1} обязан Si-O связям, а узкий пик на частоте 2330 cm^{-1} четко свидетельствует о наличии молекулярного азота (N_2). На рис. 3, в качестве примера, представлены спектры комбинационного рассеяния света тех же пленок SiO_x на стальной подложке, что и спектры отражения-поглощения на рис 2.

Спектры КРС, как и спектры ИК поглощения, дали также характеристические колебания с Si-N (или Si-O-N) связями в области $800\text{-}1100$ cm^{-1} ; узкая полоса 1007 cm^{-1} вероятно связана с нанокристаллитами SiN_x ; пик на частоте 480 cm^{-1} обязан Si-O связям, а узкий пик на частоте 2330 cm^{-1} четко свидетельствует о наличии молекулярного азота (N_2). В спектре КРС для образца v17st видны дополнительно полосы Si-N связей в области $840 - 1020$ cm^{-1} . Спектры КРС образцов SiO_xN_y четко подтверждают наличие связей Si-O и Si-N, однако не дают сведений о структуре этих образцов – аморфные они или поликристаллические. Аналогично и с пленками SiO_x на стали. В спектрах КРС этих образцов присутствуют как довольно хорошо упорядоченные кристаллиты SiO и SiO_2 так и фрагменты с практически полностью аморфной фазой SiO . Есть также слабый пик на частоте 1500 cm^{-1} свидетельствующий о присутствии углерода в пленке (или на поверхности пленки) [11].

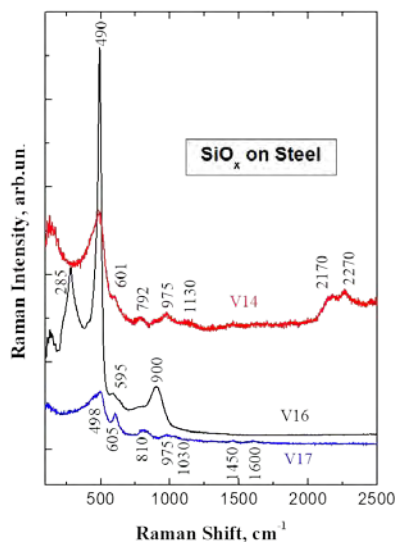


Рис. 3. Спектры КРС тех же пленок SiO_x на стальной подложке, что и ИК спектры рис 2. В спектрах образцов присутствуют оптические фононы кристаллического SiO_2 : 498 , 605 , 810 и 1030 cm^{-1} ; кварцевого стекла – 975 cm^{-1} ; частоты колебания Si-N связей – 2170 и 2270 cm^{-1} ; углерода – 1500 cm^{-1} , а также SiO-SiO₂ смесей $\text{SiO}_{1.4}$, $\text{SiO}_{1.8}$ и SiO_2 [11].

Аналогично находим, что в спектрах пленок SiO_x на кремнии наиболее интенсивные полосы принадлежат колебательным возбуждениям SiO и SiO_2 , а также серии интерференционных мод, поскольку пленки SiO_x значительно толще пленок SiO_xN_y . Полосы поглощения SiN, SiH и OH групп также присутствуют, но они очень слабые. Величина ϵ_∞ и частоты полос поглощения в спектрах рис. 2 типичны для пленок SiO_2 . Наличие в спектрах этих пленок полосы вблизи частоты 1000 cm^{-1} свидетельствует о присутствии SiO , и вследствие этого величина ϵ_∞ немного больше чем в чистой пленке SiO_2 .

Следует отметить, что приведенные выше результаты по исследованию ИК спектров пленок SiO_xN_y и SiO_x являются в основном качественными (полуколичественными). Из таких спектров сложно, а порой и невозможно корректно получить количественные данные о компонентном составе из-за возможного резонанса между колебательными возбуждениями пле-

нок и их интерференционными модами пленки [6, 22, 23]. Отделить полосы поглощения интерференционными модами от полос поглощения оптическими фонами можно, если учесть их различную зависимость от волнового вектора (угла падения света на пленку). Для этого важно восстановить из экспериментальных данных дисперсию поляритонов пленки.

Дисперсия объемных и поверхностных поляритонов $\omega(\vec{q})$ трехслойной среды «вакуум – пленка диэлектрика – подложка», бесконечных в направлениях x и y , для ТМ-поляритонов (р-поляризация) имеет вид [2-4]:

$$\coth(\beta_2 h_f) = i \frac{\beta_2^2 \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2^2 \beta_1 \beta_3}{\beta_2 \varepsilon_2 (\beta_1 \varepsilon_3 + \beta_3 \varepsilon_1)}, \quad (5)$$

для s-поляризации (ТЕ-поляритоны) в виде:

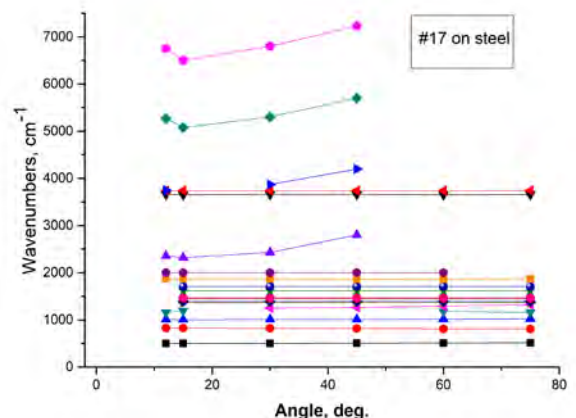
$$\coth(\beta_2 h_f) = i \frac{\beta_2^2 + \beta_1 \beta_3}{\beta_2 (\beta_1 + \beta_3)}, \quad (6)$$

где $\beta_j = \sqrt{\varepsilon_j k_0^2 - q^2 \varepsilon_1}$, ($j = 1, 2, 3$), $i = \sqrt{-1}$, ε_2 , ε_3 и ε_1 – диэлектрические проницаемости материала пленки толщиной h_f , подложки и вакуума, соответственно. Уравнения (5) и (6) описывают три семейства ветвей поляритонов в зависимости $\omega(q)$: одно при действительном β_1 (κ_1 мнимом) и два других при мнимом β_1 . Первое семейство расположено в радиационной области $\omega - q$ диаграммы ($q = k_x < k_0$) и электромагнитное поле вне пластины представляет электромагнитную волну, распространяющуюся от пластины. Первое семейство наблюдается в обычных спектрах пропускания, отражения и/или отражения-поглощения, если исследуется область спектра, в которой подложка не прозрачна (ее диэлектрическая проницаемость имеет значительную мнимую часть). В этих спектрах наблюдаются колебательные состояния пленки (оптические фононы и плазмоны, если пленка обладает значительной проводимостью). Кроме того, в толстых диэлектрических пленках существуют интерференционные моды плоско-параллельного слоя, хорошо известные как моды Фабри-Перо. Эти колебания неустойчивы (виртуальны [2-7]) и сопровождаются излучением. Два других семейства соответствуют волноводным и поверхностным (интерфейсным) поляритонам структуры и они расположены в нерадиационной области $q > k_0$, они не поглощают и не излучают свет в обычных условиях [2-8] и в этой статье они не обсуждаются. Вблизи центра зоны Бриллюэна и в ее радиационной области, как известно, в ионных и ионно-ковалентных кристаллах частоты оптических фононов практически не зависят от волнового вектора, а частоты интерференционных мод зависят, как это следует из формул (5) и (6) [2-8].

На рис. 4 представлена восстановленная из угловых измерений спектров отражения пленки SiO_x на стали (образец v17st) дисперсия поляритонов, из которой легко отделить оптические фононы от полос поглощения интерференционными модами.

Рис. 4. Дисперсия фоновых поляритонов, полученная из угловых ИК спектров отражения пленок SiO_x ($h_f = 2.2$ мкм, $\varepsilon_\infty = 2.45$).

На рис. 5 представлены спектры отражения пленки SiO_x толщиной 2.2 мкм на кремнии при раз-



личных углах падения р-поляризованного ИК излучения на образец. Кремний в этой области спектра не имеет никаких состояний способных поглощать ИК излучение.

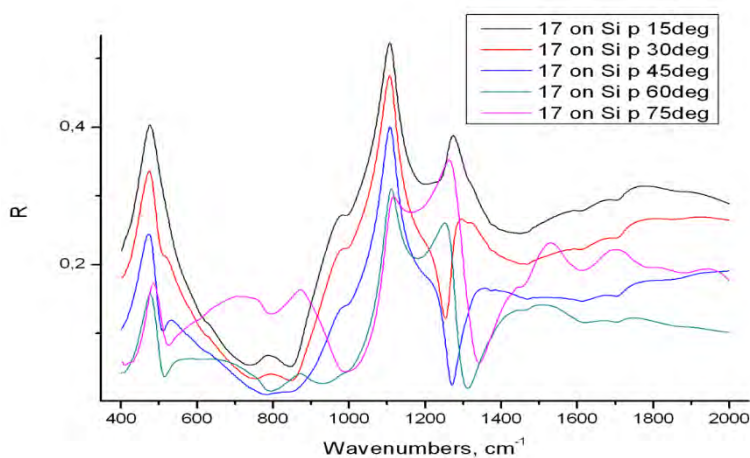


Рис. 5. ИК спектры отражения пленок SiO_x ($h_f=2.2$ мкм, $\epsilon_\infty = 2.45$) на кремниевой подложке при различных углах падения ИК излучения на образец θ . 1 – $\theta = 15^\circ$, 2 – 30° , 3 – 45° , 4 – 60° , 5 – 75° . р-поляризация.

В спектрах рис. 5 присутствует поглощение ИК излучения только оптическими фонами пленки и ее интерференционными модами. Для данного образца не обнаружено резонансного взаимодействия интерференционных мод с оптическими фонами пленки, но видно, что спектры отражения изменяются с увеличением угла падения ИК излучения радикальным образом.

Наиболее наглядно зависимость ИК спектра отражения от угла падения излучения на образец видна на рис.6, на котором представлены р-поляризованные частотно-угловые спектры отражения пленок SiO_2 на кремниевой подложке, полученные расчетом по формулам (1)-(4) для четырех толщин пленки. Для наглядности в расчете использовалась простейшая модель диэлектрической проницаемости кристаллического SiO_2 с единственным дисперсионным осциллятором с частотой поперечного оптического фона $\nu_{TO} = 800\text{см}^{-1}$, а для кремниевой подложки $\epsilon_0 = \epsilon_\infty = 12.25$ и $\nu_{TO} = 1\text{см}^{-1}$.

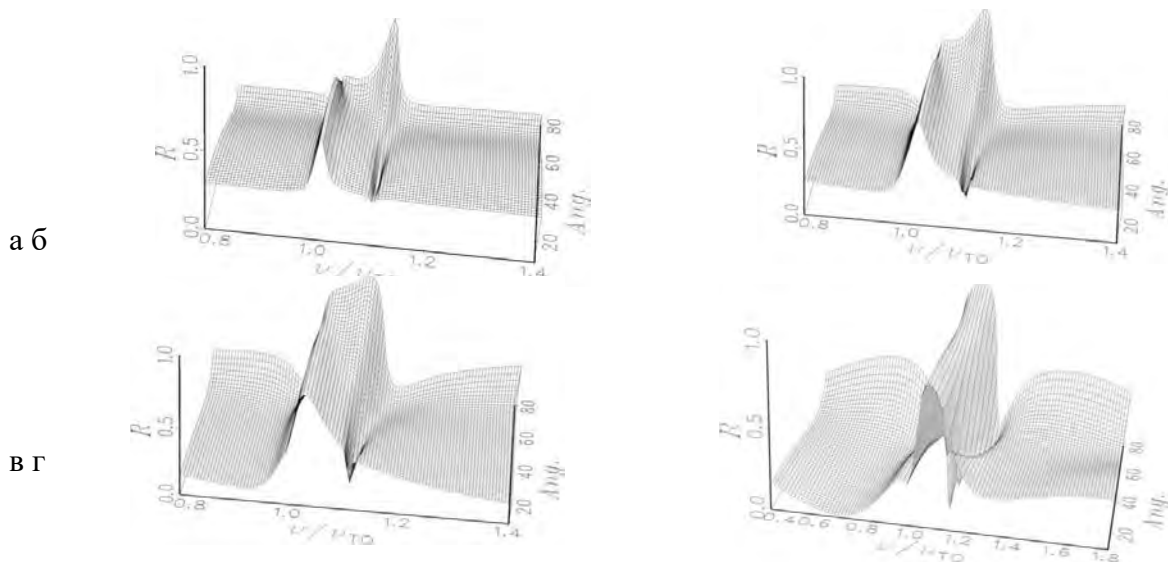


Рис. 6. Частотно-угловые ИК спектры отражения пленок SiO_2 на кремнии. р-поляризация. а – $h_f = 0.2$ мкм; б – $h_f = 0.5$ мкм; в – $h_f = 0.9$ мкм и г – $h_f = 2.2$ мкм.

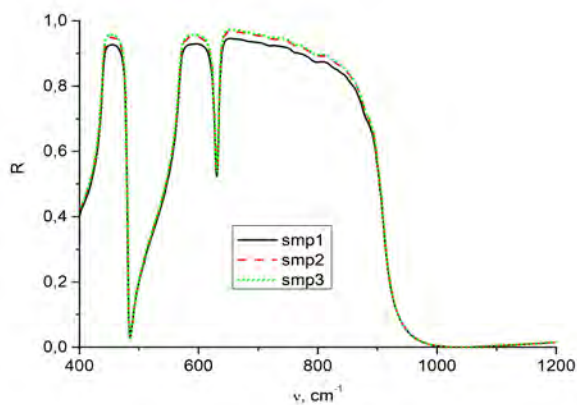
Особый интерес представляют пленки различных полупроводников на диэлектрических подложках ионных и ионно-ковалентных кристаллов. Наиболее популярен сапфир (Al_2O_3), который широко используется в качестве подложек для эпитаксиального роста пленок новых широкозонных полупроводниковых материалов. Из-за большого различия постоянных кри-

сталлической решетки сапфира и выращиваемых на нем пленок возникают сильные напряжения на границе раздела пленка-подложка. Что при этом происходит со структурой пленки и со структурой приповерхностного слоя подложки требует дополнительных исследований.

При отжиге кристаллов сапфира в потоке азота (или аммиака NH_3) при температуре более 900°C в течение нескольких минут происходит замещение кислорода в приповерхностном слое сапфира азотом, и рождаются монослой за монослоем пленки AlN [15,16]. Этот процесс называется нитридизацией сапфира, в результате которого происходит формирование нескольких монослоев AlN на поверхности сапфира. Нитридизация сапфира сейчас является стандартной процедурой перед эпитаксиальным ростом толстых слоев нитридов галлия и алюминия [15, 16, 24, 25]. Структуру интерфейса пленка-подложка и качество кристаллического слоя пленки изучают несколькими методами. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия и просвечивающая электронная микроскопия дают, к сожалению, ограниченные и противоречивые сведения об интерфейсе [26, 27]. Методы оптической спектроскопии ближнего поля могут дать дополнительную информацию.

В качестве примера, рассмотрим результаты экспериментальных исследований оптических свойств пленок AlN толщиной 2, 40 и 400 нм [12-17] на сапфире и пленок MgO толщиной 10, 30, 100 и 300 нм [17] на сапфире. Оптическая ось сапфировой подложки перпендикулярна поверхности (0001). Параметры кристаллической ячейки сапфира ($a_s = 0,4758$ нм, $c_s = 1,29$ нм) сильно отличаются от таковых для AlN ($a_f = 0,310$ нм, $c_f = 0,4975$ нм) и MgO ($a_f = 0,4123$ нм). Спектры внешнего отражения (спектры дальнего поля) измерялись на ИК-Фурье спектрометре IFS66v (Брукер) при углах близких к нормальному падению. На рис.7 представлены спектры внешнего отражения сапфира до и после отжига, а также в процессе нитридизации. Они практически не отличаются друг от друга. В спектрах отражения в дальнем поле (рис.7) монослоевые пленки AlN на сапфире не видны.

Рис. 7. Спектры отражения монокристаллов сапфира до (1) и после отжига (2), а также после нитридизации сапфира (3) [15,16].



Спектры ПП в структуре «пленка на сапфире» были получены с помощью призмы НПВО, изготовленной из КРС-5, и расположенной над пленкой на сапфире при нескольких толщинах зазора также на ИК-Фурье спектрометре IFS66v при различных (больших критического) углах падения света в призме [8, 12-17]. Зазор между призмой и образцом задавался сменными шайбами из лавсана толщиной от 15 до 6 микрон, а при больших углах падения света в призме НПВО зазор определялся неконтролируемым образом частицами пыли в зазоре. Следует отметить, что оптимальная толщина зазора между призмой НПВО и поверхностью образца должна быть меньше длины волны ПП, которая обратно пропорциональна величине волнового вектора ПП параллельного границе раздела. Волновой вектор ПП, в свою очередь, пропорционален как коэффициенту преломления материала призмы, так и синусу угла падения света в призме, $k_x = n(\omega/c)\text{Sin}\theta$, где n – показатель преломления материала призмы НПВО, а θ – угол падения ИК излучения в призме.

Поверхностные поляритоны – электромагнитные возбуждения ближнего поля, они являются нерадиационными возбуждениями, обладающими волновым вектором большим волнового света в вакууме, и поэтому не взаимодействуют с внешним электромагнитным полем в обычных условиях [2-8]. Призма НПВО, установленная с некоторым зазором над образцом,

позволяет согласовать волновые вектора ПП и возбуждающего его света и обеспечить резонансное поглощение света поверхностным поляритоном. При приближении призмы НПВО к образцу (уменьшении толщины зазора) происходит возмущение поля ПП призмой, и электромагнитное поле ПП, являющееся в отсутствие призмы ближним полем, преобразуется призмой в дальнее поле, которое и регистрируется стандартным для ИК спектроскопии способом [2-8]. ПП сапфира существуют в спектральном диапазоне от 400 до 900 см⁻¹ [8, 12-17], где действительная часть функции диэлектрической проницаемости отрицательна. Для исследований пленок AlN и MgO наиболее интересна область частот от 560 до 900 см⁻¹.

На рис. 8 представлены спектры НПВО тех же трех образцов, что и спектры отражения на рис. 7. Высокочастотная полоса поглощения в этих спектрах обусловлена ПП структуры «вакуум – пленка AlN – сапфир». Зависимость частоты максимума поглощения этой полосы от угла падения света в призме дает дисперсию ПП структуры. Дисперсия ПП пленки на подложке описывается уравнением (5) и/или (6) в зависимости от поляризации излучения.

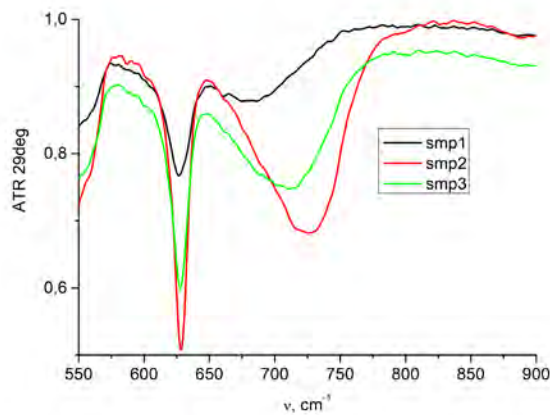


Рис. 8. Спектры НПВО при угле падения света в призме 29° для исходного сапфира 1 (черная кривая), отожженного сапфира 2 (красная кривая) и нитризованного 3 (зеленая кривая) сапфира [15,16].

Диэлектрическая проницаемость материалов подложки (ϵ_3) и пленки (ϵ_2) определяется выражением:

$$\epsilon(\nu) = \epsilon_\infty \prod_i \frac{(\nu_{LO,i} - \nu)^2 - i\gamma_{LO,i}\nu}{(\nu_{TO,i} - \nu)^2 - i\gamma_{TO,i}\nu}, \quad (7)$$

где ϵ_∞ – высокочастотная часть функции диэлектрической проницаемости, определяемая вкладом всех электронных переходов на частотах много больших частот оптических фононов, $\nu_{TO,i}$ и $\gamma_{TO,i}$ частота и затухание i -го поперечного оптического фонона, $\nu_{LO,i}$ и $\gamma_{LO,i}$ частота и затухание i -го продольного оптического фонона. Эти параметры в расчете дисперсионных кривых варьировались для получения минимального различия между экспериментальными данными и расчетом.

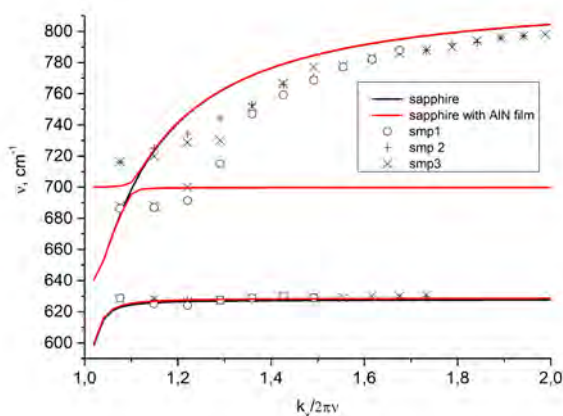


Рис. 9. Дисперсия поверхностных поляритонов не отожженного (o), отожженного (+) и нитризованного сапфира (x). Расчетные кривые получены для сапфира (черные кривые) и сапфира с пленкой AlN толщиной 2 нм и с частотой поперечных колебаний 700 см⁻¹ и частотой продольных колебаний 890 см⁻¹ (красные кривые) [15,16]

Как видно из рис.8 и рис.9 пленка AlN толщиной 2 нм на сапфире изменяет дисперсию ПП сапфира, которую можно получить, проведя измерения спектров НПВО образцов при различных углах падения ИК излучения в призме НПВО. На рис. 9 представлена дисперсия поляритонов структуры «вакуум – пленка AlN – сапфир», полученная из экспериментальных данных. Сплошные кривые на этом рисунке получены расчетом по формуле (1) для сапфира и сапфира с пленкой AlN толщиной 2 нм, при использовании в качестве подгоночных парамет-

ров константы, входящие в формулы (5) и (7) для пленки AlN. Следует отметить, что возмущение ПП образца сильно зависит от толщины зазора между призмой НПВО и образцом. Чем ближе призма к поверхности образца, тем эффективнее преобразование ближнего поля ПП в дальнее поле, т.е. возрастает затухание ближнего поля, что приводит к уширению полосы поглощения в спектре НПВО и соответствующего ее смещению в низкочастотную область спектра. Именно это обстоятельство приводит к некоторому рассогласованию экспериментальных данных и расчетных кривых дисперсии ПП на рис.9 в области частот 690-760 нм. Зазор для измерений спектров для этих волновых векторов (углов падения излучения) был меньше оптимального. Конечно, корректнее было бы рассчитывать дисперсию структуры «призма НПВО – зазор – пленка AlN – подложка», но проконтролировать толщину зазора в этих экспериментах не представлялось возможным.

Наилучшая подгонка получилась, если взять частоту поперечных колебаний в сапфире равной 630 см^{-1} , а частоту продольных колебаний 890 см^{-1} . В исходных массивных монокристаллах сапфира эти частоты 635 и 900 см^{-1} соответственно, что свидетельствует о структурной перестройке приповерхностных слоев сапфира при его нитридации. Параметры оптических констант пленки AlN, полученные в результате сравнения экспериментальной дисперсии ПП с расчетом оказались сильно зависящими от температуры нитридации сапфира. Для разных образцов примерно одинаковой толщины частоты поперечных оптических фононов оказались 700, 710 и 720 см^{-1} , а для продольных фононов – 806, 815 и 824 см^{-1} соответственно. В массивных монокристаллах AlN и толстых пленках (более 1 мкм) эти частоты 670 и 890 см^{-1} соответственно. Существенно отличаются также и ϵ_{∞} пленок AlN для разных технологических режимов их роста от 4,53 для массивного AlN, до 3,4 у толстой пленки (400 нм) и до 2,46 у самой тонкой ($\sim 2 \text{ нм}$) [13-16]. Эти результаты оптических исследований хорошо согласуются с данными электронографических исследований в работе [15], в которой показано, что по мере роста пленки при нитридации плоскости (0001) сапфира в первом монослое AlN планарный параметр решетки AlN $a_f = 0,298 \text{ нм}$, а в третьем слое он становится равным 0,310 нм, как и у массивного AlN.

Известно, что частоты оптических фононов пленки и их постоянные затухания зависят от качества кристаллической структуры пленки и от механических напряжений в ней. Полученные данные свидетельствуют о том, что в процессе нитридации происходит изменение структуры, как приповерхностного слоя сапфира, так и кристаллической структуры пленок AlN. Кроме того, возможно образование в переходном слое (на интерфейсе) твердого раствора $(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}(\text{AlN})_x$ переменного состава с плавным изменением параметров кристаллической ячейки AlN. При этом, вполне вероятно, что x изменяется от 0 до 1 при увеличении толщины AlN от 0 до 3 монослоев (от 0 до $\sim 0,75 \text{ нм}$) [15].

Совпадение частоты поперечного оптического фонона пленки AlN ($\sim 700 \text{ см}^{-1}$) с областью дисперсии ПП сапфира приводит к резонансу между ними, приводящему не только к сдвигу результирующего ПП, но и к его расщеплению с возникновением щели в дисперсии ПП. Величина щели в спектре ПП пропорциональна квадратному корню из толщины пленки AlN [12-16]. Это повышает чувствительность спектров НПВО к наличию на поверхности подложки очень тонкой (нанометровой) пленки [8] и позволяет дополнительно оценивать толщину очень тонкой пленки методами спектроскопии НПВО.

Аналогичные исследования были выполнены и для пленок MgO толщиной 10, 30, 100 и 300 нм на сапфире [17]. В спектрах внешнего отражения (в дальнем поле) пленок MgO на сапфире (рис.10) слои MgO толщиной 10 и 30 нм не видны, а при толщинах 100 и 300 нм появляются изменения в спектрах только в низкочастотной области (вблизи 400 см^{-1}) благодаря резонансу поперечного (ТО) фонона окиси магния (401 см^{-1}) с низкочастотным ТО фононом сапфира. Даже для относительно толстых пленок MgO этих экспериментальных данных

недостаточно для корректного определения диэлектрической проницаемости пленки. В спектрах же «ближнего поля» в режиме НПВО (рис. 11) в области 700 см^{-1} (вблизи частоты продольного оптического фонона массивного кристалла MgO с частотой 718 см^{-1}) наблюдалось расщепление дисперсионной кривой ПП сапфира [8,12-17].

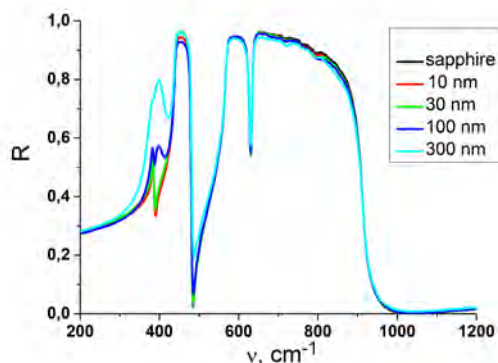


Рис. 10. Спектры отражения пленок MgO толщиной 10, 30, 100 и 300 нм на сапфире при нормальном падении в дальнем поле [17].

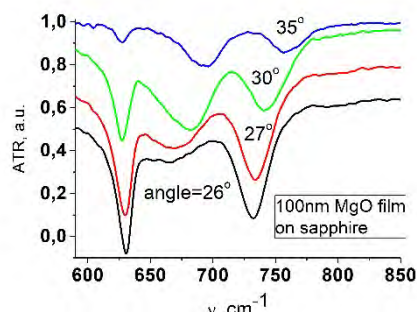
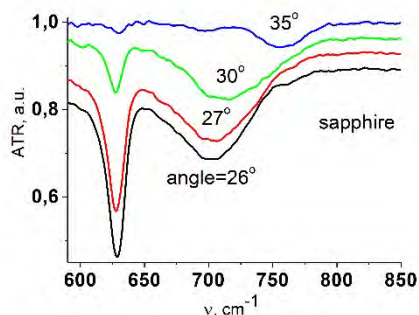


Рис. 11. Спектры НПВО сапфировой подложки (слева) и пленки MgO толщиной 100 нм на сапфире (справа) для четырех углов падения света в призме KRS-5. (Спектры сдвинуты вдоль оси у, чтобы избежать их перекрытия) [17].

На рис. 11 представлены спектры ближнего поля при различных углах падения ИК излучения внутри призмы НПВО для сапфира и сапфира с пленкой MgO толщиной 100 нм. Как следует из рис. 11 пленка MgO радикально изменяет спектр ПП сапфира за счет резонанса ПП сапфира с оптическим фононом пленки MgO. Это взаимодействие приводит к расщеплению высокочастотной ветви ПП сапфира вблизи частоты 700 см^{-1} . Из угловой зависимости спектров отражения в режиме НПВО восстанавливалась дисперсия ПП сапфира с пленкой. Она сравнивалась с дисперсией ПП, рассчитанной с использованием варьируемых параметров диэлектрической проницаемости и сапфира и пленки на нем, которые определялись лучшим совпадением рассчитанной дисперсии ПП с экспериментальными частотно-угловыми спектрами.

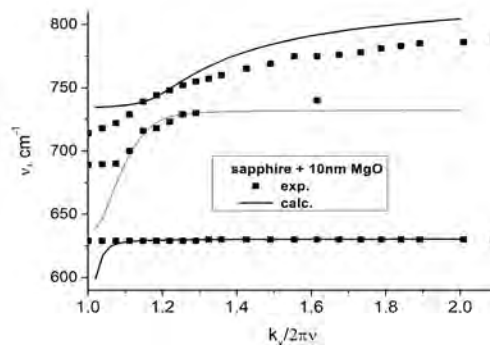
На рис. 12 представлены дисперсионные кривые ПП пленки MgO толщиной 10 нм на сапфире, которую по спектрам дальнего поля (рис. 10) не было видно. Неожиданными оказались результаты этих исследований, которые показали, что оптические константы пленок MgO толщиной 10 и 300 нм оказались очень близкими к таковым для объемного MgO, в отличие от пленок толщиной 30 и 100 нм. Эти данные свидетельствуют об отсутствии напряжений в пленках MgO толщиной 10 и 300 нм. В пленках MgO толщиной 30 и 100 нм частота продольного оптического фонона уменьшается от 718 см^{-1} до 695 см^{-1} , при этом частота поперечного оптического фонона изменяется от 401 до 393 см^{-1} , что свидетельствует о наличии некоторых напряжений в них.

Рис. 12. Дисперсия поверхностных поляритонов структуры «пленка MgO толщиной 10 нм на сапфире» [17]. Сплошные кривые вычислены с использованием оптических констант массивного MgO [28] и сапфира.

Заключение

ИК спектроскопия давно стала рутинным методом в исследовании оптических свойств различных объектов. При этом, как правило, измеряются спектры отражения при одном фиксированном угле падения ИК излучения на образец, и этот угол обычно задается конструкцией спектрометра. Математическая обработка такого спектра позволяет получить константы диэлектрической проницаемости, однако точность и достоверность полученных данных может искажаться систематическими погрешностями прибора и рядом неучтенных экспериментальных обстоятельств. Иная ситуация возникает если измеряется серия спектров отражения при различных углах падения ИК излучения на образец и из этой серии строится зависимость частот полос поглощения от угла падения излучения θ , т.е. экспериментально получаем дисперсию поляритонов. А далее, варьируя параметры диэлектрических проницаемостей пленки и ее толщину, подгоняем расчетную дисперсию поляритонов по формулам (5) и/или (6) к экспериментально измеренной дисперсии. Такая подгонка обладает большей достоверностью, поскольку как бы усредняется сразу несколько спектров, что не исключает, конечно, избавления от систематических ошибок, но значительно повышает надежность измерений. Таким образом, обсуждаемый метод становится практически аналитическим методом для получения не только качественной информации о пленках, но и в какой-то степени позволяет характеризовать их количественно. Это крайне важно при обработке технологических режимов получения тонкопленочных покрытий с заданными свойствами.

К сожалению, в настоящее время нет прямых невозмущающих поверхность кристалла способов измерять кристаллические поля поверхностных электромагнитных возбуждений, и спектроскопия ближнего поля (в режиме НПВО), по-видимому, является наиболее «нежным» методом исследования поверхности и тонких пленок на поверхности кристаллов. Следует отметить, что при корректном измерении серии спектров ПП методом НПВО для большого набора углов падения света в призме (при правильно подобранной толщине зазора между призмой НПВО и образцом) можно восстановить дисперсию ПП и с помощью математической обработки этой дисперсии найти все константы, определяющие функцию диэлектрической проницаемости. Таким образом, метод спектроскопии НПВО из качественного превращается в количественный (аналитический) метод исследования и характеристики тонких пленок.



Список литературы

1. J.W. Matthews, A.E. Blakeslee. // J. Cryst. Growth 27, 118 (1974).
2. Е.А. Vinogradov. // Physics Reports, v.217, No. 4, p.159-223, 1992.
3. Е.А.Виноградов. // УФН, 172(12), с.1371-1410, 2002.
4. Виноградов Е.А., Дорофеев И.А. Термостимулированные электромагнитные поля твердых тел, © Физматлит 2010. 484 с. ISBN: 978-5-9221-1212-3
5. I.A. Dorofeyev, E.A. Vinogradov, // International Review of PHYSICS, 2012, Vol. 6, n.2, p.202-212.
6. Дорофеев И.А., Виноградов Е.А. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2014. № 1, с. 3-11.
7. Дорофеев И.А., Виноградов Е.А., // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2014, № 1, с. 12-19.

8. Vinogradov EA, Novikova NN, Yakovlev VA. // УФН, 184, №6, 653-656, (2014)
9. Agranovich V M, Malshukov AG. // Opt Commun. 11, 169, (1974)
10. Criado D., Alayo M.I., Fantini M.C.A., et all // J.Non-Crystalline Sol. 2006. V.35 p. 2319.
11. Godinho V., Denisov V.N., Mavrin B.N., et all. // Applied Surface Science 2009. V.256. p. 156–164.
12. V.A. Yakovlev, N.N. Novikova, E.A. Vinogradov, S.S. Ng, Z. Hassan, H. Abu Hassan. // Physics Letters A 373, 2382–2384, (2009)
13. Yakovlev VA, Novikova NN, Vinogradov EA, Ng SS, Hassan Z and Hassan HA, // J. Phys. Conf. Ser. 2010; 210:012027.
14. Novikova, N.N. ; Yakovlev, V.A. ; Vinogradov, E.A. ; Ng, S.S. ; Hassan, Z. ; Hassan, H.A. // Applied Surface Science vol. 267, 93-96, (2013).
15. Novikova N.N., Vinogradov E.A., Yakovlev V.A., Malin T.V., Mansurov V.G., Zhuravlev K.S. // Surface & Coatings Technology 227, 58-61, (2013).
16. N. N. Novikova, E. A. Vinogradov, V. A. Yakovlev, T. V. Malin, V. G. Mansurov, and K.S.Zhuravlev. // Phys. Status Solidi C 12, No. 4–5, 439–442 (2015)
17. V.A.Yakovlev, N.N.Novikova, E.A.Vinogradov, G.Rossetto, A.Sartori, M.Bolzan. // Journal of Nanoparticle Research, 13(11), 5841-5846, (2011).
18. Eriksson T.S., Granqvist C.G. // J.Appl.Phys., 1986. V.60. p. 2081.
19. Ribeyro M., Pereyra I., Alayo M.I. // Thin Solid Films 2003. V.426. p. 200.
20. Criado D., Alayo M.I., Fantini M.C.A., et all // J.Non-Crystalline Sol. 2006. V.35 p. 2319.
21. Theiß W., The SCOUT through CAOS, Manual of the Windows appl. SCOUT.
22. Виноградов Е.А., Жижин Г.Н., Яковлев В.А. // ЖЭТФ 1979. т. 77, с. 968.
23. Виноградов Е.А., Дорофеев И.А. // Известия РАН, серия физическая, 2010, т. 74, № 7, С. 975–983.
24. M. Razeghi and M. Henini, Optoelectronic Devices: III-Nitrides (Elsevier, 2004).
25. D.C.Houghton, D.D.Perovic, J.-M.Baribeau, G.G.Weatherty. // J. Appl. Phys. 67, 1850 (1990).
26. Grandjean N, Massies J, and Leroux M, // Appl Phys Lett 69, 2071, (1996).
27. K. Masu, Y. Nakamura, T. Yamazaki, T. Shibata, M. Taka – shi, and K. Tsubouchi, // Jpn. J. Appl. Phys., Part 2, L760 (1995).
28. Barker AS, Phys Rev 132, 1474, (1963)

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ:
НАНООПТИКА, ФОТОНИКА, КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ****ФРАКТАЛЬНЫЕ КВАНТОВЫЕ НАНОСИСТЕМЫ
С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ****В.С. Абрамов**

ГУ Донецкий физико-технический институт им. А.А.Галкина
83114, Украина, Донецк-114, ул. Розы Люксембург, 72
vsabramov@mail.ru

Теоретически и методом численного моделирования исследованы особенности стохастического поведения поля деформации активных наноэлементов с переменными параметрами во фрактальных квантовых системах. В качестве активных наноэлементов выбраны фрактальная дислокация и фрактальная квантовая точка. Показано, что поле деформации становится комплексным. Наличие переменных параметров приводит к появлению эффективного затухания, волновому поведению функции смещения. Выполнены оценки ряда спектроскопических параметров. Результаты могут быть использованы в атомтронике, нанооптике, когерентной спектроскопии.

Ключевые слова: фрактальная квантовая точка, фрактальная дислокация, связанная фрактальная квантовая наносистема, активные наноэлементы, переменные параметры.

Theoretically and by method of numerical simulation the peculiarities of the stochastic behavior of the deformation field of active nanoelements with variable parameters in fractal quantum systems are studied. As active nanoelements, a fractal dislocation and a fractal quantum dot are chosen. It is shown that the deformation field becomes complex. The presence of variable parameters leads to the appearance of effective damping, the wave behavior of the displacement function. A number of spectroscopic parameters are estimated. The results can be used in atomtronics, nanooptics, and coherent spectroscopy.

Keywords: fractal quantum dot, fractal dislocation, coupled fractal quantum nanosystem, active nanoelements, variable parameters.

1. Введение. Современные технологии в атомтронике [1] позволяют создавать связанные фрактальные квантовые наносистемы. В качестве активных наноэлементов могут выступать: отдельные квантовые точки (с мнимым аттрактором) с большими радиусами ядер локализации; фрактальная дислокация (с реальным аттрактором), представляющая собой совокупность отдельных квантовых точек с малыми радиусами ядер локализации; связанные системы типа фрактальные квантовые точки – фрактальная дислокация [2]; отдельные вихри, антивихри, пары вихрь-антивихрь [1]. Эти активные наноэлементы в общем случае описываются переменными параметрами (амплитудой и частотой колебаний, массой, начальными эффективным смещением и фазой отдельных осцилляторов; эффективным энергетическим барьером в модели с двумя потенциальными ямами; наличием Бозе-конденсата [3]). В работах [2, 4] было исследовано поведение поля деформации в зависимости от номера активного слоя (J) многослойной наносистемы. В отличие от [2, 4] здесь методами численного моделирования и теоретически исследуется поведение поля деформации в отдельном фиксированном слое, которое зависит от индексов (n, m) узлов объемной решетки в многослойной наносистеме. Наномасштабные фрактальные структуры (на основе теории дробного исчисления) исследовались в ряде работ [2-6].

С другой стороны, гипотеза иерархического строения Вселенной стала основой для фрактальной космологии [7]. Развитие техники пространственного сканирования [8] позволило определять скорость расширения Вселенной [8, 9], космические расстояния до далеких Галактик с большой точностью. В качестве отдельных элементов крупномасштабных фрактальных структур рассматривают Галактики, скопления и сверхскопления Галактик, наибольшее сверхскопление – Великий Аттрактор, стены, филоменты, войды [7]. Гипотеза иерархического строения Вселенной дает возможность использовать модели активных наноэлементов (фрактальных дислокаций, квантовых точек с переменными параметрами) для описания отдельных элементов крупномасштабных фрактальных структур Вселенной [10, 11].

Целью работы является исследование особенностей стохастического поведения поля деформации активных нанозаполнителей с переменными параметрами в отдельном фиксированном слое многослойной наносистемы.

2. Модельная наносистема с парами вихрь-антивихрь. В работе [1] приведено выражение для энергии E пары вихрь-антивихрь в кольцеобразной ловушке в присутствии поля скоростей

$$E = E_v + E_{\check{m}}; \quad E_v = \pi \rho d R v^2 + 2 \pi \hbar \rho s v / m_a; \quad E_{\check{m}} = E_m \ln(d \sin(\pi s / d) / \pi \xi);$$

$$E_m = 2 \pi \hbar^2 / m_a^2; \quad \xi = (\hbar^2 / 2 m_a g N |\psi|^2)^{1/2}. \quad (1)$$

Выражение (1) записано в пределе, когда ширина сужения d значительно меньше, чем радиус ловушки R ($d \ll R$). Здесь s – расстояние между вихрем и антивихрем в паре; v – скорость сверхжидкости; \hbar – постоянная Планка; m_a – масса покоя атома ^{23}Na ; ρ – эффективная двумерная массовая плотность в области сужения; ξ – корреляционная длина конденсата; g – постоянная взаимодействия; N – число атомов в ловушке; ψ – волновая функция Бозе-Эйнштейновского конденсата (БЭК). Функция $E_{\check{m}}$ допускает интерпретацию как энергии эффективного переменного барьера, зависящей от аргумента s . Из (1) находим

$$\sin(\pi f_s) = \pi \xi \exp((E - E_v) / E_m) / d; \quad f_s = s / d; \quad f_s \check{+} f_s = 1. \quad (2)$$

В работах [2, 4] для нелинейной решетки параметр f_s моделировался выражениями

$$f_s = 0.5 - 2\varphi_0 / \pi n_{\varphi_0}; \quad u_0 = F(\varphi_0; k_u); \quad k_u^2 = (1 - \alpha) Q^{-1}; \quad k_u^2 + (k_u \check{+})^2 = 1;$$

$$Q = p \check{+} p \check{+} j - b_3 (j - j_0)^2 j_c^2. \quad (3)$$

Здесь $|\alpha|$ – фрактальная размерность поля деформации u вдоль оси Oz ($\alpha \in [-1; 1]$); k_u – переменный модуль функции эллиптического синуса; u_0 – критическое смещение, зависящее от угла φ_0 , k_u ; F – неполный эллиптический интеграл первого рода; $p \check{+}$, $p \check{+}$, b_3 , j_0 , j_c – некоторые управляющие параметры; $n_{\varphi_0} = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ – целые числа, определяющие набор различных состояний поля деформации. При $n_{\varphi_0} > 0$ реализуются состояния с левой поляризацией, при $n_{\varphi_0} < 0$ – с правой поляризацией.

В данной работе при численном моделировании поля деформации для отдельного фиксированного слоя (при $j = j_k$) учитывалась зависимость параметра Q от двух других индексов (n, m) узлов объемной дискретной решетки (см. раздел 3).

Экспериментально пары вихрь-антивихрь создавались в кольцеобразном БЭК, содержащим $N \approx 4 \cdot 10^5$ атомов ^{23}Na [1]. Этот конденсат получен испарением газа атомов ^{23}Na при лазерном охлаждении, сначала в магнитной, затем в кольцеобразной ($R = 19.5 \text{ мкм}$) оптической дипольной ловушке. Область сужения кольца, где находилась пара вихрь-антивихрь, создавалась голубым лазером. Оценки радиуса ловушки R_{0a} , длины волны λ_4 для лазерного перехода и их связи с параметрами атомов ^{23}Na получим по формулам

$$R_p - R_{0a} = \delta_p; \quad R_p = 2GM_a / c^2; \quad R_{0a} = N r_{0a} / 2; \quad R_k = N r_k / 2;$$

$$R_{0a} - R_k = \lambda_4; \quad \lambda_4 = \hbar \pi c / \varepsilon_4; \quad r_{0a} - r_k = \delta_k; \quad \delta_k = 2\lambda_4 / N. \quad (4)$$

Здесь $R_p = 20.5688\text{мкм}$ допускает интерпретацию как радиуса Шварцшильда черной дыры с массой $M_a = N_a M_p$; $M_p = N_a m_a = 22.99\text{ г}$ – молярная масса атома ^{23}Na ; N_a – число Авогадро; c – скорость света в вакууме; $G = 6.67240 \cdot 10^{-8}\text{ см}^3\text{г}^{-1}\text{сек}^{-2}$ – гравитационная постоянная Ньютона. Энергетический спектр ε_x (где $x = 1, 2, 3, 4$) элементарных возбуждений определяется по формулам [12]

$$\varepsilon_x = \pm 2\varepsilon_{01} S_x; \quad \varepsilon_{\check{y}} = \pm 2\varepsilon_{02} S_x; \quad 2\varepsilon_{01} = (\varepsilon_{0g}^2 + 4D_q^2)^{1/2}; \quad 2\varepsilon_{02} = (\varepsilon_{0g}^2 - 4D_q^2)^{1/2};$$

$$\varepsilon_{0g} = g_F b_1 \gamma_n n_g (F(F+1))^{1/2}; \quad 2D_q = b_0 \varepsilon_{\check{y}g}; \quad n_g = 3 \cos^2 \theta_g - 1. \quad (5)$$

Здесь $g_F = 2/3$ – фактор спектроскопического расщепления; параметр $b_1 = 117.68308\text{кЭВ(МГц)}^{-1}$; $\gamma_n / 2\pi = 1.12677\text{МГц(кЭ)}^{-1}$ – ядерное гиромагнитное отношение для атома ^{23}Na . Атом ^{23}Na имеет ядерный спин $I = 3/2$. Рассмотрим основную электронную оболочку $1s^2 2s^2 2p^5 3s^2$ с угловым моментом $J = 3/2$. Тогда полный угловой момент F атома может принимать целые значения $F = 0, 1, 2, 3$.

Рассмотрим состояние с $F = 3$, $n_g = -1$, $\varepsilon_{\check{y}g} = 2\varepsilon_{0g}$. Тогда, на основе спектра (5) получим значения длины волны $\lambda_4 = 535.5224\text{нм}$, параметра $\delta_k = 0.0268\text{А}$. Численные значения параметров теории b_0 , S_x приведены в работах [2, 4]. Если принять, что $R_{0a} = R = 19.5\text{мкм}$, то по (4) получим оценки радиусов $r_k = 0.9489\text{А}$ и $r_{0a} = 0.9757\text{А}$, которые близки к ионному (для $^{23}\text{Na}^+$) и атомному (для $^{23}\text{Na}^0$) радиусам $r_k = 0.95\text{А}$ и $r_{0a} = 0.98\text{А}$, соответственно, [13]. Тогда параметр $\delta_p = 1.0688\text{мкм}$ и радиус $R_k = 18.978\text{мкм}$. Выполним оценки ряда параметров из (1) по формулам

$$|\psi|^2 = N_{H0} = N_{H2}; \quad N_p = M_p / m_p = 4 / S_{\mu 2}^2; \quad \xi = \xi_{ck} = d_k / 4; \quad M_p = 2\pi R d_k \rho;$$

$$s_{\min} = 2n_s \xi_{ck}; \quad n_s = 2(N_p / N_{H0})^{1/2}; \quad E_{\xi} E_{H0} / 2 = \varepsilon_{ck}^2; \quad E_{\xi} = g N_{g0} / 2 = h 2\pi n_{\xi};$$

$$N_{g0} = 2N_{H0}N; \quad \varepsilon_{ck} = hc / 2\xi_{ck}; \quad E_{ge} = \varepsilon_{ck} n_s^{1/2} S_{\check{y}2}; \quad E_{ne} = \varepsilon_{ck} n_s^{1/2} S_{\check{y}3}. \quad (6)$$

Параметры N_{H0} , $S_{\mu 2}$, ξ_{ck} , d_k , E_{H0} , N , $S_{\check{y}2}$, $S_{\check{y}3}$ даны в [2, 4]. На основе (6) находим параметры: $N_p = 3318.431298$ описывает отношение массы кольца M_p к массе сужения (шейки кольца) m_p в отсутствии пар вихрь-антивихрь; $n_s = 1.007441405$ учитывает наличие пар вихрь-антивихрь в области сужения; $s_{\min} = 5.895550729\text{нм}$ описывает минимальное расстояние между вихрем и антивихрем в паре. Параметры $n_{\xi} = 4.396964673\text{МГц}$, $N_{g0} = 1.04626866240^{10}$ описывают связь с постоянной взаимодействия g . Характерная энергия $\varepsilon_{ck} = 33.71417472\text{эВ}$ определяет энергии $E_{ge} = 1183.651015\text{мэВ}$ (близка к энергии аксиона или водородной связи), $E_{ne} = 15.54087318\text{эВ}$ (близка к энергии электронного нейтрино).

3. Моделирование поля деформации связанных наносистем из двух элементов. По аналогии с [3, 4] поведение функции u для связанной системы: фрактальная дислокация – фрактальная квантовая точка (ФД-ФКТ) сначала моделируем (рис. 1) выражениями при постоянных модулях $k_i = 0.5$ эллиптических функций

$$u = \mathbf{e} \sum_{i=1}^2 R_i (1 - \alpha_i) B_{Gi} / Q_i; \quad B_{Gi} = 1 - 2sn^2(u - u_{0i}, k_i);$$

$$Q_1 = p_{\check{1}} n + p_{\check{2}} m; \quad Q_2 = p_{\check{2}} - b_{12} (n - n_{02})^2 / n_{c2}^2 - b_{22} (m - m_{02})^2 / m_{c2}^2. \quad (7)$$

Моделирование выполняется на дискретной решетке $N_1 \times N_2 \times N_3$, узлы которой задаются целыми числами n, m, j ($n = \overline{1, N_1}$; $m = \overline{1, N_2}$; $j = \overline{1, N_3}$), $N_1 = 240$, $N_2 = 180$. Здесь $\alpha_i = 0.5$ – фрактальные размерности поля деформации u вдоль оси Oz ($\alpha_i \in [0, 1]$); $u_{0i} = 29.537$ – постоянные (критические) смещения. Фрактальная дислокация (ФД, $i = 1$) описывается параметрами $p_{\check{1}} = -0.0739$; $p_{\check{2}} = 0.0975$. Фрактальная квантовая точка (ФКТ, $i = 2$) описывается параметрами $p_{\check{2}} = -3.4574 \cdot 10^{-11}$; $b_{12} = b_{22} = 1$; $n_{02} = 119.1471$; $m_{02} = 89.3267$; $n_{c2} = 44.4793$; $m_{c2} = 25.7295$. Параметры R_i определяют ориентацию полей деформации отдельных структур в связанной системе.

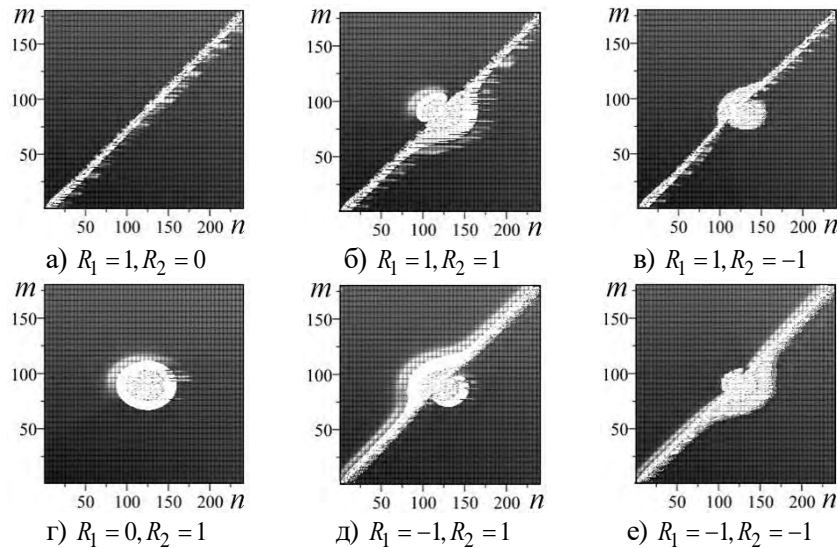


Рис. 1. Сечения $u \in [-0.5; 0.5]$ (вид сверху) для дислокации (а), квантовой точки (г), связанной системы (б, в, д, е) с постоянными модулями k_i .

Функции смещения являются действительными. Вблизи области локализации фрактальной квантовой точки наблюдается искривление ядра фрактальной дислокации (рис. 1 б, в, д, е). Характер этого искривления зависит от взаимной ориентации полей деформации отдельных структур (рис. 1 а, г) в связанной системе. При разной ориентации (рис. 1 в, д) форма этого искривления является выпуклой; при одинаковой ориентации (рис. 1 б, е) – вогнутой.

При моделировании переходных эффектов полагаем, что модули k_i являются функциями от индексов (n, m) объемной дискретной решетки. Наличие переменных модулей k_i приводит к двум ветвям u_1, u_2 решений нелинейных уравнений

$$u_1 = \mathbf{e} \sum_{i=1}^2 R_i k_i^2 B_{G1i}; \quad B_{G1i} = 1 - 2sn^2(u_1 - u_{0i}, k_i); \quad k_i^2 = (1 - \alpha_i) / Q_i;$$

$$u_2 = \mathbf{e} \sum_{i=1}^2 R_i k_i^2 B_{G2i}; \quad B_{G2i} = 1 - 2sn^2(u_2 - u_{0i}, k_{\check{2}}); \quad k_{\check{2}} = (1 - k_1^2)^{1/2}. \quad (8)$$

Функции смещения u_1 (рис. 2) и u_2 (рис. 3) становятся комплексными по сравнению с функцией смещения u из (рис. 1). Наличие переменных параметров приводит к возникновению волнового поведения (рис. 2 а,б,в; 3 а,б,в), появлению эффективных затуханий (рис. 2 г,д,е; 3 г,д,е) функции смещения как отдельных дислокации, квантовой точки, так и всей связанной системы (ФД-ФКТ). Для функции u_1 поведение поля деформации ядер дислокации (рис. 2 а,г) и квантовой точки (рис. 2 б,д) является стохастическим. Вблизи этих ядер наблюдается практически регулярное волновое поведение поля деформации (рис. 2 а,б) на всей плоскости nOm . Допустима интерпретация такого поведения как для мембраны с фрактальной трещиной и мембраны с фрактальной дырой. Для связанной системы ФД-ФКТ (рис. 2 в,е) наблюдаются существенные изменения поля деформации в области пересечения ядер и вблизи нее.

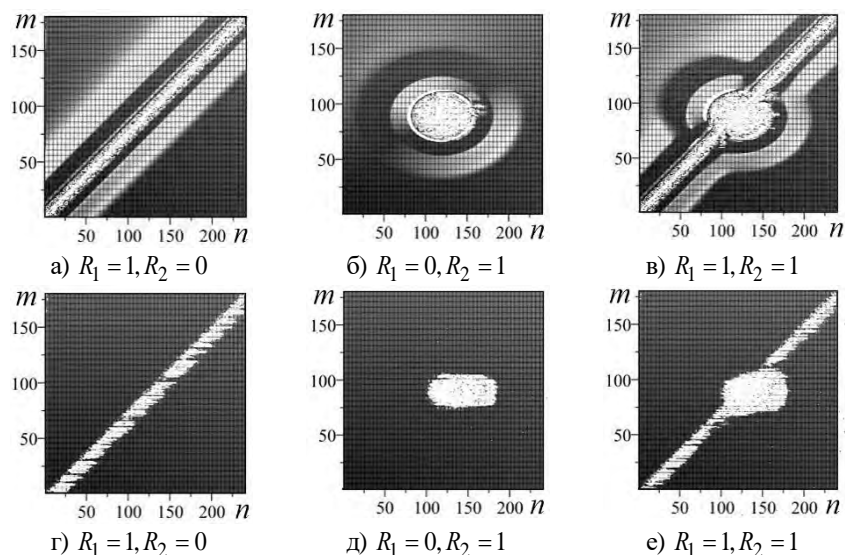


Рис. 2. Сечения $Re u_1 \in [-0.5; 0.5]$ (а,б,в), $Im u_1 \in [-10^{-10}; 10^{-10}]$ (г,д,е) (вид сверху) для дислокации (а,г), квантовой точки (б,д), связанной системы (в,е) с переменными модулями k_i для ветви u_1 .

Для функции смещения u_2 основные особенности волнового поведения и эффективного затухания сохраняются (рис. 3). Однако, по сравнению с рис. 2 появляются дополнительные изменения в структурах волнового поведения (рис. 3 а,б) и эффективного затухания (рис. 3 г,д). Для связанной системы ФД-ФКТ (рис. 3 в,е) характерно возникновение дополнительных каналов объединения полей деформации в области пересечения ядер и вблизи этой области.

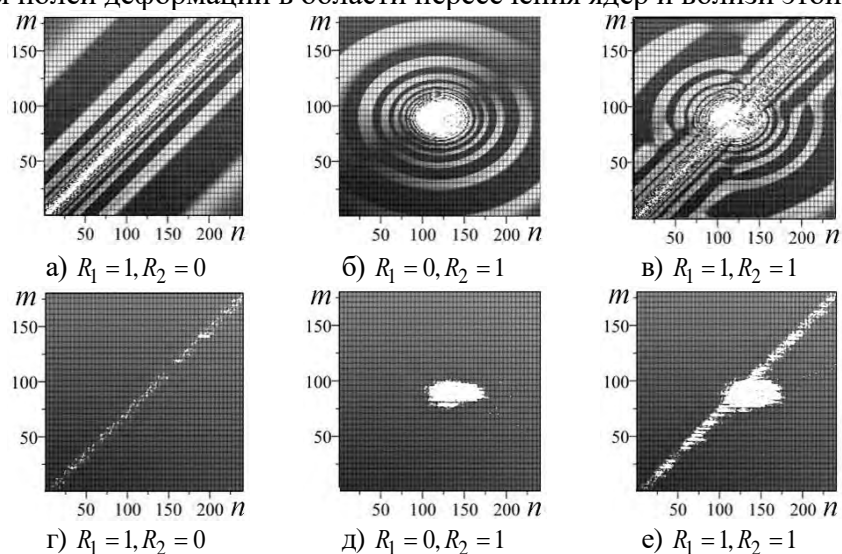


Рис. 3. Сечения $Re u_2 \in [-0.5; 0.5]$ (а,б,в), $Im u_2 \in [-10^{-10}; 10^{-10}]$ (г,д,е) (вид сверху) для дислокации (а,г), квантовой точки (б,д), связанной системы (в,е) с переменными модулями k_i для ветви u_2 .

4. Моделирование поля деформации связанных наносистем из трех элементов. Наличие третьей структуры в связанной системе допускает возможность видоизменения связей и стохастических процессов между двумя остальными структурами. Поэтому следует ожидать существенного изменения свойств таких связанных структур.

Рассмотрим пример поведения поля деформации связанной системы ФКТ1-ФД-ФКТ2, которая состоит из трех отдельных фрактальных структур и описывается двумя ветвями u_1 , u_2 решений нелинейных уравнений

$$u_1 = \prod_{i=1}^3 R_i k_i^2 B_{G1i}; \quad B_{G1i} = 1 - 2sn^2(u_1 - u_{0i}, k_i); \quad k_i^2 = (1 - a_i) / Q_i;$$

$$u_2 = \prod_{i=1}^3 R_i k_i^2 B_{G2i}; \quad B_{G2i} = 1 - 2sn^2(u_2 - u_{0i}, k_i); \quad k_i = (1 - k_i^2)^{1/2};$$

$$Q_1 = p_1 n + p_2 m; \quad Q_i = p_3 i - b_{1i}(n - n_{0i})^2 / n_{ci}^2 - b_{2i}(m - m_{0i})^2 / m_{ci}^2, \quad i = 2, 3. \quad (9)$$

Здесь значения индекса $i=1$ соответствует ФД, $i=2$ – ФКТ1, $i=3$ – ФКТ2. Постоянные параметры, описывающие фрактальные структуры те же, что и в предыдущих примерах.

С целью дальнейшего сравнения результатов моделирования на основе (9) рассмотрим пример поведения связанной системы из двух квантовых точек (ФКТ1-ФКТ2) при $R_1 = 0$ (ФД отсутствует) с противоположной ориентацией ($R_2 = 1, R_3 = -1$) полей деформации (рис. 4). Для первой ветви решения основные особенности поведения комплексного поля деформации сохраняются (рис. 4 а,б). Однако, для второй ветви решения мнимая часть поля деформации становится равной нулю (рис. 4 в). Поведение такой связанной системы не зависит от порядка организации итерационного процесса (вдоль оси On) в связанной системе, т.е. свойства связанных систем ФКТ1-ФКТ2 и ФКТ2-ФКТ1 совпадают.

Наличие ФД в связанной системе с двумя ФКТ существенно изменяет поведение поля деформации и зависит от порядка организации итерационного процесса. На рис. 5-8 приведены зависимости поведения функций смещения связанных систем ФКТ1-ФД-ФКТ2 (рис. 5, б) и ФКТ2-ФД-ФКТ1 (рис. 7, 8).

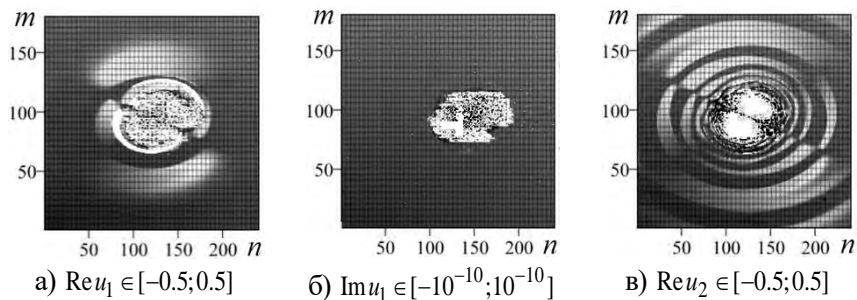


Рис. 4. Поведение сечений функций смещения (вид сверху) для ветвей u_1, u_2 связанной системы ФКТ1-ФКТ2 с переменными модулями k_i , $Im u_2 = 0$.

Для первой ветви u_1 ФКТ1-ФД-ФКТ2 (рис. 5) наблюдаются дополнительные изменения $Re u_1$ (рис. 5 а,б,в), $Im u_1$ (рис. 5 г,д,е) по сравнению с рис. 4 а,б. Наличие третьей структуры (ФД) существенно изменяет поведение поля деформации в области пересечения ядер отдельных структур (рис. 5 в,е).

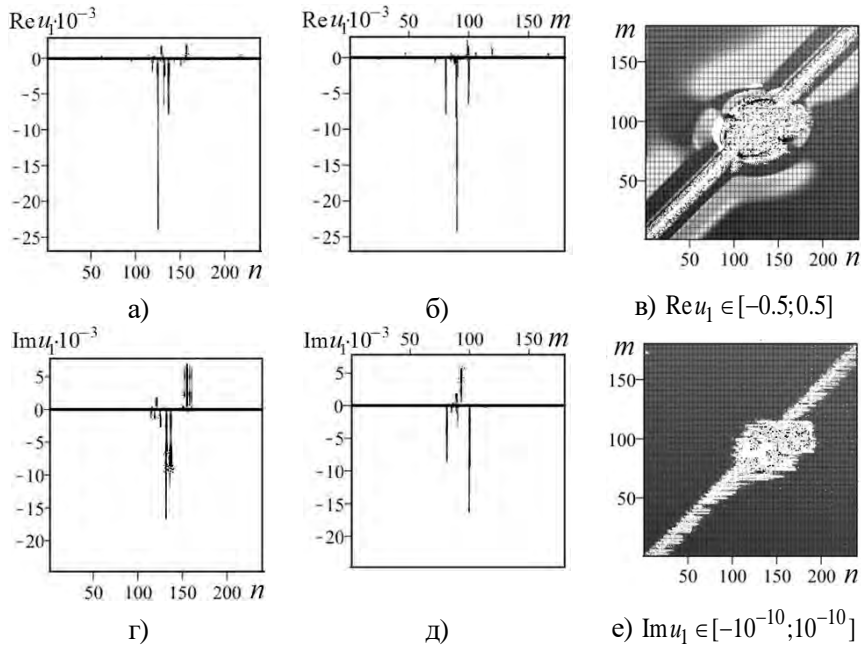


Рис. 5. Поведение функции u_1 связанной системы ФКТ1-ФД-ФКТ2: проекции $Re u_1$, $Im u_1$ на плоскости nOu (а, г) и mOu (б, д); сечения (вид сверху) (в, е).

Изменения порядка организации итерационного процесса связанной структуры ФКТ2-ФД-ФКТ1 (рис. 7) для первой ветви u_1 приводит к существенному изменению стохастических процессов (наблюдаются изменения амплитуд и положения отдельных пиков, рис. 7 а,б,г,д) по сравнению с рис. 5. Для второй ветви u_2 в связанной системе ФКТ1-ФД-ФКТ2 (рис. 6) наблюдаются дополнительные изменения $Re u_2$ (рис. 6 а,б,в), появляется $Im u_2$ (рис. 6 г,д,е) по сравнению с рис. 4 (где $Im u_2 = 0$). Наличие третьей структуры (ФД) существенно изменяет поведение поля деформации в области пересечения ядер отдельных структур (рис. 6 в,е).

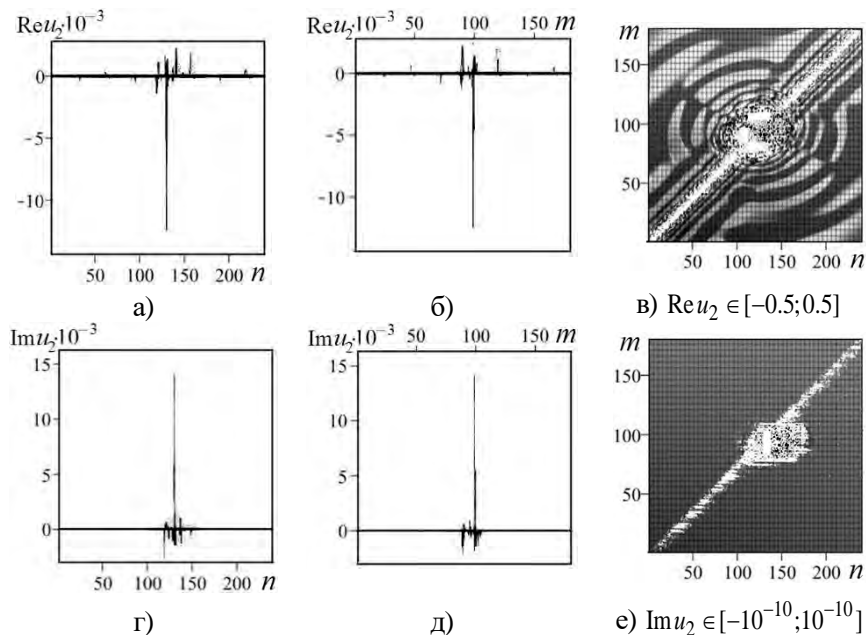


Рис. 6. Поведение функции u_2 связанной системы ФКТ1-ФД-ФКТ2: проекции $Re u_2$, $Im u_2$ на плоскости nOu (а, г) и mOu (б, д); сечения (вид сверху) (в, е).

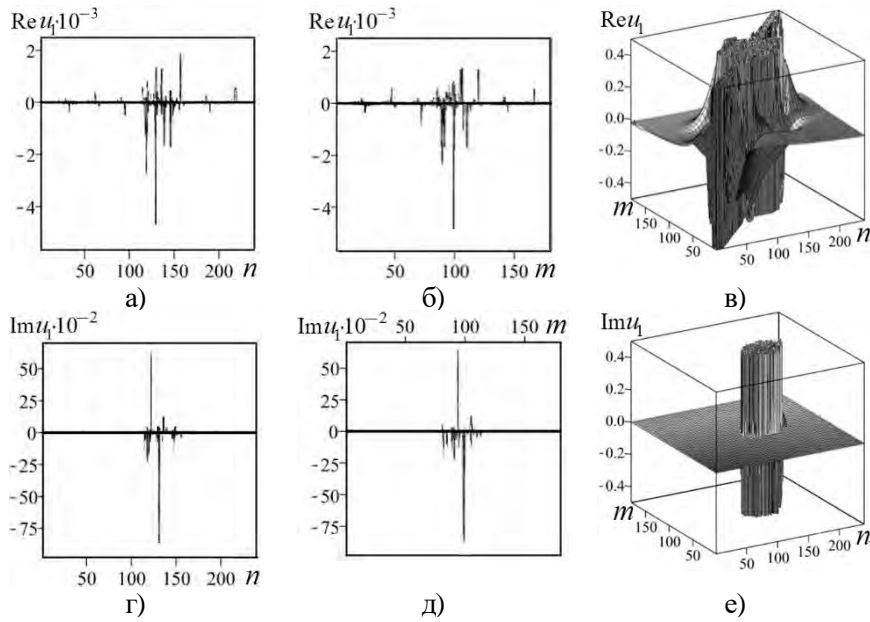


Рис. 7. Поведение функции u_1 связанной системы ФКТ2-ФД-ФКТ1: проекции $Re u_1$, $Im u_1$ на плоскости nOu (а, г) и mOu (б, д); сечения (в, е).

Изменения порядка организации итерационного процесса связанной структуры ФКТ2-ФД-ФКТ1 (рис. 8) для второй ветви u_2 приводит к существенному изменению стохастических процессов (наблюдаются изменения амплитуд и положения отдельных пиков, рис. 8 а,б,г,д) по сравнению с рис. 6.

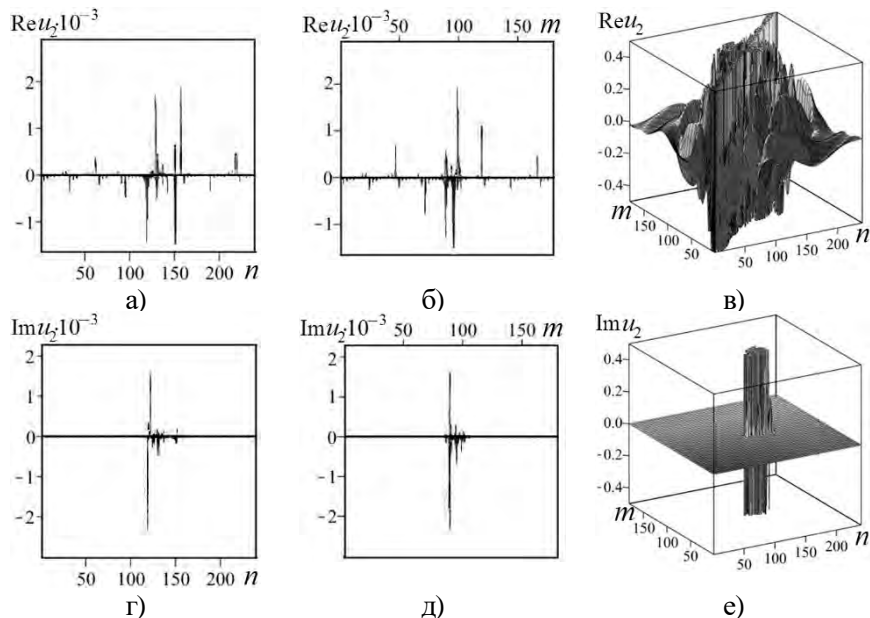


Рис. 8. Поведение функции u_2 связанной системы ФКТ2-ФД-ФКТ1: проекции $Re u_2$, $Im u_2$ на плоскости nOu (а, г) и mOu (б, д); сечения (в, е).

Отметим, что поведение поля деформации связанной структуры, состоящей из трех отдельных структур ранее исследовалось в работах [2, 5]. В этих работах роль двух квантовых

точек выполняли две ветви расщепленной дислокации (с реальными аттракторами, а роль третьей структуры вместо дислокации выполняла квантовая точка (с мнимым аттрактором). Поэтому видоизменение стохастических процессов за счет наличия третьей структуры в связанных системах [2, 5] возможно определяется изменением полей напряжений. В данной работе роль третьей структуры выполняет дислокация и видоизменение стохастических процессов возможно за счет изменения полей деформации.

5. Заключение

Методом численного моделирования и теоретически исследованы особенности стохастического поведения поля деформации активных наноэлементов с переменными параметрами в отдельном фиксированном слое многослойной наносистемы. Наличие переменных параметров приводит к появлению эффективного затухания, волновому поведению функции смещения. Показано, что поле деформации отдельных фрактальных квантовых точек (ФКТ), фрактальной дислокации (ФД) является существенно комплексным у двух ветвей решений нелинейных уравнений. Для реальной части поля деформации характерно волновое поведение вокруг ядра отдельных ФКТ. Для мнимой части поля деформации характерно ярко выраженное стохастическое поведение (типа фрактальных дыр). На примере связанной системы из двух квантовых точек (ФКТ1-ФКТ2) с противоположной ориентацией показано, что для первой ветви решения основные особенности поведения комплексного поля деформации сохраняются. Однако, для второй ветви решения мнимая часть поля деформации становится равной нулю. Поведение такой связанной системы не зависит от порядка организации итерационного процесса (вдоль оси O_n) в связанной системе, т.е. свойства связанных систем ФКТ1-ФКТ2 и ФКТ2-ФКТ1 совпадают. Однако, поведение связанных систем ФКТ1-ФД-ФКТ2, ФКТ2-ФД-ФКТ1 зависит от порядка организации итерационного процесса в связанной системе.

Выполнены оценки ряда спектроскопических параметров для активных наноэлементов (совокупности атомов ^{23}Na в оптической ловушке). Результаты могут быть использованы в атомной физике, нанооптике, когерентной спектроскопии, космологии.

Результаты работы докладывались на XII Международной научной школе-семинаре «Фундаментальные исследования и инновации: нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия» (Йошкар-Ола, 10-16 июля 2017 г.).

Список литературы

- [1] S. Eckel, J.G. Lee, F. Jendrzejewski et al, *Nature*, **506**, 7487 (2014) 200.
- [2] В.С. Абрамов, *Известия РАН. Сер. Физ.*, **81**, 5 (2017) 625.
- [3] В.С. Абрамов, *Известия РАН. Сер. Физ.*, **80**, 7 (2016) 938.
- [4] V.S. Abramov V.S., *CMSIM Journal*, 1 (2017) 3.
- [5] O.P. Abramova, A.V. Abramov, *CMSIM Journal*, 1 (2017) 16.
- [6] O.P. Abramova, S.V. Abramov, *CMSIM Journal*, 3 (2013) 367.
- [7] Б. Новосядлый, *Международный научно-популярный журнал по астрономии и космонавтике. Вселенная, пространство, время*, 6(143) (2016) 4.
- [8] A. Riess et al, *Astronomical Journal*, 116 (1998) 1009.
- [9] А. Рисс, *Международный научно-популярный журнал по астрономии и космонавтике. Вселенная, пространство, время*, 9(146) (2016) 4.
- [10] V.S. Abramov, *Book of Abstracts of the 10th Chaotic Modeling and Simulation International Conference (Barcelona, Spain: 30 May- 2 June, 2017)*, ISAST (2017) 10.
- [11] В.С. Абрамов // *Вестник ДонНУ. Естеств. науки. Сер. А*, 1 (2017) 36.
- [12] В.С. Абрамов, У.Х. Копвиллем // *Известия вузов. Физика*. **36**, 7 (1993) 5.
- [13] Ch. Kittel. *Elementary Solid State Physics*, New York – London. (1962).

**ФОТОННОЕ ЭХО В АНСАМБЛЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК****К.Р. Каримуллин, А.И. Аржанов, А.В. Наумов**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук
Московский педагогический государственный университет
e-mail: kamil@isan.troitsk.ru

Представлены результаты экспериментов по фотонному эхо при $T = 4,5 - 50$ К в квантовых точках CdSe/CdS/ZnS, высаженных на стеклянную подложку. Построена температурная зависимость обратного времени оптической дефазировки и проанализированы возможные механизмы сверхбыстрой релаксационной динамики.

The results of experiments on the photon echo at $T = 4.5-50$ K at CdSe/CdS/ZnS quantum dots spread on a glass substrate are presented. The temperature dependence of the inverse time of optical dephasing is studied and the possible mechanisms of ultrafast relaxation dynamics are analyzed.

1. Введение. Современное развитие квантовой электроники и квантовой оптики тесно связано с поиском новых материалов и разработкой новых оптических методов их характеристики и диагностики (см., например, [1-2] и ссылки там). В последние десятилетия широкое распространение получили полупроводниковые нанокристаллы – квантовые точки. Благодаря высокому квантовому выходу, фотостабильности, наличию широкой полосы поглощения и узкого перестраиваемого спектра люминесценции, квантовые точки используются для создания новых светоизлучающих устройств, фотовольтаических элементов, а также спектрометров [3]. Флуоресцирующие метки и многопараметрические сенсоры на основе квантовых точек имеют большие перспективы для использования в медицине и биологии для диагностики и визуализации [4]. Одним из наиболее актуальных направлений использования квантовых точек и материалов на их основе являются приложения квантовой информатики, связанные с разработкой источников неклассического света, ячеек квантовой памяти преобразующих оптоэлектронных систем (см., например, [5]). При решении подобных задач необходимо фундаментальное понимание процессов фазовой релаксации, приводящих к распаду когерентного состояния ансамбля квантовых точек. Именно фотонное эхо является тем уникальным инструментом, благодаря которому можно исследовать подобные релаксационные процессы.

2. Метод изготовления тонких пленок коллоидных квантовых точек

Мы исследовали образцы с квантовыми точками CdSe/CdS/ZnS размером 3-7 нм (производство QD-Light, Россия). Для приготовления однородных по структуре образцов с высоким оптическим качеством была разработана оригинальная методика и создан экспериментальный стенд (подробнее см. [6]). Стенд (см. рис. 1) состоит из двух стеклянных пластин, расположенных перпендикулярно друг к другу. Одна из пластин закреплена неподвижно на штативе, другая расположена на двух-координатной микрометрической подвижке. Для изготовления образца небольшое количество концентрированного (50 мг/мл) раствора квантовых точек в толуоле при помощи дозатора наносили на стеклянную подложку, закрепленную на подвижке. Подложку с каплей раствора передвигали к неподвижно закрепленной пластине, после касания с которой капля растекалась по ее грани и удерживалась на ней за счет поверхностного натяжения. Далее, используя микрометрическую подвижку, раствор слой за слоем наносили на подложку.

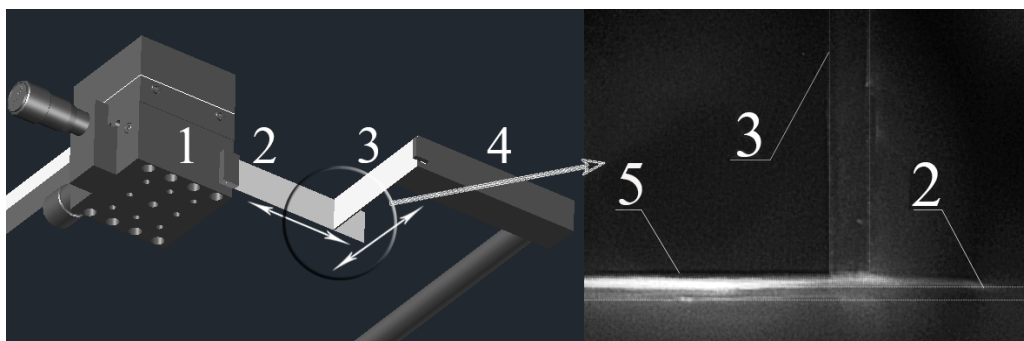


Рис. 1. Схематическое изображение станда для нанесения квантовых точек на подложку. Обозначения: двухкоординатная микрометрическая подвижка (1), стеклянная пластина (подложка) для нанесения образца (2), стеклянная пластина (3) закрепленная в держателе (4). Слева – записанное CCD-камерой изображение люминесцирующего образца – тонкого слоя квантовых точек CdSe/CdS/ZnS (5), нанесенного стеклянной пластиной (3) на стеклянную подложку (2). Толщина пластины (2) – 0,5 мм; (3) – 1 мм. Границы пластин для наглядности обведены тонкими белыми линиями при обработке снимка.

После нанесения каждого слоя толуол испарялся, оставляя на поверхности тонкую пленку квантовых точек. Путем подбора скорости перемещения пластины и расстояния между пластинами были получены пленки КТ хорошего качества с большой оптической плотностью. Процесс изготовления образцов был визуализирован при помощи CCD-камеры (см. врезку на рис. 1). Как показывают дополнительные исследования, выполненные методами конфокальной люминесцентной спектроскопии [7], разработанная техника позволяет получать однородные пленки коллоидных квантовых точек с высоким оптическим качеством и высокой оптической плотностью. Таким образом, открывается возможность для экспериментального исследования процессов оптической дефазировки в ансамбле квантовых точек методами фотонного эха.

3. Фотонное эхо в тонких пленках квантовых точек CdSe/CdS/ZnS на подложке

Экспериментальные данные были получены на уникальном эхо-спектрометре, созданном в Отделе молекулярной спектроскопии Института спектроскопии Российской академии наук в 1990-х г.г (см., например, [8]) и значительно модифицированном в последние годы (см., например, [9-12]).

Источник излучения представляет собой безрезонаторный суперлюминесцентный излучатель на красителе (спиртовой раствор родамина-6G) с поперечной накачкой второй гармоникой импульсного твердотельного лазера LS-2131M-10-FF (Lotis ТП, Белоруссия). Параметры лазерной системы: энергия в импульсе – до 250 мДж (на длине волны 532 нм), длительность импульсов – 7-9 нс, частота повторения – до 10 Гц. Спектр излучения источника определяется спектром люминесценции используемого красителя и не имеет модовой структуры. Оптическая схема эхо-спектрометра состоит из нескольких линий временных задержек. Первая и вторая – формируют соответственно первый и второй лазерные импульсы. Задержка между импульсами регулируется путем изменения оптической длины в первом канале; второй канал с фиксированной длиной. Прецизионный механизм, снабженный шаговым двигателем, позволяет регулировать задержку между первым и вторым импульсами в пределах от 5,6 фс до 4 нс, с шагом кратным 5,6 фс.

Для проведения криогенных измерений образец помещали в оптический гелиевый криостат (RTI, Черноголовка) с прецизионным регулированием температуры с использованием термоконтроллера Lakeshore 93С. Точную фокусировку лазерных лучей в одной и той же точке исследуемого образца осуществляли при помощи конфокального люминесцентного визуализатора [11,12], который позволяет более чем на порядок повысить интенсивность генерации сигналов фотонного эха.

Детектирование сигналов осуществляли высокоскоростной камерой Cooke Corporation SensiCam HighSpeed CCD (квантовая эффективность около 60 % на длине волны 580 нм, экспозиция от 100 нс до 10 мс, шум считывания – 13-14 электронов и менее 0,1 темнового отсчета в секунду на пиксель; камера обладает широким динамическим диапазоном).

В приготовленных образцах квантовых точек CdSe/CdS/ZnS, высаженных на стеклянную подложку, были зарегистрированы различные типы когерентных откликов. Кривые спада сигналов четырехволнового смешения при комнатной температуре имели симметричный вид, характерный для измерений при не криогенных температурах. При комнатной температуре время дефазировки сравнимо со значением предельного временного разрешения спектрометра (десятки фемтосекунд). С понижением температуры форма кривой изменяется: помимо максимума в области нулевой задержки, соответствующего сигналу четырехволнового смешения, в области положительных задержек наблюдается спад сигнала фотонного эха, анализируя который в рамках той или иной модели, можно измерить времена оптической дефазировки.

Далее были проведены измерения кривых спада сигналов некогерентного фотонного эха при $T=4,5 - 50$ К и построена температурная зависимость обратного времени оптической дефазировки $1/\pi T_2(T)$ (см. рисунок 2). По аналогии с работой [13], посвященной эхо-спектроскопии эпитаксиальных квантовых точек, измеренную температурную зависимость мы описали следующим образом:

$$\Gamma = \Gamma_0 + \Gamma_{sample} + AT + \frac{B}{\exp(C/kT) - 1}, \quad (1)$$

где Γ_0 – естественная ширина спектральной линии; A , B и C – подгоночные параметры. Результат фитирования показан на рисунке 2 сплошной линией.

Для сравнения здесь же приведены данные других исследований, выполненных методами аккумулярованного фотонного эха [14] и выжигания спектральных провалов [15]. По данным измерений методом выжигания спектральных провалов, выполненных с использованием сильно ослабленного модулированного лазерного излучения, минимально возможное значение однородной спектральной ширины в ансамбле 9 нм полупроводниковых нанокристаллов CdSe/ZnS составляет 6 эВ при $T = 2$ К [16].

На рис. 2 также показаны экспериментальные данные по измерениям однородной ширины спектров люминесценции одиночных квантовых точек CdSe/ZnS, выполненным группой при $T=10$ К группой M.G. Bawendi [17]. Значения спектральной ширины, полученные для одиночных квантовых точек, лежат ниже температурной зависимости обратного времени оптической дефазировки, измеренной методом некогерентного фотонного эха. Это может быть связано с тем, что наши измерения проводились в неоднородном (по размеру и форме) ансамбле квантовых точек, и такая дисперсия может вызывать дополнительное спектральное уширение.

В верхней части рисунка 2 звездочка соответствует среднему значению ширины спектров люминесценции для одиночных квантовых точек, а пунктирная линия – для ансамбля квантовых точек CdSe/CdS/ZnS, измеренному методами конфокальной люминесцентной спектроскопии при комнатной температуре. Штрих-пунктирной линией на рисунке обозначена естественная ширина $\Gamma_0=1/2\pi T_1$ ($T_1=12$ нс по данным измерения кинетики люминесценции в растворе квантовых точек CdSe/CdS/ZnS в толуоле). Полученные значения обратного времени дефазировки характеризуются некоторой величиной отстройки Γ_{sample} относительно естественной ширины. Данная величина, по-видимому, описывает исследуемый образец и может характеризовать вклад в уширение за счет различных эффектов в ансамбле квантовых точек. Таким образом, полученные методом НФЭ данные для температурной зависимости обратного времени оптической дефазировки в ансамбле квантовых точек хорошо соотносятся с данными других исследований.

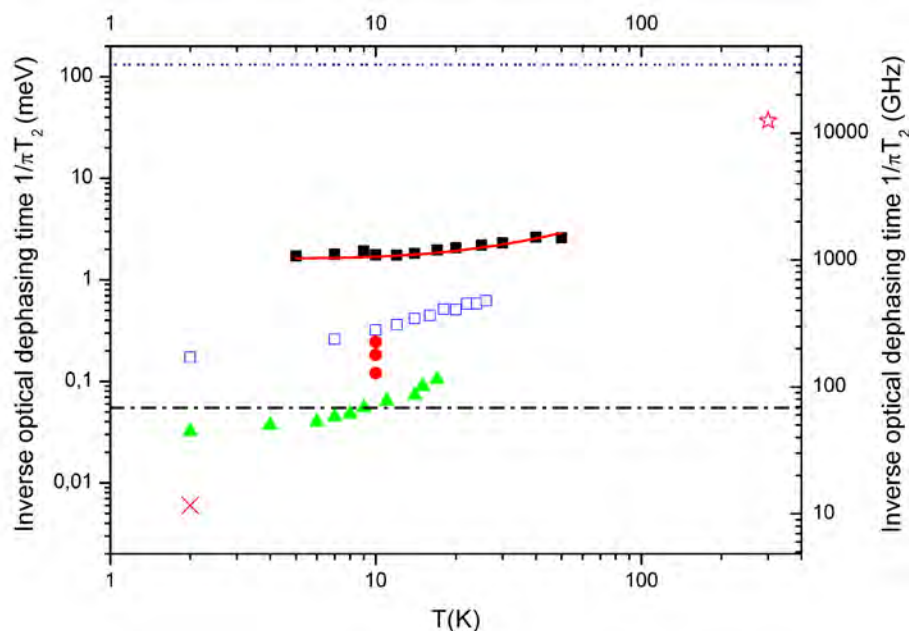


Рис. 2. Температурная зависимость обратного времени оптической дефазировки $1/\pi T_2$ в интервале температур 4,5-50 К, измеренная в ансамбле квантовых точек CdSe/CdS/ZnS размером 3-7 нм (закрытые черные квадраты). Аппроксимация данной зависимости формулой (1) (сплошная красная линия). Температурные зависимости значений однородной спектральной ширины, измеренные методом аккумулярованного фотонного эха для 3,6 нм квантовых точек CdSe (открытые синие квадраты) [15] и выжигания спектральных провалов в 9 нм нанокристаллах CdSe/ZnS (зеленые треугольники) [16]. Данные по фотолюминесцентной спектроскопии одиночных 4,3 нм квантовых точек CdSe/ZnS (красные кружки) [17]. Однородная ширина, измеренная при $T = 2$ К методом выжигания спектральных провалов в ансамбле квантовых точек CdSe/ZnS (крес) [9] и методом люминесцентной спектроскопии при комнатной температуре в одиночных квантовых точках CdSe/CdS/ZnS (звездочка). Черная штрих-пунктирная линия соответствует естественной ширине, а синяя пунктирная линия – ширине спектра люминесценции, измеренной в растворе квантовых точек CdSe/CdS/ZnS 3-7 нм в толуоле.

4. Заключение

Разработана методика приготовления образцов с полупроводниковыми квантовыми точками с высокой оптической плотностью и хорошим оптическим качеством, что дало возможность зарегистрировать и исследовать в них сигналы фотонного эха и четырехволнового смешения. С использованием метода некогерентного фотонного эха была измерена температурная зависимость обратного времени оптической дефазировки $1/\pi T_2$ в ансамбле квантовых точек CdSe/CdS/ZnS. В отличие от ансамбля примесных молекул органических красителей, для которых время оптической дефазировки T_2 при криогенных температурах составляет величины порядка единиц наносекунд, в случае квантовых точек имеет место быстрая релаксационная динамика с характерными временами порядка сотен фемтосекунд. Возможные причины столь быстрых процессов могут быть связаны с неоднородностью структуры самих квантовых точек, особенностями внутренней динамики излучающего ядра (например, с эффектом мерцания люминесценции), а также с поверхностными состояниями на оболочках квантовых точек. Кроме того, к быстрой релаксации в ансамбле могут приводить дисперсия по размеру и сильно-неоднородное локальное окружение квантовых точек.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантами Президента РФ для государственной поддержки молодых ученых – кандидатов наук (проект МК-342.2017.2) и ведущих научных школ (проект НШ-7035.2016.2). Разработка методов изготовления тонких пленок полупроводниковых коллоидных квантовых точек выполнена в рамках научно-исследовательских работ по гранту Российского научного фонда №14-12-01415.

Список литературы

- [1] Karimullin K.R., Naumov A.V. // J. Lumin. 2014. V. 152. P. 15.
- [2] Наумов А.В. // УФН. 2013. Т. 183. С. 633.
- [3] Bao J., Bawendi M.G. // Nature. 2015. V. 523. P. 67.
- [4] Medintz I.L., Uyeda H.N., Goldman E.R., Mattuosi Y. // Nature Materials. 2005. V. 4. P. 435-446.
- [5] Kurucz Z., Sorensen M.W., Taylor J.M., Lukin M.D., Fleischhauer M. // Phys. Rev. Lett. 2009. V. 103. Art. No 010502.
- [6] Karimullin K.R., Knyazev M.V., Arzhanov A.I. et al. // J. Phys: Conf. Ser. 2017. V. 859. Art. No 012010.
- [7] Аржанов А.И., Каримуллин К.Р., Наумов А.В. // Изв. РАН. Сер. физ. 2017. Т. 81. № 12. (в печати).
- [8] Вайнер Ю.Г., Груздев Н.В. // Оптика и спектроскопия. 1994. Т. 76. С. 252.
- [9] Knyazev M.V., Karimullin K.R., Naumov A.V. // Phys. Stat. Sol. RRL. 2017. V. 11. No 3. Art. No 1600414.
- [10] Каримуллин К.Р., Князев М.В., Наумов А.В. // Изв. РАН. Сер. физ. 2014. Т. 78. № 12. С. 1537.
- [11] Karimullin K.R., Knyazev M.V., Eremchev I.Y. et al. // Meas. Sci. Tech. 2013. V. 24. Art. No 027002.
- [12] Каримуллин К.Р., Князев М.В., Вайнер Ю.Г., Наумов А.В. // Оптика и спектроскопия. 2013. Т. 114, № 6. С. 943.
- [13] Moody G., Siemens M.E., Bristow A.D. et al. // Phys. Rev. B. 2011. V. 83. Art. No 115324.
- [14] Takemoto K., Hyun B.-R., Masumoto Y. // Solid State Commun. 2000. V. 114. P. 521.
- [15] Palinginis P., Wang H. // Appl. Phys. Lett. 2001. V. 78. P. 1541.
- [16] Palinginis P., Tavenner S., Lonergan M., Wang H. // Phys. Rev. B. 2003. V. 67. Art. No 201307(R).
- [17] Empedocles S.A., Norris D.J., Bawendi M.G. // Phys. Rev. Lett. 1996. V. 77. P. 3873.

ГЕНЕРАЦИЯ ОДНОФОТОННЫХ СОСТОЯНИЙ С ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ В РЕЖИМЕ СПОНТАННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ В КРИСТАЛЛЕ РР LiNbO₃

Д.А. Турайханов¹, А.В. Шкаликов¹, И.З. Латыпов¹, А.А. Калачев^{1,2}

¹Казанский физико-технический институт им. Е.К.Завойского
420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7

²Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18
e-mail: 7intur@gmail.com

В работе рассматривается метод генерации однофотонных состояний с орбитальным угловым моментом в режиме спонтанного параметрического рассеяния в нелинейном кристалле LiNbO₃ с регулярной доменной структурой. Для создания световых пучков с орбитальным угловым моментом предлагается использовать кольцевой резонатор с поворотной призмой Дове.

1. Введение. Орбитальный угловой момент света – это векторная величина, выражающая количество динамического вращения, присутствующего в электромагнитном поле света. Пучок света, во время распространения по прямой линии, может вращаться вокруг своей оси. Это вращение, в то время как оно невидимо для невооруженного глаза, могут быть проявляться при взаимодействии светового пучка с веществом [1]. Но на самом деле есть две различные формы поворота светового пучка, один из которых связан с поляризацией, а другой с его волновым фронтом. Эти две формы вращения связаны с двумя различными формами углового момента, соответственно названный спиновый угловой момент (СУМ) и орбитальный угловой момент (ОУМ).

2. Спонтанное параметрическое рассеяние и ОУМ. Световые пучки с орбитальным угловым моментом (ОУМ) являются в настоящее время предметом активных исследований в нелинейных процессах. Важный вопрос, возникающий при смешении волн в нелинейных устройствах – это сохранение их механических свойств. Несколько экспериментов подтвердили сохранение орбитального углового момента фотонов при спонтанном параметрическом рассеянии [2], четырехволновом смешении [3] и генерация второй гармоники [4].

Одним из наиболее простых способов генерации одиночных фотонов является процесс спонтанного параметрического рассеяния (СПР) света, в ходе которого фотоны пучка накачки, падающего на кристалл с квадратичной средой нелинейности, уничтожаются с рождением двух фотонов, называемых холостым и сигнальным (рис. 1).

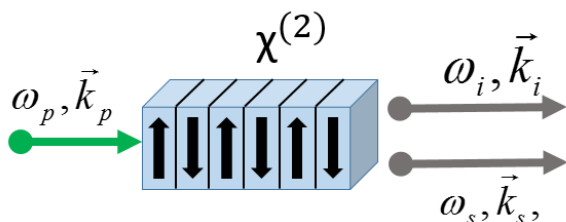


Рис. 1. Спонтанное параметрическое рассеяние света в нелинейном кристалле с регулярной доменной структурой.

Этот процесс удовлетворяет условиям фазового синхронизма:

$$\omega_p = \omega_i + \omega_s \tag{1}$$

$$\vec{k}_p = \vec{k}_i + \vec{k}_s \tag{2}$$

где ω и k – частота и волновой вектор сигнального фотона (i), холостого фотона (s) и фотона накачки (p).

Нелинейные кристаллы с регулярной доменной структурой, в которых реализуется режим синхронизма позволяют эффективно получать перестраиваемое по частоте излучение в видимой и ИК областях. Кроме того, возможна реализация синхронизма в любом направлении относи-

тельно оптических осей кристалла, что позволяет осуществить максимизацию эффективной нелинейности и при необходимости подстроить длину домена под оптимальное значение. Орбитальный угловой момент описывается модами Лагерра-Гаусса (рис. 2), которые можно записать как (при $z=0$):

$$LG_p^\ell(\rho, \varphi) = \sqrt{\frac{2p!}{\pi(|\ell|+p)!}} \frac{1}{\omega_0} \left(\frac{\sqrt{2}\rho}{\omega_0}\right)^{|\ell|} L_p^\ell\left(\frac{2\rho^2}{\omega_0^2}\right) \times \exp\left(-\frac{\rho^2}{\omega_0^2}\right) \exp(-i\ell\varphi) \quad (3)$$

где ℓ , p – азимутальный и радиальный индексы, соответственно. L_p^ℓ – полином Лагерра.

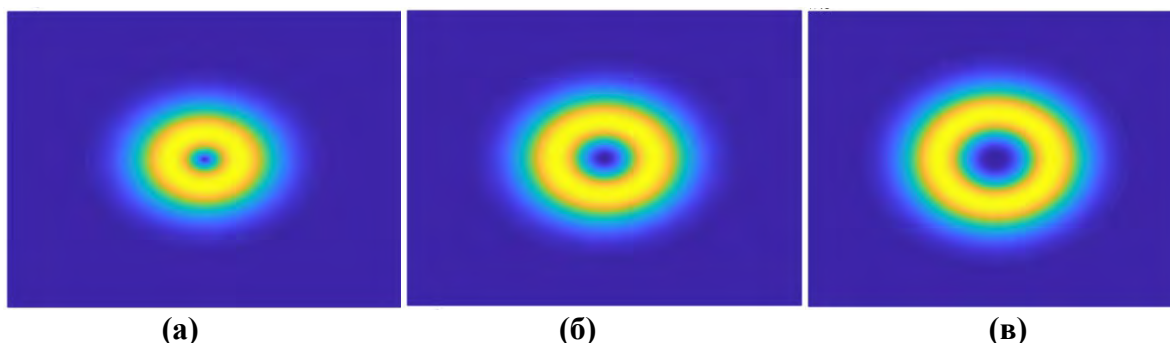


Рис. 2. Распределение интенсивности моды LG, для $\ell=1$ (а), для $\ell=2$ (б), $\ell=3$ (в).

Для коллинеарного режима СПР [5], справедливо следующее правило,

$$\ell_{\text{pump}} = \ell_s + \ell_i, \quad (4)$$

где ℓ_{pump} – значение орбитального углового момента фотона накачки, ℓ_s и ℓ_i – значения орбитального углового момента фотона сигнального и холостого, соответственно. Сумма ОУМ рождённых фотонов равна ОУМ накачки. Это подтверждается измерениями совпадений в СПР, где кристалл накачивается пучками Лагерра-Гаусса с различными ОУМ [6]. Вероятность совпадения вычисляется по формуле $P_{p_s, p_i}^{\ell_s, \ell_i} = |C_{p_s, p_i}^{\ell_s, \ell_i}|^2$, где амплитудная вероятность $C_{p_s, p_i}^{\ell_s, \ell_i}$ задается интегралом [6]

$$C_{p_s, p_i}^{\ell_s, \ell_i} \sim \int dr_\perp \Phi(r_\perp) [LG_{p_s}^{\ell_s}(r_\perp)]^* [LG_{p_i}^{\ell_i}(r_\perp)], \quad (5)$$

где r_\perp радиальная координата в поперечной плоскости X-Y, $\Phi(r_\perp)$ распределение поля накачки, $LG_{p_s}^{\ell_s}(r_\perp)$ и $LG_{p_i}^{\ell_i}(r_\perp)$ распределение поля в сигнальном и холостом каналах. На рис. 3 представлено теоретическое моделирование вероятности совпадений.

В настоящей работе рассматривается генерация и детектирование одиночных фотонов с ОУМ в процессе СПР в нелинейном кристалле, помещённом в резонатор. На рис. 4 изображена схема установки, которую мы планируем реализовать. В качестве накачки можно использовать непрерывный неодимовый лазер на 532 нм, а в качестве нелинейного кристалла – кристалл LiNbO₃ с регулярной доменной структурой, в котором будут рождаться коррелированные пары фотонов в процессе СПР на длинах волн 810 нм. и 1550 нм. При этом нелинейный кристалл помещается в резонатор, зеркала которого имеют высокой коэффициент отражения для одного из полей, скажем сигнального, и являются прозрачными для второго поля и поля накачки. Генерацию орбитального момента сигнальных фотонов можно реализовать в кольцевом резонаторе, состоящем из трёх зеркал: M1 (плоское зеркало) и M2, M3 (сферические зеркала) [7]. Такая геометрия резонатора в виде тупоугольного треугольника позволяет снизить влияние астигматизма зеркал M2, M3. Поворот поля вокруг оси пучка осуществляется посредством Дове призмы. Поскольку резонатор создаёт ОУМ у сигнального поля, в процессе СПР будут рождаться преимущественно такие пары фотонов, которые удовлетворяют закону сохранения углового момента при заданном значении ℓ_s .

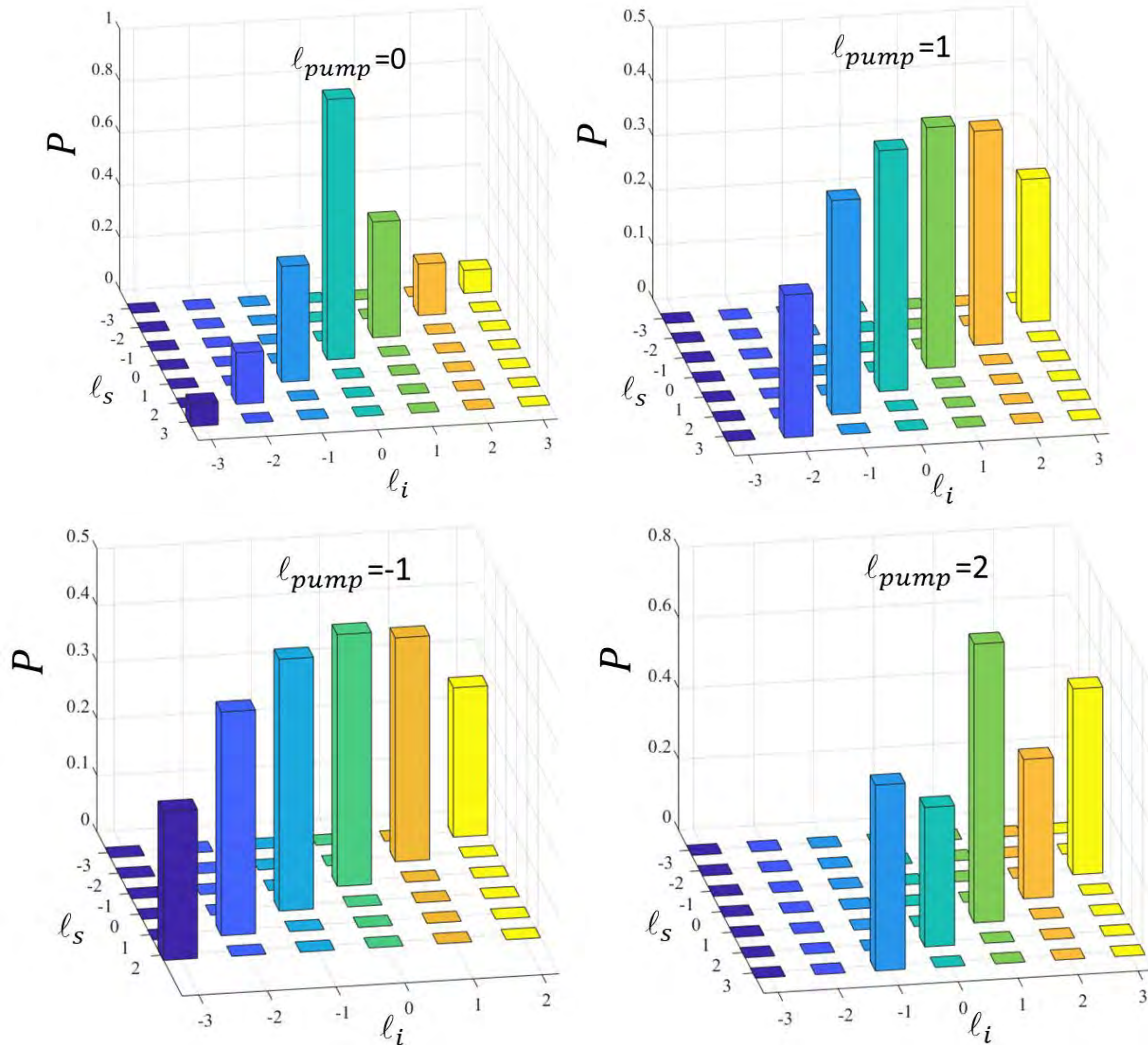


Рис. 3. Теоретическое моделирование показывающее, вероятность совпадения сигнального и холостого фотонов, с различным орбитальным угловым моментом пучка накачки $l_p=0,1,-1,2$. Совпадения наблюдались во всех случаях, когда сумма орбитальных моментов сигнального и холостого фотонов была равна орбитальному моменту пучка накачки.

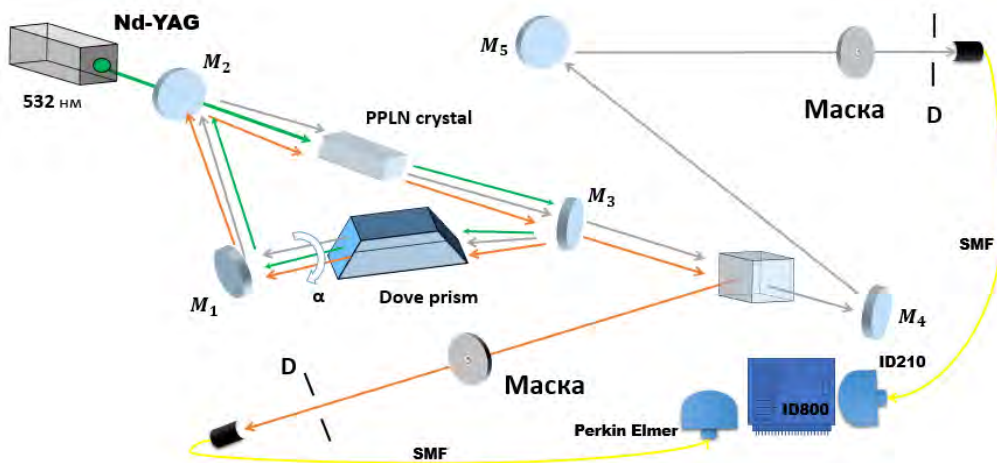


Рис. 3. Экспериментальная схема установки для рождения пар фотонов с орбитальным угловым моментом в процессе СПР в резонаторе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-02-01055 А).

Список литературы

1. Friese, M. E. J.; Enger, J; Rubinsztein-Dunlop, H; Heckenberg, NR "Optical angular-momentum transfer to trapped absorbing particles". Phys. Rev. (1996).
2. A. Mair, A. Vaziri, G. Weihs & A. Zeilinger, Entanglement of the orbital angular momentum states of photons, Nature (2001)
3. S. Barreiro and J. W. R. Tabosa, Phys. Rev. Lett. **90**, 133001 (2003).
4. K. Dholakia, N. B. Simpson, M. J. Padgett, and L. Allen, Phys. Rev. A **54**, R3742 (1996).
5. Walborn, S., De Oliveira, A., Thebaldi, R. and Monken, C.: Entanglement and conservation of orbital angular momentum in spontaneous parametric down-conversion. Phys. Rev. A, vol. 69, no. 2, p. 23811, 2004.
6. Franke-Arnold S., Barnett S. M., Padgett M. J. and Allen L.: Two-photon entanglement of orbital angular momentum states. Phys. Rev. A 65 033823, 2002
7. Абрамочкин Е.Г., Волостников В.Г., Современная оптика гауссовых пучков (М.: Физматлит, 2010)

ФИЗИКА-МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ-ТЕХНОЛОГИИ-ОБОРУДОВАНИЕ**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СТАРЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ
ИЗОЛЯЦИИ И МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ РЕАЛЬНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ
В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ****А. В. Голенищев-Кутузов, В. А. Голенищев-Кутузов, Г. Д. Марданов**Казанский государственный энергетический университет, Казань
e-mail: alex.kutuzov@mail.ru

На основе разработанного метода детектирования частичных разрядов с использованием акустического и электромагнитного датчиков предложен аппаратно-программный комплекс для бесконтактной дистанционной диагностики высоковольтных изоляторов в условиях эксплуатации.

Based on the developed method for the detection of partial discharges using acoustic and electromagnetic sensors the proposed hardware-software complex for remote contactless diagnostics of high-voltage insulators under operating conditions.

1. Введение. Устойчивость работы современного энергетического оборудования высокого напряжения во многом определяется надежностью его изолирующих элементов. Наиболее уязвимыми в этом плане являются высоковольтные изоляторы (ВИ), поскольку при длительном воздействии высокого напряжения и неблагоприятных условий эксплуатации возникает износ керамических или полимерных изоляционных материалов. В результате происходит образование различных дефектов, приводящих в конечном итоге к электрическому пробое и даже к полному разрушению ВИ.

Как известно, полному пробое, как правило, предшествуют микропробои или электрические разряды, которые шунтируют лишь часть изоляции между электродами, получившие название частичных разрядов (ЧР). ЧР являются результатом возникновения в процессе эксплуатации локальных повышений напряженности приложенного электрического поля в объеме или на поверхности изоляции, превышающей ее электрическую прочность. Возрастание размеров дефектов под действием разнообразных факторов сопровождается увеличением интенсивности и числа ЧР во временные интервалы, а также понижением напряженности поля для возникновения ЧР. Вследствие вероятностного характера возникновения ЧР, их характеристики отличаются большим разнообразием и реально можно устанавливать только усредненные параметры, позволяющие отличать работоспособные изоляторы от дефектных, требующих замены.

Существующие методы измерения различных характеристик ЧР (акустический, ультразвуковой, оптический, электромагнитный) дают возможность обнаруживать дефекты на ранней стадии их возникновения, отслеживать их развитие и таким образом оценивать текущее состояние изоляционных элементов, что отражено в отечественных и международных документах и стандартах. Согласно последнему ГОСТ Р191–2012 [1] и Международному стандарту IEC 60060–1.2010 [2] предусматриваются только периодические испытания высоковольтного энергетического оборудования с выводом из рабочего состояния. В основу определения параметров дефектов и их влияния на работоспособность изоляции положен электрический контактный метод измерения характеристик ЧР с помощью специализированных для каждого вида оборудования стендов и использованием регулируемых источников высокого напряжения.

В современных условиях возникла существенная необходимость дистанционного бесконтактного контроля рабочего состояния высоковольтного оборудования, особенно ВИ, на

что неоднократно указывалось в ведомственных документах. Однако до сих пор нет нормативных материалов по дистанционному контролю ВИ, а существуют отдельные попытки использования для контроля энергетического оборудования различных методов измерения ЧР, причем в основном для контроля силовых трансформаторов и кабельных линий [3].

Практически и в наши дни повреждения ВИ в виде видимых трещин, сколов, пробоев определяются на работающем оборудовании в основном визуально. Причем с учетом того, что дефекты миллиметровых и сантиметровых размеров по-разному влияют на дальнейшую работоспособность ВИ в зависимости от материала, размеров и приложенного высокого напряжения, этот способ малоэффективен.

Результаты наших ранних исследований показали, что успешный контроль состояния ВИ, возможен только при одновременном и синхронном использовании нескольких методов. Наиболее эффективным в этом случае может быть сочетание электромагнитного и акустического методов [4,5]. Однако в настоящее время практически все выпускаемые промышленностью диагностические приборы, как отечественные, так и зарубежные, рассчитаны на использование одного метода, как правило, оптического, акустического или термографического; имеют собственное программное обеспечение и вследствие этого пока нашли применение для контроля изоляции высоковольтных трансформаторов и кабелей.

Цель работы – разработка более совершенного комплексного метода и прибора, сочетающего одновременную дистанционную бесконтактную регистрацию характеристик ЧР с помощью электромагнитного и акустического датчиков с последующей компьютерной обработкой и выдачей соответствующих рекомендаций по работоспособности ВИ. Разработка комплексного метода и прибора является актуальной задачей, решение которой может значительно повысить возможности дистанционной диагностики высоковольтных изоляторов.

Поставленные задачи

1. На основе анализа особенностей дефектов в высоковольтных изоляторах разработать и обосновать комплексный метод контроля рабочего состояния ВИ по характеристикам ЧР.
2. Разработать архитектуру и экспериментально реализовать бесконтактный двухканальный аппаратно-программный комплекс (АПК), расширяющий диагностическую информацию о техническом состоянии ВИ в процессе эксплуатации.
3. Разработать программно-аппаратные средства управления процессом регистрации, накопления и обработки сигналов импульсов ЧР от дефектов ВИ.
4. Провести стендовые и полевые испытания АПК.

В начале двухтысячных годов на кафедре промышленной электроники КГЭУ на изготовленном стенде было выполнено комплексное исследование реальных дефектов, в модельных образцах электротехнического фарфора, возникающих в приложенном электрическом поле [6–10]. Модельные образцы изготавливались в виде прямоугольных пластин из электротехнического фарфора с размерами 30×50×2 мм. Разрядная ячейка содержала два электрода: стержневого и плоского. Изучались разряды двух типов: пробой между электродом и изолятором с возможностью изменения толщины воздушного промежутка между ними. В этом случае преобладает нормальная составляющая вектора напряжённости приложенного поля, что характерно при неполном контакте электрода с поверхностью изолятора, а также трещина внутри изолятора. При исследовании поверхностных трещин и сколов оба электрода располагались на одной поверхности образца по разные стороны сформированной трещины, что моделировало поверхностный пробой по поверхности (перекрытию). На модельных образцах путем детектирования разрядов, их анализа и последующего построения АФХ и зависимости количества ЧР от фазового угла [11–13] были изучены особенности возникновения и характеристика различных типов разрядов при пробое диэлектрика: ЧР, корона, стримеры, искровой и дуговой разряды. Было показано, что положение искрового или дугового разрядов после начала горения не зависят от фазы приложенного напряжения, в то время

как ЧР возникают и заканчиваются прежде, чем напряжение достигает максимума, т.е. в первом и третьем квадрантах фазового диапазона, а начальные ЧР могут появляться по окончании второго и четвёртого квадрантов. Наличие дефектов в виде зазоров или трещин, заполненных воздухом, приводит к значительному увеличению интенсивности ЧР, а также сопровождается понижением значения напряжённости поля возникновения ЧР. Сами ЧР, не достигшие уровня искрового или дугового пробоя не вызывают какого-либо заметного увеличения дефектов.

В дальнейшем разработанная методика была перенесена на изучение особенностей ЧР от реальных высоковольтных изоляторов типа ИОС (изоляторы опорно-стержневые). Результаты стендовых измерений показали идентичность импульсов ЧР от реальных изоляторов и импульсов ЧР от моделей при одинаковости дефектов, тем самым была подтверждена возможность использования характеристик ЧР для анализа дефектов в полимерных и фарфоровых изоляторах [14]. Изученные особенности ЧР от наиболее характерных дефектов и разработанные модели возникновения одиночных ЧР в материалах из электротехнического фарфора впоследствии нашли подтверждение в более углублённой модели возникновения ЧР в воздушном промежутке электрод–диэлектрик [15, 16]. Как следует из выше изложенного, к настоящему времени уже достаточно подробно исследованы особенности ЧР в фарфоровых изоляторах, связанные с возникновением перенапряжения в сети, грозовых эффектов или уменьшения электрической прочности. Однако гораздо меньшее внимание было обращено на влияние загрязнений и последующего увлажнения на процессы перекрытия изоляции. Во многом это связано со сложностью и разнообразием физико–химических свойств загрязнений и увлажнённой поверхности. На практике решение этой задачи находят в создании более качественных изолирующих материалов и оптимизации по геометрическим параметрам конструкций, а также очистке изоляторов от скопившейся грязи. Поскольку натурные измерения на изоляторах при рабочем напряжении практически весьма сложны, то были выполнены только отдельные попытки изучения электрического пробоя на модельных изоляторах. Итак, главным результатом ранее проведенного изучения возможных дефектов являются следующие выводы:

- преимущественные дефекты в фарфоровых изоляторах — это поверхностные трещины с шириной от 0,01 мм до 0,5 мм и поверхностные сколы, которые практически не изменяются под действием ЧР;
- изменение параметров указанных дефектов происходит в основном при переходе ЧР в искровой или дуговой разряды.

Для дистанционной регистрации дефектов в ВИ были разработаны соответствующие методы, каждому из которых присущи как определённые достоинства, так и существенные недостатки. Разработанный уже в начале XXI века бесконтактный электромагнитный способ изменения ЧР и построения АФХ и зависимости количества ЧР от фазового угла в принципе позволяет получать важную информацию об интенсивности и частоте повторения ЧР, распределении количества импульсов по значениям интенсивности кажущегося заряда и их зависимости от фазы и ряд других величин определяющих параметры дефектов и возможное влияние дефектов на рабочее состояние. В настоящее время с учётом широкого частотного спектра излучаемых импульсов ЧР и особенностями спектра шумов, бесконтактные измерения импульсов ЧР начинают применяться уже в гигагерцовом диапазоне (2-4 ГГц), как в керамических, так и полимерных изоляторах. Переход в гигагерцовый диапазон позволяет увеличить пространственное разрешение. Последнее обстоятельство имеет важное значение при выделении дефектных изоляторов в гирляндах изоляторов или подстанциях с близко расположенными ВИ.

Акустический метод регистрации ЧР основан на эффекте генерации упругих колебаний в частотном диапазоне от инфразвука (10-20 Гц) до килогерцового диапазона (100-200 кГц)

в области дефекта материала в момент электрического разряда. Эти упругие колебания создают в окружающем пространстве акустические волны, соответствующие тому же спектру колебаний. Для детектирования акустических волн еще в 90-е годы началось использование высокочувствительных микрофонов. Для бесконтактного акустического контроля используют пассивные или активные способы. Согласно первому из них, с помощью микрофона или пьезопреобразователя регистрируют импульсные акустические сигналы от электрических разрядов на дефекте. При этом акустическое излучение, регистрируемое направленной акустической антенной, характеризует местонахождение источника разряда на поверхности или в объеме материала. Во втором, активном способе акустический импульс посылается на объект изучения, а затем отраженный от объекта акустический импульс регистрируется приемником. Информация о местоположении и природе дефекта содержится в таких параметрах эхосигнала как изменение интенсивности, частотного спектра и фазы. Однако в наши дни активный метод не получил дальнейшего развития, поскольку не только отличается сложностью при сканировании акустическим пучком особенно больших по размерам изоляторов, но и обладает малой чувствительностью к обнаружению дефектов.

Значительно большее применение нашли пассивные акустические методы обнаружения дефектов как с помощью микрофонов, так и пьезопреобразователей, особенно с использованием активных узконаправленных акустических антенн.

Электромагнитный метод при высокой чувствительности, подвержен сильному влиянию радиочастотных помех и электрических разрядов от работающего оборудования на точность измерений ЧР; акустический способ, имеющий высокую помехоустойчивость от электромагнитных полей и хорошую разрешающую способность к обнаружению дефектного изолятора и в ряде случаев даже места дефекта, что сочетается с малой чувствительностью.

С учетом общих требований к устройствам измерения сигналов ЧР в высоковольтных изоляторах была разработана система компьютерной регистрации характеристик ЧР дистанционным методом [17, 18].

Поскольку электромагнитное излучение ЧР представляет собой видеоимпульс, то для измерения сигнала импульса ЧР используются различные приборы, работающие в области высоких или сверхвысоких частот с шириной полосы пропускания не менее 15кГц, согласно ГОСТ.

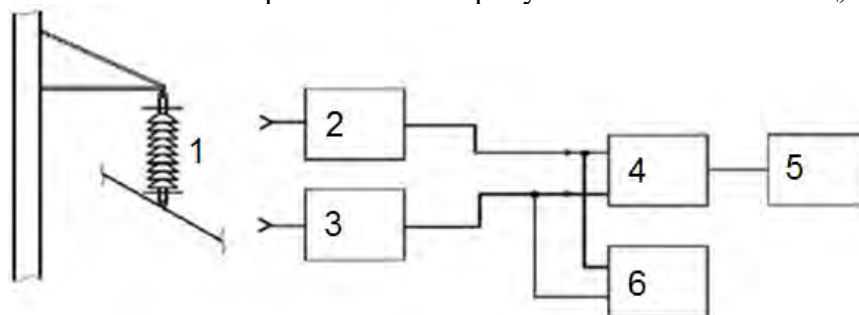


Рис. 1. Блок схема дистанционного двухканального АПК: 1-высоковольтный изолятор; 2 – электромагнитный канал; 3 – акустический канал; 4 – аналого-цифровой преобразователь; 5 – персональный компьютер; 6 – двухканальный осциллограф

Таблица 1.

Технические характеристики АПК.

| | Электромагнитный канал | Акустический канал |
|--------------------|------------------------|--------------------|
| Диапазон частот | 0,5–800МГц | 15.1–190.7кГц |
| Полоса пропускания | 15кГц–15МГц | ±2кГц при 6дБ |
| Чувствительность | 10пКл при сигнал/шум=3 | 65дБ (1В/1мбар) |

Регистрация электромагнитных импульсов ЧР (рис. 1) осуществляется всеволновой телевизионной антенной «Дельта Н111–01», с коэффициентом усиления 28дБ, соединённой с

широкополосным перестраиваемым приёмником «AOR AR 5000A», позволяющим детектировать сигналы в интервале частот 0.5–800МГц. Регистрация акустических импульсов осуществляется активной параболической антенной «ParaDish–2», соединённой с приёмником «SDT–270» на частоте 40кГц. Выбор частоты измерений был обоснован такими факторами как частотная зависимость затухания волн, производственные шумы и электромагнитные помехи окружающего электрического оборудования. Так акустические шумы доминируют в низкочастотной области (20Гц–20кГц), верхний частотный предел ограничен частотной зависимостью затухания, ($f \geq 100\text{кГц}$). В интервале 35–45кГц, как показали эксперименты, при отношении сигнал/шум ≈ 2 , акустические импульсы от ЧР регистрируются на расстоянии 10–20м. С учетом низкочастотных производственных электромагнитных помех в диапазоне (50–200МГц) и выше 600МГц, наиболее предпочтительными для электромагнитной регистрации ЧР являются полосы 20-50МГц и 400-650МГц, причем интенсивность сигналов ЧР значительно выше во второй полосе, чем в первой. Калибровка производилась по результатам контактного метода. Этим методом вычислялось величина интенсивности ЧР (кажущийся заряд), а затем электромагнитным и акустическим методами.

Далее усиленные сигналы от приемников отображаются двухканальным цифровым осциллографом DSO3062A в виде амплитудно–временных характеристик импульсов ЧР (рис. 2).

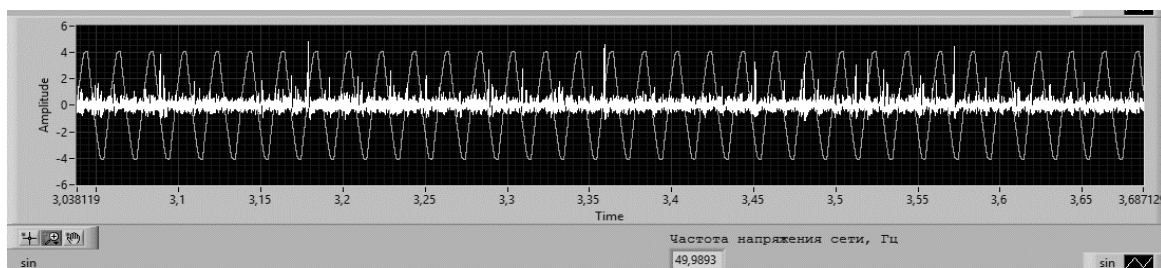


Рис. 2. Сигнал ЧР с антенны на частоте 545 МГц с полосой пропускания 15 кГц, наложенный на сигнал напряжения сети

Затем синхронизированные с фазой переменного напряжения сети сигналы ЧР поступают на плату сбора данных АЦП NIUSB 6341. Оцифрованные сигналы от электромагнитного и акустического приемников поступают в компьютер, в котором с помощью разработанной программы [19] происходит сбор, запись, обработка информации об амплитуде, частоте повторения и фазе сигналов. Накопление сигналов по узким фазовым интервалам (порядка 20°) происходит в течение 18 с, что вполне удовлетворяет стохастическому характеру возникновения ЧР. Процесс обработки сигналов ЧР заканчивается построением следующих характеристик: амплитуда и количество импульсов в каждом фазовом интервале и распределения количества импульсов по амплитудам ЧР. Полученное фазовое распределение параметров импульсов сравнивается с ранее записанным распределением параметров импульсных сигналов для (бездефектного) ВИ того же типа.

Определение реального значения интенсивности отдельного частичного разряда выполняется после градуировки приёмников электромагнитных и акустических сигналов с использованием контактного датчика по способу, приведённому в ГОСТ 55191-2012, с учётом расстояния между антенной и источником ЧР, измеряемых лазерным дальномером.

Сигналы с выхода приёмников поступают на вход платы АЦП NIUSB 6341. Процесс записи исходного массива характеристик ЧР производится во внутреннюю память прибора, затем формируется исходный массив данных. После обработки исходного массива характеристики ЧР отображаются виртуальным прибором обработки данных (рис. 3).

Для приема сигналов с датчиков, обработки и представления результата в виде графических диаграмм, а также записи результатов измерения в виде файла в памяти компьютера

используется среда разработки виртуальных приборов LabView 14.0, как наиболее удобный инструмент для программирования трех основных составляющих эксперимента: сбора, анализа и представления результата.

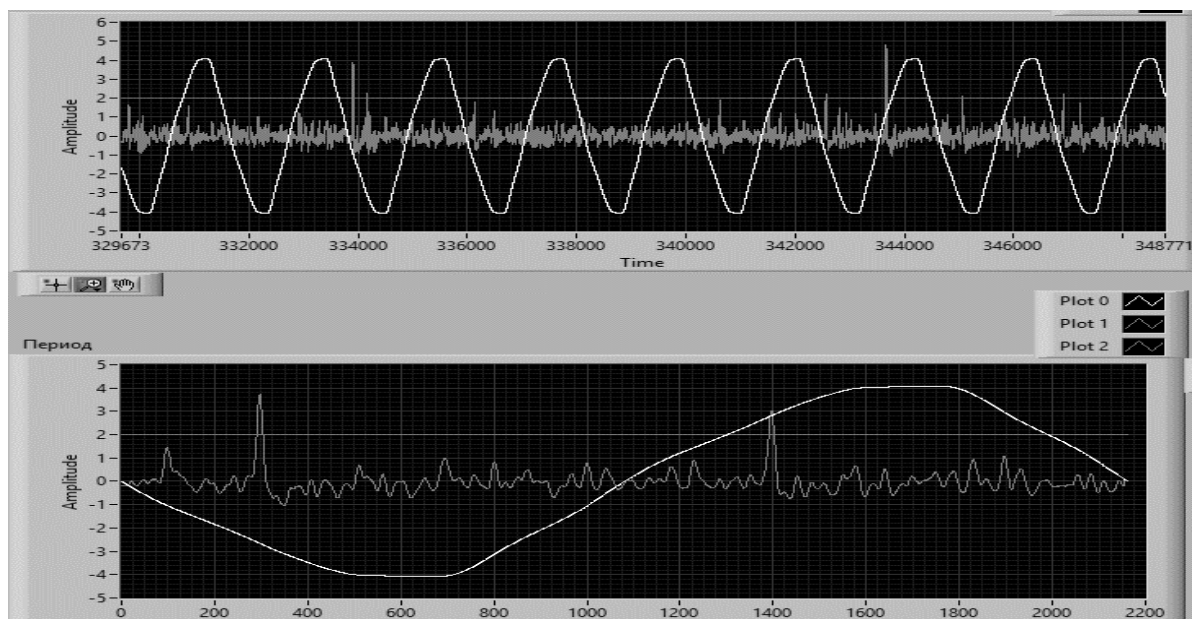


Рис. 3. Визуализация обработки сигнала ЧР с антенны на частоте 545 МГц с полосой пропускания 15 кГц.

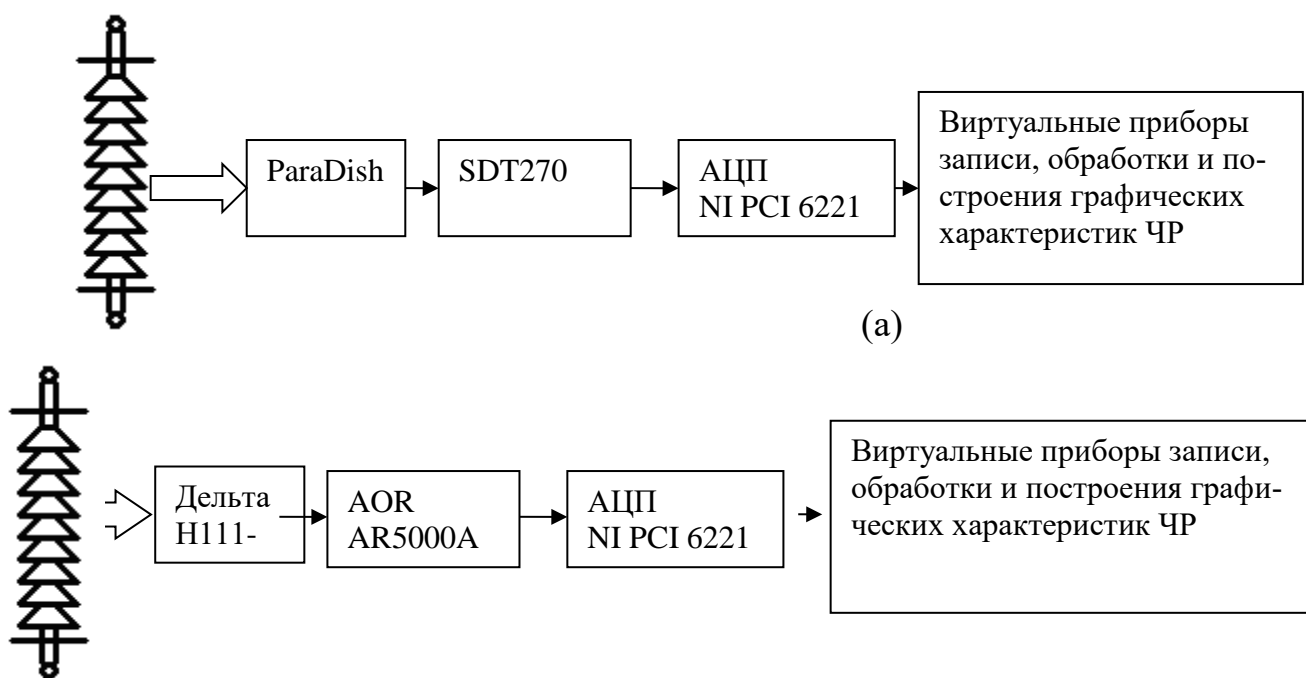


Рис. 4. Структурная схема акустической (а) и электромагнитной системы измерения в изоляторах (б)

В блоке построения диаграмм определяется количество ЧР за каждые двадцать фазовых градусов периода сетевого напряжения. На фазовых диаграммах, после программной обработки, каждому ЧР соответствует точка, соответствующая фазе возникновения ЧР и амплитудой, зависящей от мощности ЧР. На графике распределения ЧР все единичные точки образуют скопления точек с близкой амплитудой и фазой возникновения. Таким же образом

происходит построение зависимости количества ЧР от амплитуды и нахождение среднего числа ЧР в каждом фазовом интервале.

Для сравнительного анализа с помощью разработанной программы строятся нормированные графики распределения ЧР, где высота столбцов зависит от количества ЧР за определенный фазовый интервал сетевого напряжения. За максимум принимается фазовый интервал с наибольшим количеством зарегистрированных импульсов ЧР, и относительно него в процентном соотношении к максимальному значению определяется высота столбцов, характеризующих относительное количество ЧР в других фазовых интервалах. По окончании построения графиков результаты измерения сохраняются в файле.

Приведенные на рисунке 5 и 6 последовательно измеренные АФХ и зависимости количества ЧР от фазового угла характеристики для двух ВИ ЛК 70/35 показывают достаточно удовлетворительное согласие между АФХ и зависимости количества ЧР от фазового угла для бездефектного (рис. 5) и дефектного (рис. 6) полимерных изоляторов [19].

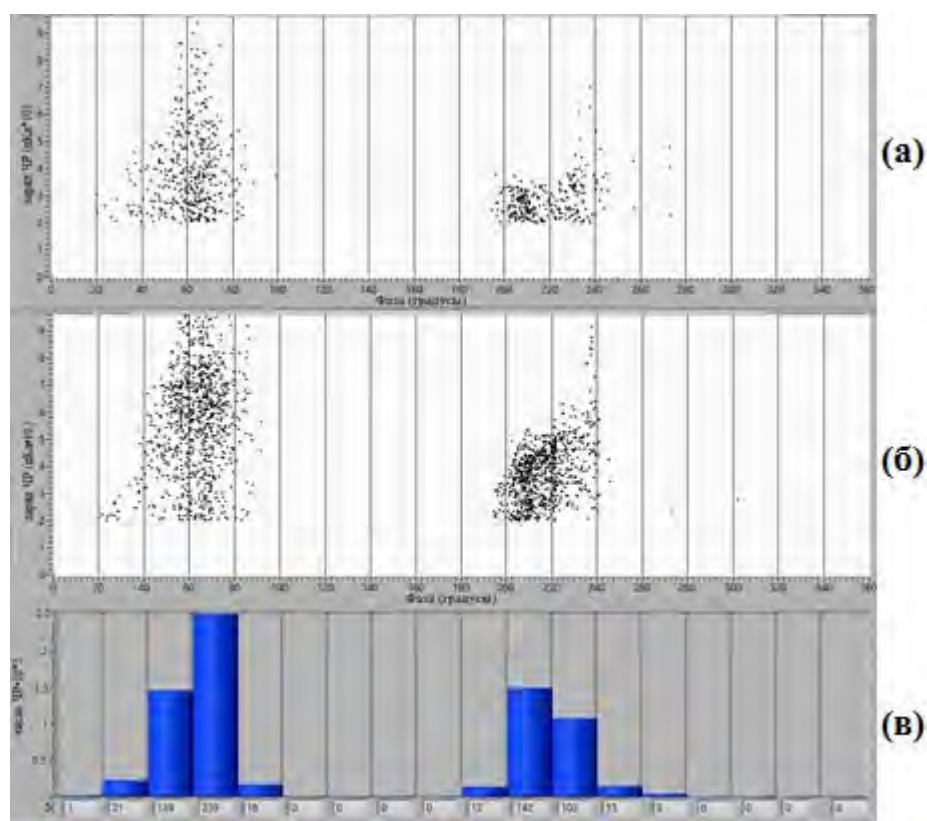


Рис. 5. Характеристики ЧР для работоспособного бездефектного изолятора; а и б – амплитудно-фазовые характеристики, детектированные электромагнитным (а) и акустическим (б) датчиками; в – зависимости количества ЧР от фазового угла.

Более того, на этих рисунках видно значительное различие в фазовых характеристиках начала ЧР и их численности.

Следует подчеркнуть особую необходимость одновременно-последовательного измерения характеристик ЧР акустическим и электромагнитным датчиками в условиях достаточно близкого расположения ВИ на высоковольтных подстанциях. Поскольку акустический датчик с более узконаправленной антенной позволяет более точно фиксировать объект измерений ЧР, то именно данные с него были первичными по отношению к данным электромагнитного датчика.

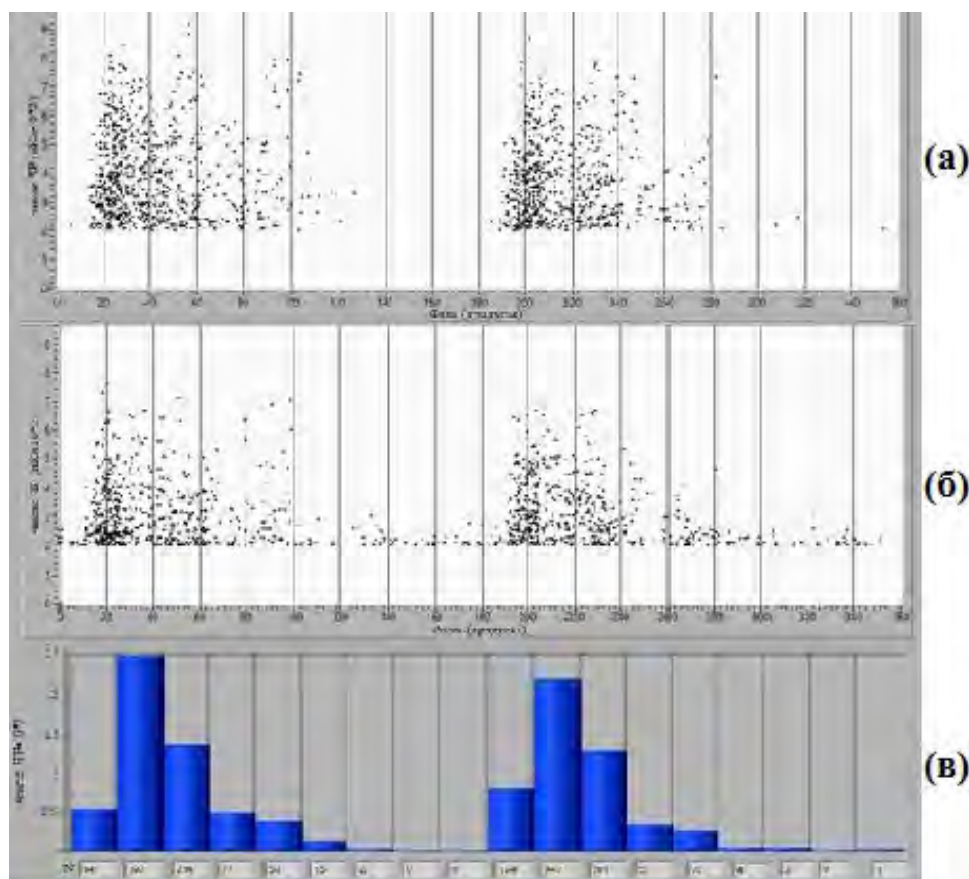


Рис. 6. Характеристики ЧР для дефектного изолятора; а и б – амплитудно-фазовые характеристики, детектированные электромагнитным (а) и акустическим (б) датчиками; в – зависимости количества ЧР от фазового угла

Полученные результаты. По результатам контактных и бесконтактных дистанционных измерений сигналов ЧР на серии полимерных ВИ типа ЛК 70/35 был определен оптимальный набор характеристик ЧР, включающий амплитудно-фазовую (АФХ) характеристику, зависимости количества ЧР от фазового угла и распределение ЧР по интенсивности.

Были установлены такие соотношения между параметрами характеристик ЧР и обнаруженными визуально дефектами обследованных полимерных ВИ, которые могли быть использованы для дистанционного контроля технического состояния ВИ, находящихся в сети высокого напряжения.

Список литературы

- [1] ГОСТ 55191-2012 *Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов* М. Стандартинформ. 2014.
- [2] Международный стандарт ИЕС 60060 – 1.2010 *Методы испытаний высоким напряжением.*
- [3] *Рекомендации по регистрации частичных разрядов в изоляции трансформаторного оборудования в эксплуатационных условиях* М. РД ОАО “ФСК ЕЭС” 2003.
- [4] Голенищев-Кутузов В.А., Голенищев-Кутузов А.В., Маковеев А.А., Черномашенцев А.Ю. Контроль высоковольтных полимерных изоляторов по измерению частичных разрядов. М. «Электричество», №12, с.11-14, 2008г.
- [5] Голенищев-Кутузов В.А., Голенищев-Кутузов А.В., Евдокимов Л.И., Черномашенцев А.Ю. Способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных полимерных изоляторов. Патент на изобретение № 2483315 от 26.12.2011.

- [6] Аввакумов М.В., Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Компьютерное устройство для регистрации процесса электрического пробоя и анализа электрической стойкости диэлектрических материалов. *Росс. нац. Симпозиум по энергетике*, Казань, КГЭУ. 2001г. Материалы докладов, с.248-251.
- [7] Аввакумов М.В., Голенищев-Кутузов А.В., Захаров А.А. Цифровой метод регистрации фазовых распределений частичных разрядов проходных изоляторов. *«Известия вузов. Проблемы энергетики»*, №11-12, с.56-64, 2002г.
- [8] Аввакумов М.В., Голенищев-Кутузов А.В. Исследование частичных разрядов при электрическом пробое модельных изоляторов из электротехнического фарфора. *«Известия вузов. Проблемы энергетики»*, №7-8, с.55-57, 2003г.
- [9] Аввакумов М.В., Голенищев-Кутузов А.В. Методика исследования электрического пробоя элементов из электротехнического фарфора. *«Известия вузов. Проблемы энергетики»*, №5-6, с.130-134, 2003г.
- [10] Захаров А.А., Голенищев-Кутузов А.В., Федоров Г.С. Оптимальная форма представления параметров частичных разрядов в виде двух и трехмерных амплитудно-фазовых диаграмм. *«Известия вузов. Проблемы энергетики»*, №11-12, с.93-96, 2005г.
- [11] Голенищев-Кутузов В.А., Голенищев-Кутузов А.В., Федоров Г.С. Контроль рабочего состояния и прогнозирование срока службы диэлектрических элементов. *Всеросс. электротехнический конгресс М.* 2005г. с. 89.
- [12] Федоров Г.С., Голенищев-Кутузов А.В. Особенности электрического пробоя в высоковольтных изоляторах из электротехнического фарфора и высокополимерных материалов. *«Известия вузов. Проблемы энергетики»*, №5-6, с.112-113. 2006г.
- [13] Голенищев-Кутузов В.А., Голенищев-Кутузов А.В., Черномашенцев А.Ю. Изучение процессов разрушения высоковольтных полимерных изоляторов методом частичных разрядов. *«Известия вузов. Проблемы энергетики»*, №9-10, с.120-124, 2008г.
- [14] Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Губаев Д.Ф., Черномашенцев А.Ю., Евдокимов Л.И. Частичные разряды в полимерных изоляторах. *«Известия вузов. Проблемы энергетики»*, №7-8, с.76-83, 2010г.
- [15] Купершток А.Л., Стамателатосс П., Агорис Д.П. Моделирование частичных разрядов в твердых диэлектриках на переменном напряжении. *Письма в ЖТФ*, Т **32**, вып.15, с.74-81, 2006г.
- [16] Pan Ch. Meng Y., Wu K., Han Z. Simulation of partial discharge sequences using fluid equations. *J.Phys.D Appl.Phys.*, V **44**, p255201, 2011.
- [17] Хуснутдинов Р.А., Голенищев-Кутузов А.В., Марданов Г.Д., Евдокимов И.А. Дистанционная диагностика высоковольтных изоляторов. *«Дефектоскопия»*, № 8, 2016, с. 75-82.
- [18] Хуснутдинов Р.А., Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Марданов Г.Д. Комплексный дистанционный контроль высоковольтных изоляторов, находящихся под рабочим напряжением. *«Электротехника»* №2, 2017.
- [19] Хуснутдинов Р.А., Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Марданов Г.Д., Иванов Д.А., Евдокимов И.А. Комплексный метод дистанционного контроля состояния высоковольтных изоляторов. *«Известия вузов. Проблемы энергетики»*, выпуск 5-6, 2016г., с.87-93.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УСТРОЙСТВ
ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 0,4кВС.В. Венедиктов, А.С. Державин, Н.В. Селивестров, О.А. Якименко,
П.В. Иванов, А.Е. Лебедев, Э.Ю. ЛисовЧебоксарский институт (ф) Московского политеха
sergvmariel@yandex.ru

Рассмотрено влияние состояния петли «фаза-ноль» системы TN на потребителей и приведены результаты разработки и исследований серии энергосберегающих устройств для распределительных сетей 0,4кВ, позволяющие уменьшить влияние несимметричных режимов на качество электроэнергии и обеспечивающие энергосберегающий эффект.

Ключевые слова: петля фаза-ноль, энергосбережение, качество электроэнергии, фидерный переключатель, коммутатор нагрузки, корректор дополнительных потерь, корректор тангенса фи, измеритель тока, комбинированный пускатель.

The influence of the state of the "phase-zero" loop of the TN system on consumers is considered, and the results of development and research of a series of energy-saving devices for 0.4 kV distribution networks are presented, which reduce the influence of asymmetric regimes on the quality of electricity and provide an energy-saving effect.

Keywords: phase-zero loop, energy saving, power quality, feeder switch, load switch, additional loss corrector, tangent correction device, current meter, combined starter.

Проблема. В связи с ростом электропотребления и изменения структуры электрической нагрузки при проектировании и эксплуатации необходимо уделять внимание расчетам контроля состояния цепи «фаза-ноль». Иначе высока вероятность ситуации, когда электроустановка выполнена и настроена в соответствии с нормативными требованиями, а в эксплуатации потребитель не получает качественной энергии. На корпусах оборудования появляется недопустимое напряжение, оборудование информационных технологий сбоит. Т.е., электроустановка здания несовместима с системой электроснабжения и не безопасна для обслуживающего персонала. Это связано с появлением напряжения нулевой последовательности – напряжение ко всем трем фазам относительно земли. При появлении напряжения нулевой последовательности потребители, подключенные на линейное напряжение, не почувствуют его, однако в некоторых случаях на их корпусах возможно появление напряжения относительно земли. Для однофазных потребителей, подключенных между L и N в системе TN появление напряжения нулевой последовательности равносильно отключению напряжения. В эксплуатации обрыв нуля или плохой PEN, или N проводник приводит к перенапряжениям! В точках общего присоединения к четырехпроводным (пятипроводным) сетям 0,4 кВ нормально допустимое значение коэффициента не симметрии напряжений по нулевой последовательности 2%, предельно допустимое 4% – т.е. на протяжении 5% или 1ч 12 мин. времени в течении суток показатель может превышать 2% но не должен превышать 4%.

На напряжение нулевой последовательности влияют следующие факторы:

- Мощность трансформаторов;
- Схемы соединения трансформаторов на ТП;
- Неравномерное распределение нагрузок по фазам;
- Схемы проводников;
- Уровень эксплуатации и т.д.

1. Мощность трансформаторов – чем мощнее трансформатор, тем меньше коэффициент не симметрии. Рассмотрим 2 трансформатора со схемой соединения Y/Y₀ мощностью 25 и 250 кВ*А с одинаковым $U_k = 4.5$, сопротивлением нулевой последовательности для них:

| | R_0 (МОм) | X_0 (МОм) |
|----------|-------------|-------------|
| 25 кВ*А | 1650 | 1930 |
| 250 кВ*А | 96,5 | 235 |

Сопротивление току однофазного КЗ (Z) 3110 и 311 мОм. Т.е. с увеличением мощностей трансформатора сопротивление нулевой последовательности пропорционально уменьшается, следовательно, коэффициент несимметрии по нулевой последовательности также уменьшается.

$$I'_k = \frac{3 * E_\Phi}{\sqrt{(x_1 + x_2 + x_0)^2 + (r_1 + r_2 + r_0)^2}}$$

Где: Z_T – сопротивление току однофазного КЗ

$$I'_k = \frac{E_\Phi}{\frac{Z_T}{3}}$$

$\frac{Z_T}{3}$ – Сопротивление петли фаза нуль.

2. Влияние схем соединения трансформаторов ТП. Поскольку $U_0 = z_0 * I_0$, то напряжение нулевой последовательности в нормальных рабочих режимах на зажимах трансформатора пропорционально z_0 . Поскольку соотношение сопротивлений нулевой последовательности для схем

$\frac{z_{0Y}}{z_{0\Delta}} \approx 5 \div 10$, а $\frac{z_{0Y}}{z_{0Z}} \approx 20$, то для питания сетей имеющих однофазные нагрузки, особенно для трансформаторов малой мощности целесообразно применять съемы Y/Z_0 или Δ/Y_0 . Для трехфазной нагрузки может быть использована любая схема.

Пример. На зажимах трансформатора 25 кВ*А со схемой соединения Y/Y_0 присоединена активная однофазная нагрузка 5 кВт. Определить коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности.

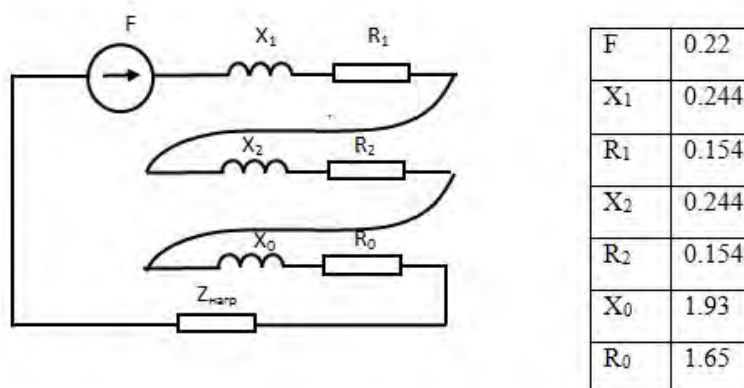


Рис. 1. К определению коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности

$$I = \frac{5}{0.22} = 22.73 \text{ A}$$

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{I}{3} = 7.58 \text{ A}$$

$$Z_0 = \sqrt{1.93^2 + 1.65^2} = 2.53$$

$$U_0 = 2.53 * 7.58 = 19.2$$

$$k_{u0} = \frac{19.2}{220} * 100 = 8.7 \%$$

Допускается k_{u0} от 2 до 4 %
Схема Y/Z_0

$$Z_0 = \sqrt{0,073^2 + 0,035^2} = 0,081$$

$$U_0 = 0,081 * 7.58 = 0,61$$

$$k_{u0} = \frac{0,61}{220} * 100 = 0,27 \%$$

3. Снижение напряжения нулевой последовательности выравниванием нагрузок по фазам.

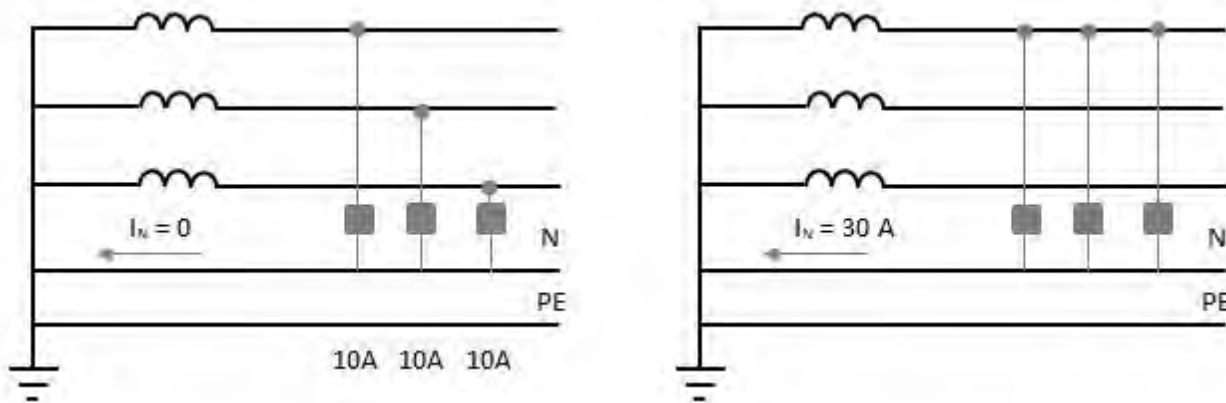


Рис. 2. Выравнивание нагрузок по фазам

$$I_0 = \frac{I_N}{3} = 0 \quad I_0 = \frac{I_N}{3} = \frac{30}{3} = 10 \text{ A}$$

$$U_0 = I_0 * Z_0 = 0 \quad U_0 = 10 ; Z_0 \neq 0$$

Вывод: В связи с появлением мощных бытовых однофазных нагрузок в сети 0,4 кВ использование трансформаторов со схемой соединения Y/Y_0 практически всегда приводит к нарушению качества электроэнергии у потребителей. В связи с тем что в эксплуатации в ДЗО ПАО «Россети» находится значительное количество трансформаторов со схемами соединения Y/Y_0 для обеспечения безопасной их эксплуатации, обеспечения качества электроснабжения и для целей энергосбережения вопросы создания новых, недорогих в эксплуатации устройств выравнивания фазных нагрузок является важной, актуальной задачей. Рассмотрим некоторые из таких устройств.

Решение. Эффективное решение задач энергосбережения и обеспечения требуемого качества электроэнергии возможно установкой в воздушные и кабельные магистрали распределительных сетей 0,4 кВ автоматических фидерного переключателя и коммутатора нагрузки и внедрением в внутридомовые сети корректора дополнительных потерь. Известно [1], что влияющий на несимметрию и потери в магистрали 0,4 кВ коэффициент дополнительных потерь определяется по формуле:

$$K_{дп} := 3 \cdot \frac{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2}{(I_a + I_b + I_c)^2} \cdot (1 + 1.5 \cdot K_r) - 1.5 \cdot K_r$$

где: I – токи фаз А,В,С магистрали;

K_r – отношение сопротивлений фазного и нулевого проводников.

Разработанные устройства, согласно их алгоритмов, осуществляют коммутацию токов магистрали с целью снижения коэффициента дополнительных потерь. Рассмотрим подробно их назначение и основные характеристики.

Автоматический фидерный переключатель. Автоматический фидерный переключатель (АФП) выравнивает фазные токи магистрали 0,4 кВ переключением последующей за ним нагрузки. Распределение токов при коммутации показаны в табл. 1

Таблица 1

Распределение токов при коммутации

| Ток фидера, до и после АФП | | Нет включения Чередование фаз: А, В, С | Включение Чередование фаз: В, С, А | Включение Чередование фаз: С, А, В |
|-------------------------------|-----|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| $I_a/2$ | АФП | $ia/2$ | $I_a/2 + I_a/2$ | $I_a/2 + ib/2$ |
| $I_b/2$ | | $ib/2$ | $I_b/2 + I_b/2$ | $I_b/2 + ic/2$ |
| $I_c/2$ | | $ic/2$ | $I_c/2 + I_c/2$ | $I_c/2 + ia/2$ |
| | | | | $I_c/2 + ib/2$ |

Логика АФП для выполнения коммутаций приведена на рис. 3.

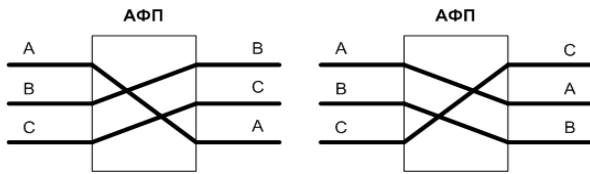


Рис. 3. Логика функционирования АФП

На каждой магистрали 0,4 кВ, отходящей от ТП размещается один АФП на расстоянии около 0,4 – 0,6 длины фидера. Такое расположение устройства на магистрали определено математически [2] по критерию максимума энергосберегающего эффекта. Алгоритм работы переключателей [3] выбран таким образом, чтобы уменьшить ток нулевой последовательности. Вариант размещения на опоре ВЛ в расщелку магистрали и структурная схема даны на рис. 4. Для ограничения кондуктивных перенапряжений от магистрали установлены ОПН, для защиты от токов КЗ имеются блоки предохранителей. Переключающими устройствами являются магнитные пускатели силовые контакты которых зашунтированы симисторами, включающимися в момент коммутации на два периода тока. Это позволяет выполнять безискровое переключение и отказаться от теплоотводящих радиаторов на симисторах. Силовые симисторы через оптосимисторы управляются микроконтроллером семейства PIC.

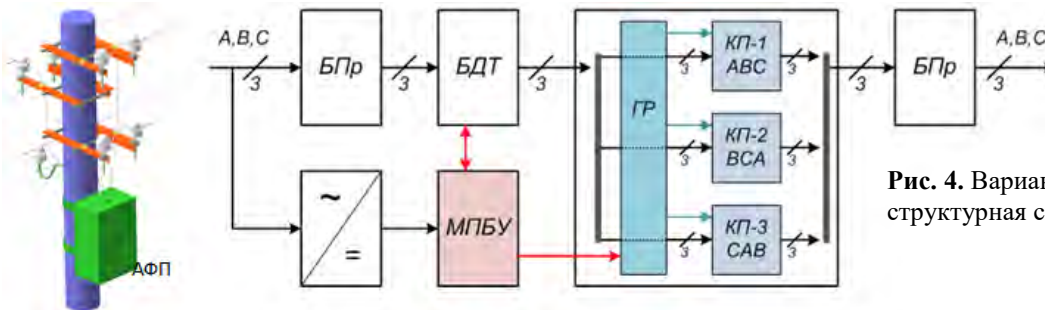


Рис. 4. Вариант размещения и структурная схема АФП

В ходе работы над устройством были проведены измерения показателей качества ЭЭ на 19 объектах электросетевого хозяйства. Результатом анализа полевых измерений является итоговый график, представленный на рис. 5, где с доверительной вероятностью 0,95 определено математическое ожидание процента экономии электроэнергии при внедрении АФП. Также рассчитан срок окупаемости устройства, при тарифе 1,8 руб./кВтч который в 2016 году установлен для МРСК «Центра», в зависимости от годового отпуска электроэнергии.

$$14.15 < 19.56 < 24.97$$

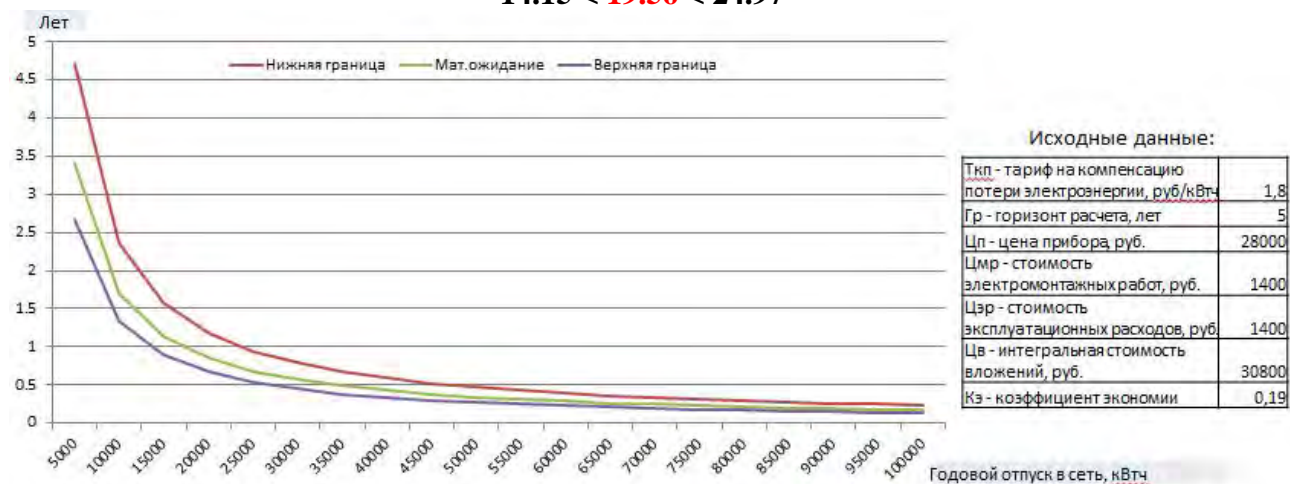
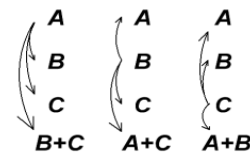


Рис. 5. К определению срока окупаемости АФП

Автоматический коммутатор нагрузки. Автоматический коммутатор нагрузки (АКН) обеспечивает снижение Кдп путем подключения однофазных управляемых нагрузок к одной из фаз магистрали в зависимости от токов в момент измерения. На рис.6 представлена логика

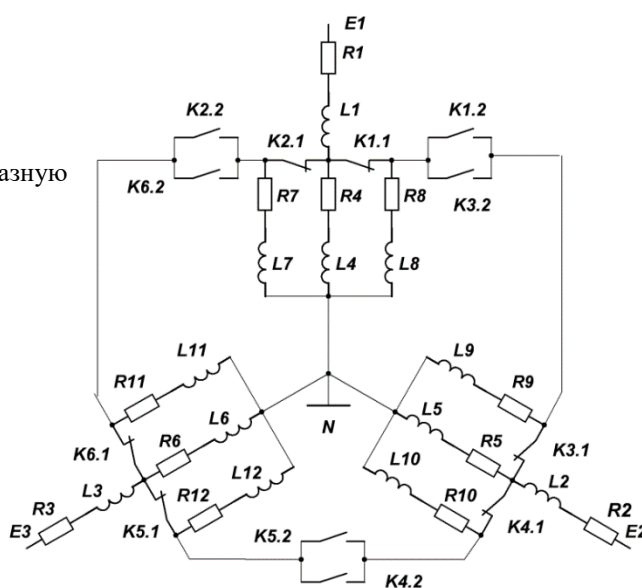
функционирования силовой части АКН. Имеется магистраль с фазами А,В,С. Определяется минимальный, средний, максимальный токи фаз. При превышении разницы величин токов уставки осуществляется переключение управляемой нагрузки с фазы с максимальным током на фазу с минимальным током. На рисунке это обозначено стрелками. Например, управляемую нагрузку фазы А можно подключить к фазе В, к фазе С, или выполнить две коммутации (В+С). И так далее согласно работы алгоритма программы.

Рис. 6. Логика функционирования АКН



Развернутая схема трехфазной сети приведена на рис. 7. На рисунке E1,E2, E3 – начала фаз А,В,С; R1, L1 – эквивалентная активная и индуктивная нагрузка фазы А; R4,L4 – эквивалентная неуправляемая нагрузка фазы А; R7,L7 и R8,L8 – управляемые нагрузки фазы А. K1.1, K1,2 – нормально замкнуты и нормально разомкнутые контакты комбинированных пускателей. Коммутация управляемой нагрузки с фазы на фазу осуществляется путем отключения нормально замкнутого и включения нормально разомкнутого контактов согласно логики устройства. Математика функционирования АКН подробно описана в работах [4-6].

Рис. 7. Схема подключения АКН в трехфазную



Структурная схема и вариант размещения АКН на опоре ВЛ приведены на рис. 8. Основные функциональные блоки структурной схемы АКН аналогичны блокам АФП. Для АКН также, как и для АФП был проведен анализ данных полевых измерений. Результатом является итоговый график, представленный на рис. 9, где с доверительной вероятностью 0,95 определено математическое ожидание расчетного процента экономии электроэнергии при внедрении АКН. Также рассчитан срок окупаемости устройства.

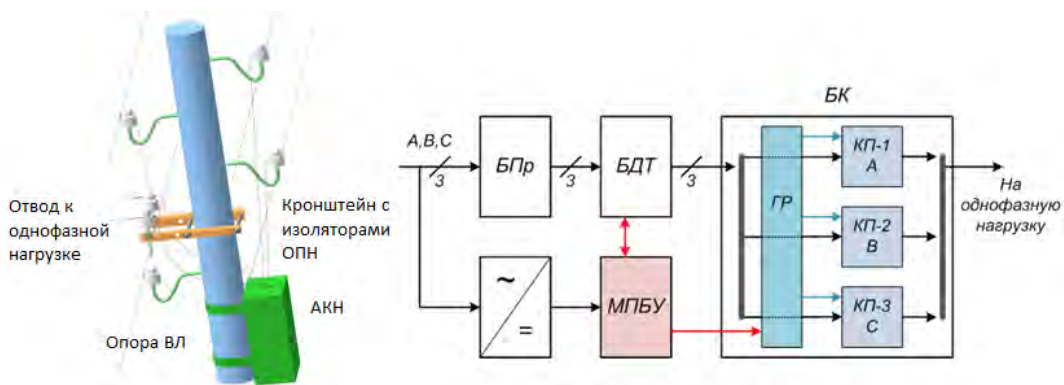


Рис. 8. Вариант размещения и структурная схема

- БПр – блок предохранителей
- БДТ – блок датчиков тока
- МПБУ – микропроцессорный блок управления
- БК – блок коммутации
- ГР – гальваническая развязка
- КП – комбинированный переключатель

12.31 < 15.21 < 18.12

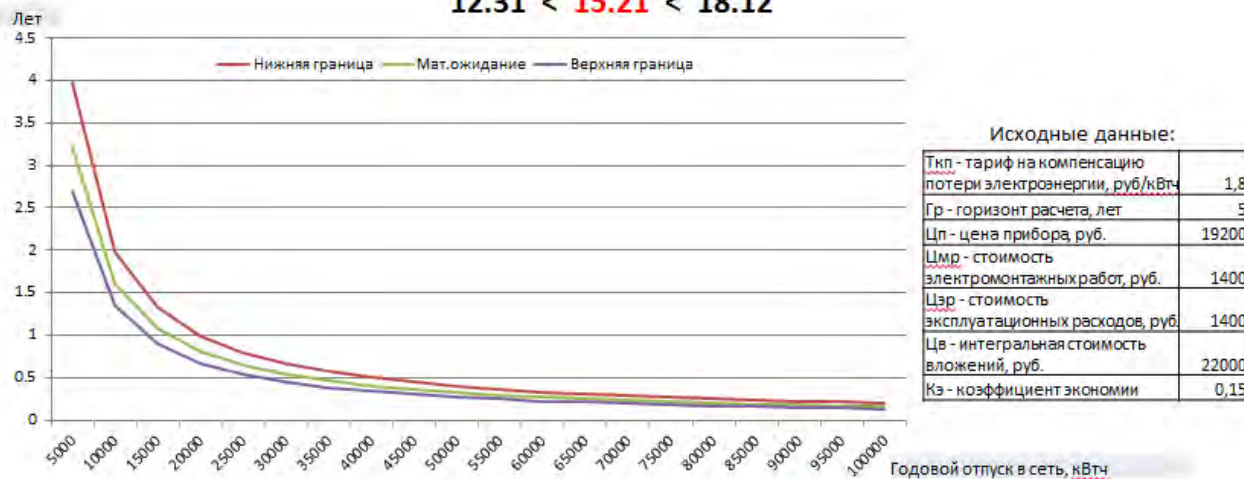


Рис. 9. К определению срока окупаемости АКН

Автоматический корректор дополнительных потерь. Автоматический корректор дополнительных потерь (АКДП) [7] является развитием АКН и представляет собой силовой модуль устанавливаемый на DIN-рейку перед вводным автоматическим выключателем. Схематичное представление АКДП представлено на рис. 10.

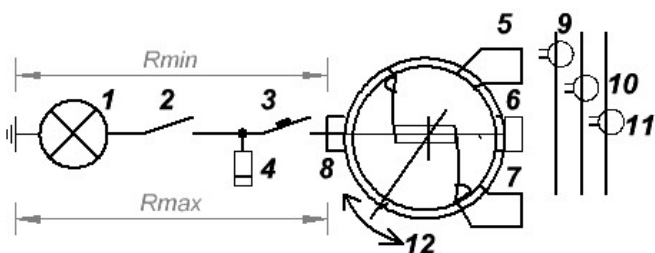


Рис. 10. К пояснению работы АКДП

1 – электрическая лампа, 2 – выключатель, 3 – вводной автомат, 4 – электросчетчик, 5,6,7 – выходы фаз А,В,С, 8 – вывод к нагрузке, 9,10,11 – датчики тока, 12 – электропривод.

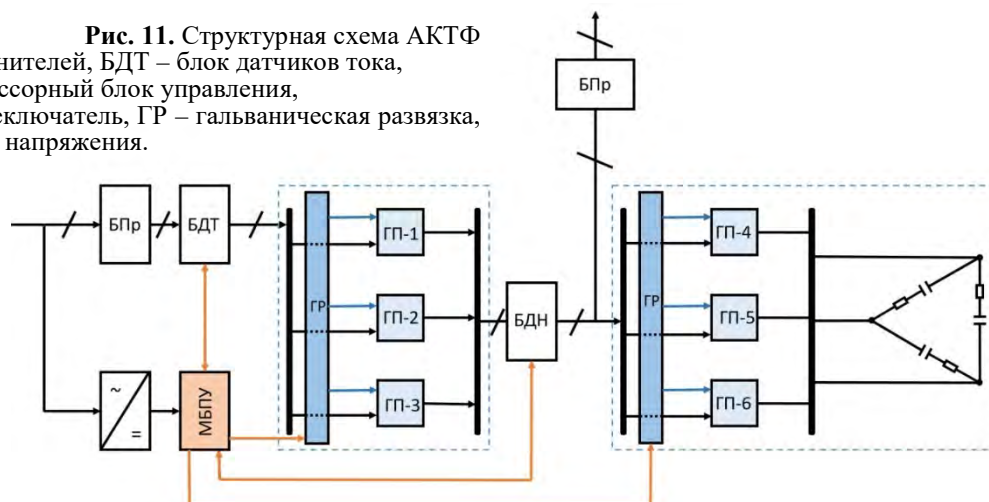
Работа АКДП. Датчики тока 9,10,11 измеряют токи фаз А,В,С внутридомовой магистрали. При включении квартирной нагрузки 1 сопротивление цепи петля фазу-ноль со значения R_{max} понизится до R_{min} , что является сигналом для электропривода 12 к подключению нагрузки 8 к выводам 5, 6 или 7 в зависимости от фазных токов. Это позволяет снизить Кдп, что уменьшает электропотребление на ощедомовые нужды. Силовые цепи выполнены в искробезопасном исполнении шунтированием контактов симисторами. Управление АКДП осуществляется контроллером семейства PIC.

Автоматический корректор тангенса фи. Установка конденсаторов для компенсации реактивной мощности в распределительных сетях 0,4 в настоящее время осуществляется в Индии (в одном из штатов) и Перу (Лима). По данным нами наработанной статистики тангенс фи в 75% случаев превышает нормативное значение.

Известно из практики, что напряжение, особенно в слабых сетях (садовые участки) зачастую составляет 170 ÷ 180В. Для поддержания напряжения в пределах нормативов нашей группой разрабатывается автоматический корректор тангенса фи (АКТФ), позволяющий пофазно управлять напряжением магистрали. Структурная схема одного из вариантов автоматического корректора тангенса фи (АКТФ) приведена на рис. 11.

Работа АКТФ. Для предварительно выравнивания фазных нагрузок предназначены ГП1 ÷ ГП3. Если фазные напряжения меньше нормативных значений, то как по отдельности, так и по схеме треугольник через ГП4 ÷ ГП6 включаются конденсаторы. Это позволяет обеспечить качество электроэнергии на участке сети. Для вышеперечисленных устройств требуется измерение тока магистрали и фазных напряжений. Вопросы измерения тока без трансформатора тока на уровне экспериментов с положительным результатом рассмотрены в [8,9], что явилось основой для создания измерителей для систем автоматики.

Рис. 11. Структурная схема АКТФ
БПр – блок предохранителей, БДТ – блок датчиков тока,
МПБУ – микропроцессорный блок управления,
ГП – гибридный переключатель, ГР – гальваническая развязка,
БДН – блок датчиков напряжения.



Вывод:

Автоматические фидерный переключатель, коммутатор нагрузки, корректор дополнительных потерь, корректор тангенса фи являются новыми малозатратными энергосберегающими устройствами со сроком окупаемости до пяти лет. Для распределительных сетей кроме эффекта энергосбережения ценным является возможность малозатратными способами вырывать несимметричную нагрузку, что позволяет поддерживать показатели качества электроэнергии в пределах нормативов.

Список литературы

- [1] Методические рекомендации по определению потерь электрической энергии в городских электрических сетях напряжением 10(6)-0,4 кв / Российское АОЗ «Роскоммунэнерго», 26с.
- [2] Венедиктов С.В. Поиск места расположения автоматического фидерного переключателя и алгоритм его работы / Державин А.С.Егошин Ю.Ю.Иванов П.В.Михайлов Д.С., Венедиктов С.В. / Матер. Десятой междунар. шк. «Наука и инновации – 2015» «ISS-2015» / ред. И.И. Попов, В.А. Козлов, В.В. Самарцев. – Й-Ола: ПГТУ, 2015. – 322 с., С. 88–92.
- [3] Венедиктов С.В. Модели, алгоритмы и функционал комбинированных переключателей / С.В. Венедиктов, А.С. Державин // Материалы Девятой междунар. шк. «Наука и инновации-2014» «SI-2014» Й-Ола ПГТУ, 2014, 279 с., С. 166–177.
- [4] Венедиктов С.В. Иванов П.В., Андреева З.А., Державин А.С. Алгоритм функционирования и расчетная модель автоматического коммутатора нагрузки / Материалы десятой международной научной школы «Наука и инновации – 2015» ISS «SI-2015» / ред. И.И. Попов, В.А. Козлов, В.В. Самарцев. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 322 с., С. 93–99.
- [5] Венедиктов С.В. Моделирование АКН в среде Mathcad / З.А. Андреева, П.В. Иванов, С.В. Венедиктов / Инновации в образоват. процессе: сб. тр. науч.-практ. конф. – Вып.14-Чебоксары: ЧПИ, 2016. – 267 с., С. 28–36.
- [6] Лебедев А.Е., Венедиктов С.В., Якименко О.А., Иванов П.В., Державин А.С. Автоматический коммутатор нагрузки / Труды академии электротехнических наук Чувашской республики №1/2017 – 129 с., С. 58–65.
- [7] Венедиктов С.В., Якименко О.А. Автоматический корректор дополнительных потерь в распределительных сетях 0,4кВ / Инновации в образовательном процессе: сборник трудов науч.-практ. конф. – Вып.15. – Чебоксары: Политех, 2017. – 274 с, С. 27–28.
- [8] Якименко О.А., Иванов П.В., Венедиктов С.В. Экспериментальная оценка влияния точек подключения сенсора к токовой шине / Инновации в образоват. процессе: сб. тр. науч.-практ. конф. – Вып.14-Чебоксары: ЧПИ, 2016. – 267 с., С. 47–48.
- [9] Венедиктов С.В., Державин А.С., Якименко О.А. Оценка токов шины и параллельного измерительного проводника / Инновации в образоват. процессе: сб. тр. науч.-практ. конф. – Вып.14-Чебоксары: ЧПИ, 2016. – 267 с., С. 37–38.

**БИОСВАРОЧНЫЙ АГРЕГАТ:
ЛИНЕЙКА ИНСТРУМЕНТОВ И РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС
"NICK. PIROGOV" ДЛЯ СВАРКИ ЖИВЫХ ТКАНЕЙ»**

С.Д. Бородулин

Медицинский центр «Возрождения жизни», Одесса, Украина

В статье представлен инструмент для сварки сосудов малого диаметра от 3 – 4 мм конец в конец. Конструкция инструмента состоит из двух половинок, что позволяет проводить операции шунтирования или реконструкции органов. Новый метод позволяет одной бригаде хирургов при помощи сварочных инструментов фиксировать сосуды дистального отдела органа, а другой группе – проксимального. В конце операции орган и половинки инструментов для сварки соединяют, а сосуды сваривают.

Ключевые слова: инструмент для сварки сосудов конец в конец, сосуды малого диаметра.

Работа посвящена созданию технологии и оборудования для восстановления функции кровообращения органов с воспроизводимым прогнозируемым результатом путем сваривания сосудов. Разработке программы и аппаратуры с различными типами насадок для роботизации процесса и обучения персонала в условиях симуляционной медицины.

Общая характеристика агрегата биосварки.

Агрегат биосварки состоит из:

- генератора токов высокой частоты, действующего по принципу обратной связи, пропускающего высокочастотные токи через биологические ткани, что вызывает в них электротермическую денатурацию белковых молекул;
- линейки инструментов, позволяющих сопоставить ткани для сварки – сосудов конец в конец, конец в бок, мышц, эпинеурия, серо-серозной оболочки тонкого кишечника, и т.д.
- сварочных инструментов, для открытых, лапароскопических и эндоскопических операций.
- роботизированного комплекса ("*Nick. Pirogov*") для точного сопоставления и сваривания концов одноименных сосудов различных органов (на этапе программирования, отдельный программный модуль может быть использован в качестве соответствующей программы обучения при визуализации процесса сварки посредством симуляционной медицины).

Признаки конкурентоспособности:

1. Генератор оснащен программируемым автоматическим режимом сварки, который позволяет свести к минимуму влияние человеческого фактора на результаты сварки сосудов, обеспечить воспроизводимое качество шва. Габариты и вес сварочного агрегата позволяют использовать его как в стационарных, так и полевых условиях.
2. Продукт позволит заменить процесс шивания сосудов (продолжительность 15 мин.) – их свариванием (продолжительность до 1 мин.).
3. Известные технологии для соединения биологических тканей используют шовный материал со специальными иглами и иглодержателем, инструменты с танталовыми скобами, специальные клеи. Такие методы обладают очевидными недостатками: металлические скобки являются инородным телом, что вызывает обызвествление, шовный материал медленно рассасывается, тонкие нити могут прорезать ткани и привести к нарушению герметичности сосудов. Метод сварки живых тканей позволяет в течение нескольких секунд получить достаточно надежное герметичное соединение сосудов конец в конец, или конец в бок и др. без использования инородных тел и материалов
4. Агрегат биосварки при операциях трансплантации органов, позволяет одновременно работать нескольким хирургам с двумя и более сварочными инструментами.

5. Предложенный метод позволяет сократить время подачи наркоза пациентам, экономить на медикаментах, расходном материале. Представляется возможным проведение операции по трансплантации органов с участием двух хирургов вместо десятка и более.
6. Разработаны, две линейки сварочных инструментов (для закрытых – лапароскопических и эндоскопических операций и открытых – при трансплантологии);
7. Сварочные инструменты, которые используются при открытых операциях, в том числе и трансплантации органов, имеют свои отличительные характеристики. Один сварочный инструмент состоит из двух половинок, что позволяет работать двум хирургам на отдалении друг от друга – возле каждой из частей соединяемых тканей. Такая модель взаимодействия хирургов наиболее целесообразна в экстренных и особо сложных ситуациях, поскольку обе бригады хирургов работают параллельно: одна бригада хирургов фиксирует и маркирует группу кровеносных сосудов и живых тканей дистальной половины органа, а другая – фиксирует проксимальную группу кровеносных сосудов и живых тканей. Это позволяет экономить операционное время, расход лекарственных препаратов в 4 и более раз.
8. Стоимость действующей модели генератора (Рисунок 1, 2) в комплекте с базовым набором инструментов для открытой хирургии – 3000 \$, вес – 4 кг



Рис. 1. Прототип генератора разрабатываемого биосварочного агрегата



Рис. 2. Действующая модель генератора в комплекте с базовым набором инструментов для открытой хирургии



Рис. 3. Фиксатор сосудов.

Описание действующей модели:

Сварочный инструмент имеет форму зажима, рабочие концы которого снабжены устройством «фиксатор», при помощи которого сосуды фиксируют перед сваркой (Рисунок 3). В центре фиксатора располагается матрица, выполненная в виде трубчатого тела, при этом один из торцовых витков переходит в линейный отрезок. Фиксирующий элемент выполнен из диэлектрика, торцовые края фиксатора в месте соприкосновения с краем хирургической раны, снабжены сварочными электродами. После фиксации и маркировки сосудов, половинки сварочных инструментов соединяют, и хирург нажатием педали активирует генератор – на инструмент подается напряжение. В результате, через ткани начинает протекать модулированный ток, величина которого и время действия подбирается автоматически в соответствии с запатентованным алгоритмом программы микроконтроллера, который является центральным звеном

системы управления модернизированным аппаратом ЕК-300М. После сварки сосудов стык в стык, матрица извлекается из просвета сосуда. Процесс сварки считается завершенным, если при визуальном осмотре, натяжении на разрыв – герметичность сосудов не нарушается.

Интеллектуальная собственность.

Генератор ВЧ-токов: Патент Украины UA98035, сертификат соответствия №UA.TR.039.129; сертификат ISO13485:2005 № 006-16

Линейка инструментов: Патент Украины на полезную модель № 104156. 12.01.2016.

Рынок и конкурентная среда

Ближайший конкурент – американская компания ValleyLab (LigaSure), производящая комплекс генератор (ForceTriad) и инструментарий (Covidien).

Недостатки агрегата конкурента с набором сварочных инструментов

- отсутствие инструментов для сварки сосудов конец в конец, бок в бок, конец в бок;
- агрегат конкурента не предназначен для сваривания сосудов с сохранением их просвета и не обеспечивает параллельную работу 14 – 20 и более сварочных инструментов;
- высокая цена агрегата конкурента без набора сварочных инструментов (20 000 \$).

Работа по внедрению проекта предусматривает три этапа.

Демонстрация работоспособности технологии.

Получения разрешения Министерства Здравоохранения России на клиническое применение. Внедрение опытной серии линейки инструментов для сварки, разработка методических рекомендаций для масштабного внедрения.

Масштабирование предлагаемых продуктов на весь целевой рынок:

Совершенствованный биосварочный агрегат на основе роботизированного хирургического комплекса Nick. Pirogov.

Описание действия модели

Роботизированный хирургический комплекс "Nick. Pirogov" позволяет автоматически распознавать и маркировать одноименные концы сосудов, позиционировать обе половинки инструмента строго соосно относительно друг друга, производить сближение и стыковку всех сварочных инструментов и производить сварку живых тканей при помощи генератора биосварки.

Рис. 4. Прибор в рабочем режиме.



Признаки конкурентоспособности

Биосварочный агрегат на основе роботизированного хирургического комплекса *Nick. Pirogov*, позволит:

- 1) устранить влияние человеческого фактора в процессе выполнения оперативного вмешательства на 70-90% (идентификация/распознавание всех сосудов поврежденного органа, стыковка и сварка одноименных полюсов сосудов);
- 2) повысить скорость выполнения операций по восстановлению кровоснабжения и функционирования органов после тяжелых ДТП, боевых действий, стихийных угроз и т.д.;
- 3) автоматизировать операции по трансплантации органов с прогнозируемым качеством и результатом;

4) в короткие сроки создать мобильные роботизированные операционные на базе имеющегося автопарка карет скорой помощи, с участием ограниченного числа специалистов, как в полевых условиях, так и в условиях качки, вибрации и невесомости.

Разрабатываемый хирургический блок "Nick. Pirogov", для стационаров весит до 100 кг, облегченный вариант для мобильных операционных – до 15-20кг.

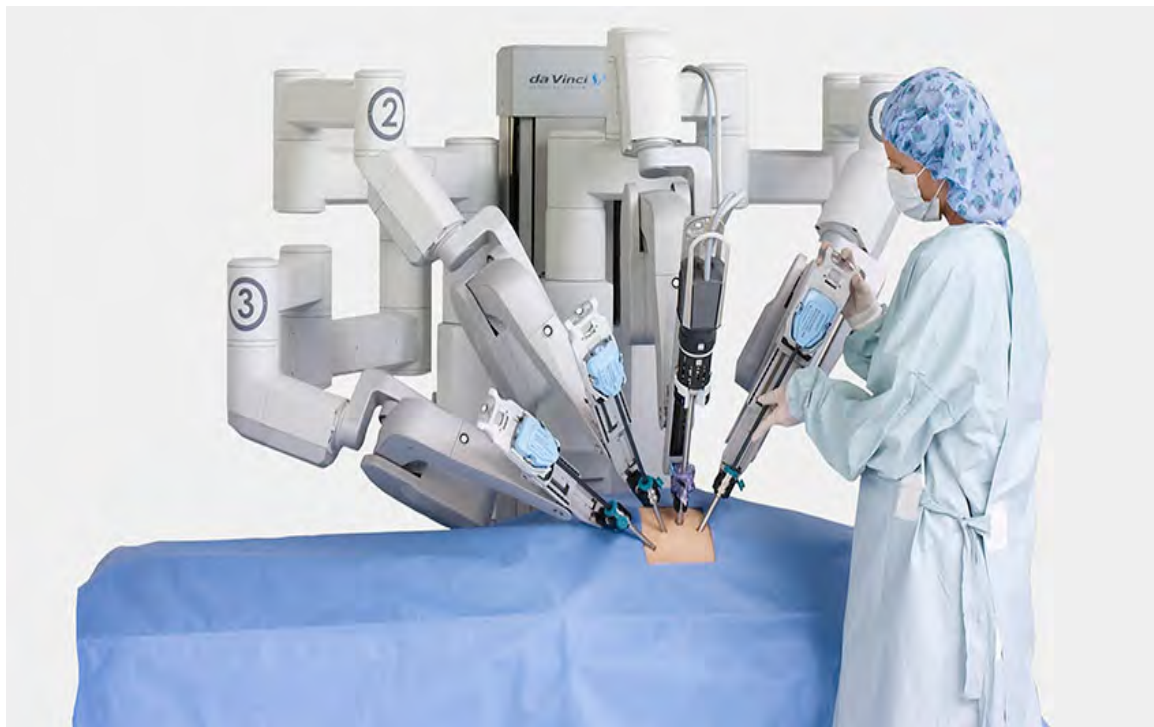
Стоимость хирургического блока "Nick. Pirogov" от 300 000 до 450000 \$.

Рынок и конкурентная среда

Ближайший конкурент – Да Винчи®, робот для проведения хирургических процедур. Недостатки продукции конкурентов

- отсутствие инструментов для сварки сосудов конец в конец, бок в бок, конец в бок;
- высокая цена робота Да Винчи® 2000000 \$;
- робот предназначен для стационаров т.к. вес робота – 500 кг.

Ближайший конкурент – аппарат Симуляционной медицины для сшивания сосудов производитель США. Недостаток продукции конкурентов – отсутствие программы и инструментов для сварки сосудов конец в конец, конец в бок и др.; высокая стоимость 2000000 \$.



Да Винчи®, робот для проведения хирургических процедур

**ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ
РАДИОЛОКАТОРОВ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ****А.Н. Леухин, Н.В. Парсаев, А.А. Роженцов, В.И. Безродный, Д.В. Карасев,
Н.А. Коковихина, А.А. Воронин, А.И. Иванов**ФГБОУ ВО Марийский государственный университет (МарГУ),
424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1
<http://www.marsu.ru>ОАО Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца (РТИ Минца),
127083, г. Москва, ул. 8 Марта, д. 10, стр. 1
<http://www.rti-mints.ru>

1. Введение. Наблюдение за поверхностью Земли из космоса или воздушного пространства с помощью электромагнитных волн различных длин от долей микрометра (видимое оптическое излучение) до метров (радиоволны) является неотъемлемой частью человеческой деятельности в современном мире. Космическая и аэрофотосъемки используются для решения практических задач землепользования, сельскохозяйственного и лесного мониторинга, экологии суши и морской поверхности, контроля районов рыбной ловли, выявления предвестников опасных явлений в окружающей обстановке: оползней, паводков, критических изменений геометрии природных и искусственных объектов и инженерных сооружений, а также задач технической и военной разведки.

Аэрофотосъемка поверхности Земли стартовала в начале 20 века и продолжается до сих пор. Преимущества оптического диапазона – высокое разрешение, относительная простота бортовой аппаратуры. Недостатки – зависимость от метеорологических условий и времени суток. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) космического базирования являются эффективным средством получения оперативной и долговременной информации о состоянии и динамике объектов и районов земного шара в глобальных и региональных масштабах независимо от метеорологических условий и времени суток. Научные и инженерные основы для реализации таких систем заложены в середине 20 века. Они были подготовлены достижениями в области самолетного приборостроения, в том числе разработкой НИИ-17 панорамной РЛС «Кобальт» для бортового комплекса прицельного оборудования «Рубидий» бомбардировщика Ту-4 (1949).

Интенсивные исследования по совершенствованию радиолокаторов ДЗЗ, выполненные в 1958-1961 гг. практически одновременно в СССР (ВВИА им. проф. Н.Е.Жуковского) и в США (Мичиганский технологический университет), привели к созданию принципиально новых средств радиолокационного наблюдения – когерентных радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны (РСА), способных решать задачи радиовидения с пространственным разрешением в единицы и доли метра.

Первый космический эксперимент построения изображений поверхности Земли с использованием РСА в L диапазоне частот («Seasat-A») был произведен в США в 1978 году. Результаты этого эксперимента показали высокие информационные возможности этих систем при наблюдении различных природных явлений.

В СССР эпоха космической радиолокации наземных и надводных объектов открылась в 1971 году запуском космического аппарата (КА) «Космос-402» с бортовым радиолокационным комплексом (БРЛК) разведки и целеуказания (МКРЦ). Система успешно функционировала (28 запусков) до 1988 года. Другое направление развития отечественной космической радиолокации связано с использованием радиолокаторов бокового обзора (РБО),

начавшись запуском космического аппарата (КА) «Космос-1500» в 1983 году. РБО имеют на порядок меньшую разрешающую способность, чем РСА, но отличаются более высокой радиометрической точностью и полосой обзора. КА этой серии используются вплоть до наших дней («Космос-1500», «Океан», «Метеор М», украинские КА серии «Сич»). Третье направление отечественной космической радиолокации, связанное с системами детальной радиолокационной разведки на базе радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны, столкнулось с рядом сложностей. В 1966 году в МНИИП (ОАО «Концерн «Вега») была начата разработка орбитальной пилотируемой станции (ОПС) «Алмаз-А» с РСА «Меч-А». К 1978 г. летный комплект ОПС «Алмаз-А» был готов к запуску (ранее американского «Seasat-A»). Запуск был отменен. Была задана разработка РСА «Меч-К» для автоматического КА «Алмаз-Т», который был готов к запуску в 1982 году. Но запуск удалось реализовать лишь в 1987 году, разместив РСА «Меч-К» на спутнике «Космос-1870». Успешная эксплуатация продолжалась 1987-1989 годах. Усовершенствованный вариант РСА «Меч-КУ» с улучшенными характеристиками был успешно реализован в составе КА «Алмаз-1» в 1991-1992 гг. С 1990 годов в МНИИП (ОАО «Концерн «Вега») созданы бортовые радиолокационные комплексы: ЭКОР-В для КА «Алмаз-1В», Спинар-1 ДМ для КА «Аркон-2».

Исторически реализацию и освоение космических радиолокаторов с РСА можно охарактеризовать 4-я этапами.

Первый этап – исследовательский, включающий запуск американских РСА Seasat-A (1978), SIR-A (1981), SIR-B (1982), отечественных РСА «Меч-К» и «Меч-КУ» КА «Космос-1870» (1987-1989 гг.) и «Алмаз-1» (1991-1992 гг.), поляриметрического РСА SIR-C/X-SAR (1994) совместной разработки США и Германии. На этом этапе был накоплен большой экспериментальный материал, отработаны методы решения задач военной разведки, разработаны методики, а также программные пакеты для обработки и интерпретации получаемых радиолокационных изображений (РЛИ).

Второй этап – уточнение методик тематической обработки радиолокационных снимков и их применение для решения практических задач ДЗЗ в разных сферах деятельности. С этой целью используется информация с европейских КА ERS-1 (1991-2000), ERS-2 (с 1995 – по настоящее время), канадского Radarsat-1 (с 1995), японского JERS-1 (1992-1998), военных спутников США Lacrosse (запуски в 1988, 1991, 1997, 2000, 2005).

Третий этап – характеризуется резким скачком в технологии радиолокационной съемки, включает запуск в 2000 г. интерферометрического РСА с жесткой базой со съемкой 80% земной суши для построения карт рельефа местности, эксплуатацию полнополяриметрических РСА Envisat-1 и PALSAR и широкое коммерческое использование космической радиолокационной информации, в том числе для частных потребителей.

Четвертый этап – характеризуется информационным взрывом в области космических радаров, который произошел в 2007 году, когда Германия, Италия, Китай, Япония и Канада вывели на орбиты 9 спутников с бортовыми радарными.

Современные технологии позволяют создавать спутниковые радиолокаторы с РСА, способные получать их космоса высокодетальные РЛИ с разрешением в несколько сантиметров. Достигнутая высокая разрешающая способность космических РСА позволяет решать задачу радиовидения, имея преимущества не только во всепогодности, но и в возможности обнаружения и распознавания объектов наблюдения по радиолокационным контрастам, селекции движущихся наземных объектов.

Тем не менее, ряд принципиальных задач радиолокации остается не решенным на сегодняшний день. Такие задачи как обнаружение, сопровождение и оценка параметров воздушных целей являются непосильными для современных бортовых радиолокационных комплексов с РСА. Специалистами МарГУ и РТИ Минца ведутся совместные разработки алгоритмов и программного обеспечения для БРЛК воздушного и космического базирования для обеспечения различных режимов работы БРЛК с РСА. Сотрудничество началось в

2013 году в рамках выполнения ОКР «Смальта» и продолжается в настоящее время в рамках выполнения НИОКР «Элик».

В данной публикации представим некоторые результаты в области разработки алгоритмов и программного обеспечения для моделирования процесса формирования РЛИ в различных режимах работы БРЛК с РСА:

- 1) результаты формирования 2D РЛИ в X, C и P диапазонах в маршрутном режиме РСА;
- 2) результаты формирования 3D РЛИ в интерферометрическом режиме РСА;
- 3) результаты формирования 2D РЛИ в поляризованном режиме РСА;
- 4) результаты обнаружения движущихся целей в интерференционном режиме РСА.

2. Алгоритмы формирования радиоголограмм. Принцип действия радиолокатора с РСА представлен рисунке 1.

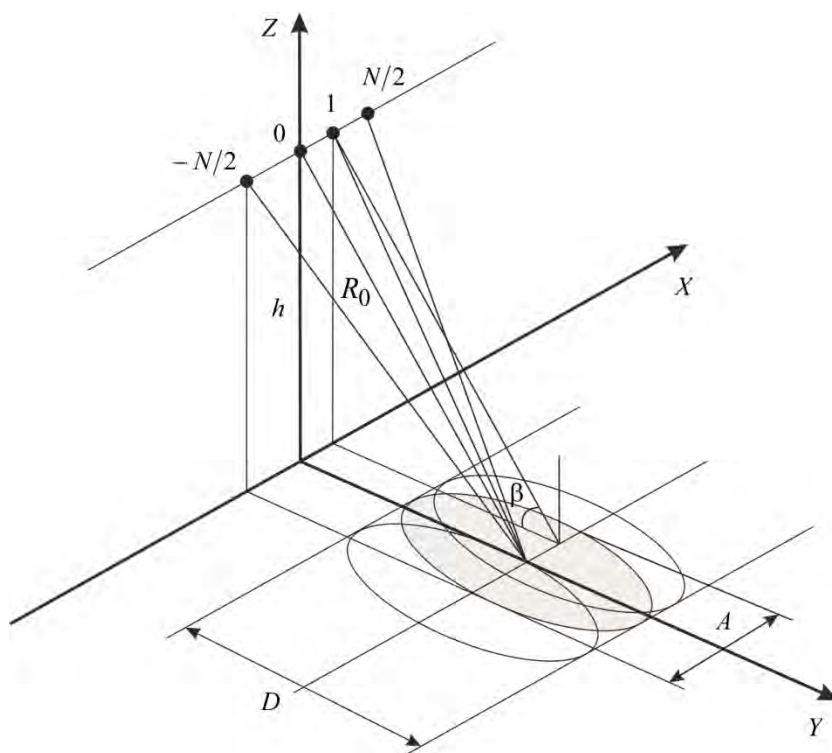


Рис. 1. Принцип действия РСА.

Антенна, установленная на летательном аппарате (ЛА), в соответствии со своей диаграммой направленности (ДНА) высвечивает на поверхности земли радиолокационное пятно, форма которого зависит от диаграммы направленности антенны. Размер этого пятна в направлении движения аппарата, или в азимутальном направлении, обозначим A . Размер в ортогональном направлении, или в направлении горизонтальной дальности от аппарата, – D .

Пусть точечная цель

облучается последовательностью радиоимпульсов в моменты времени

$$t_{-N/2}, \dots, t_{-1}, t_0, t_{-}, t_0, \dots, t_{N/2}.$$

В момент времени $t_{-N/2}$ приходит первый, отраженный от цели импульс, в $t_{N/2}$ последний. В течение этого времени антенна перемещается в пространстве на расстояние $L_s = A$, которое называют длиной синтезированной апертуры.

Каждый k -й отражённый радиоимпульс в этой пачке получает задержку $\tau_k = 2R_k/c$, фазовый сдвиг несущего колебания $\varphi_k = 4\pi R_k/\lambda$ и некоторый амплитудный коэффициент, модулированный диаграммой направленности антенны (ДНА) G_k , зависящие от момента излучения импульса t_k :

$$u_k(t) = \text{Re}[G_k U_M(t - \tau_k) \exp[i(\omega_0 t - \varphi_k)]] \quad (1)$$

Множество полученных таким образом отраженных сигналов удобно изображать в виде матрицы размером $N \times M$, которую принято называть радиоголограммой, где $N = A/r_a$ – размер радиолокационного пятна по азимуту в дискретах r_a , $M = D/r_d$ – размер радиолокационного пятна по наклонной дальности в дискретах r_d .

Как видно из рисунка 1, каждая строка матрицы содержит информацию обо всей полосе изображения. Строго говоря, с помощью радиоголограммы размером $N \times M$ можно получить лишь один столбец изображения с требуемым разрешением $\Delta x \ll A$.

Разрешающая способность РСА по наклонной дальности зависит от типа зондирующего сигнала и определяется эффективной полосой частот сигнала, т. е. $\Delta r = \frac{c}{2\Delta f}$.

Разрешение поперек линии пути связано с разрешением станции по наклонной дальности и углом наблюдения:

$$\Delta y = \frac{\Delta r}{\cos \beta}, \quad (2)$$

где Δr – разрешение по наклонной дальности, β – угол скольжения, отсчитываемый от горизонтальной плоскости.

Линейное разрешение по путевой дальности определяется длиной синтезированной антенны и наклонной дальностью:

$$\Delta x = \frac{\lambda R}{2L_s}. \quad (3)$$

Величина предельного разрешения ограничена только горизонтальным размером антенны D_x и равна:

$$\Delta x_{\min} = \frac{\lambda R}{2L_s} = \frac{D_x}{2}. \quad (4)$$

В РСА «невысокого» разрешения достаточно проанализировать квадратичную аппроксимацию $R(t)$ в окрестности точки траверса цели $t_{\text{ТР}} = t_0$:

$$R(t) = \sqrt{R(t_{\text{ТР}})^2 + (V(t - t_{\text{ТР}}))^2} \approx R(t_{\text{ТР}}) + \frac{V^2}{2R(t_{\text{ТР}})}(t - t_{\text{ТР}})^2. \quad (5)$$

Таким образом, комплексная огибающая пачки отражённых импульсов определяется ДНА и квадратичным фазовым набегом, который эквивалентен линейной частотной модуляции пачки импульсов, так как:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \varphi(t) \approx \frac{2V^2}{\lambda R(t_{\text{ТР}})}(t - t_{\text{ТР}}). \quad (6)$$

Частотную модуляцию пачки отражённых импульсов можно объяснить эффектом Доплера, возникающим вследствие движения летательного аппарата. Данная линейная частотная модуляция огибающей пачки отражённых импульсов имеет полосу частот $\Delta f_{\text{огиб}} = 2VL_s/\lambda R$.

Максимальное квадратичное смещение отражённых импульсов по оси задержки, носит название эффекта миграции дальности. В САР «невысокого» разрешения данное смещение, как правило, меньше разрешающей способности РСА по задержке $\Delta \tau$.

Комплексная огибающая пачки импульсов не что иное, как дискретное представление ЛЧМ импульса. Воспользовавшись этим фактом можно сжать этот сигнал вдоль оси X до величины:

$$\Delta x = \frac{V}{\Delta f_{\text{огиб}}} = \frac{\lambda R}{2L_s}, \quad (7)$$

воспользовавшись, например, согласованным с этим сигналом фильтром.

Т. е. азимутальное разрешение РСА не зависит от расстояния до цели, длины волны, скорости полёта и т.п., и определяется только длиной азимутального раскрытия антенны, причём, чем он меньше, тем выше разрешающая способность РСА. Чем меньше апертура реальной антенны, тем больше L_s , тем больше отношение длины синтезированной антенны к длине волны, которое можно сделать сколь угодно большим. Таким образом, особенность

РСА в необходимости совместной когерентной обработки пачки отражённых импульсов длиной $N = L_s / \Delta x$.

В интересных для практики случаях получение строгого решения задачи отражение от шероховатой поверхности наталкивается на серьезные математические трудности. Это связано со сложностью рельефа поверхности с произвольными радиусами кривизны ее участков, кроме того, поверхность может быть неоднородной. Вследствие этого к определению характеристик отражения от поверхностей с произвольной шероховатостью подходят следующим образом: экспериментальным путем находят характеристики отражения при каких-то определенных условиях (при нескольких углах визирования, длинах волн и т.п.), после чего синтезируют модель поверхности, подбирая искусственно такую ее структуру, что бы с одной стороны, расчет отраженного от нее поля был сравнительно прост, а с другой стороны, рассчитанные характеристики были близки к полученным экспериментально. Такая модель называется феноменологической и обычно сводятся к модели независимых отражателей, частным случаем которой является модель в виде совокупностей facets.

Для моделирования отражения сигнала от поверхности была использована facetная модель поверхности, представляющая поверхность в виде совокупности элементарных отражающих элементов, представляющих собой пластины конечных размеров, совпадающие с поверхностью крупномасштабных неровностей (рисунок 2).

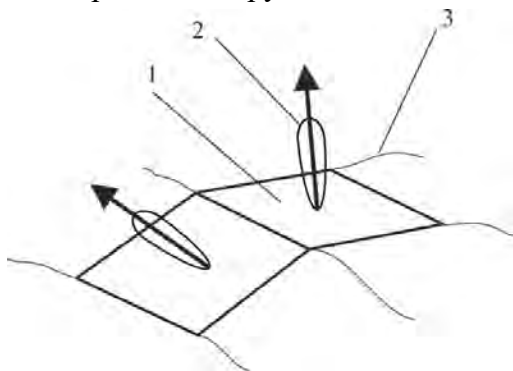


Рис. 2. Facетная модель радиолокационного отражения земной поверхностью (максимальный вклад в отраженный сигнал дает facet, перпендикулярный к направлению облучения):

1 – facet; 2 – локальная диаграмма обратного рассеяния; 3 – поверхность.

Физическим обоснованием такой модели является принцип Гюйгенса-Кирхгофа, в соответствии с которым каждая точка поверхности, облучаемая электромагнитной волной, является источником вторичной сферической волны. Наиболее целесообразно использование facetной модели для поверхности с разномасштабными неровностями. При разбиении поверхности на facets (отражатели) необходимо выполнение следующих условий:

- 1) размеры facetа должны быть в несколько раз больше длины волны;
- 2) сигнал, отраженный от одного элементарного facetа, не зависит от сигналов, приходящих от других отражателей;
- 3) радиус кривизны средней поверхности facetа много больше размеров facetа, т.е. средний уровень facetа практически плоский;
- 4) число facetов, образующих отражающую поверхность должно быть велико, а их отражающие свойства примерно одинаковы.

Отраженный сигнал от поверхности представляет собой сумму сигналов от всех облучаемых facetов. Причем каждый парциальный сигнал имеет свою амплитуду, определяемую ориентацией локальной диаграммы обратного рассеяния (ДОР), и свою случайную фазу.

Фаза сигнала, отраженного от k -го элементарного отражателя (facetа), представляется в виде:

$$\varphi_k = \varphi_k^{(рег)} + \varphi_k^{(случ)}, \quad (8)$$

где $\varphi_k^{(рег)} = \omega \tau_k = (4\pi/\lambda)R_k$ – регулярный фазовый сдвиг за счет времени распространения волны от k -го элементарного отражателя (facetа) и обратно; h_k – ордината facetа относительно среднего уровня поверхности; $\varphi_k^{(случ)}$ – случайный фазовый сдвиг, вызванный отра-

жение от facets и неоднородностями на трассе распространения (тропосфера, ионосфера и т.д.) Обычно считают, что $\varphi_k^{(\text{случ})}$ имеет равномерный закон распределения от 0 до 2π .

Сигнал на входе приемной антенны РЛС представляет собой сумму парциальных сигналов, отраженных от всех facets в облучаемой области:

$$u(t) = \operatorname{Re} \sum_{k=1}^N A_k U_M(t - \tau_k) \exp[i(\omega_0 t - \varphi_k)], \quad (9)$$

где A_k – амплитуда сигнала; $\tau_k = 2R_k/c$ – задержка сигнала, отраженного от k -го facets; $U_M(t)$ – закон модуляции зондирующего сигнала; ω_0 – циклическая частота несущего колебания.

Амплитуда сигнала, отраженного от facets, зависит как от расстояния до facets, так и от взаимной ориентации ДНА и ДОР и определяется:

$$A_k = \sqrt{\frac{2P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} \lambda^2 \eta_a L_{\text{п}}}{(4\pi)^3 R_k^4}} g_{\text{прд}}(\theta_k, \alpha_k) g_{\text{прм}}(\theta_k, \alpha_k) \sigma_k^0 S_k, \quad (10)$$

где $P_{\text{прд}}$ – мощность передатчика; $G_{\text{прд}}$, $G_{\text{прм}}$ – коэффициенты усиления по мощности соответственно передающей и приемной антенн; $g_{\text{прд}}(\theta_k, \alpha_k)$, $g_{\text{прм}}(\theta_k, \alpha_k)$ – нормальные диаграммы направленности по мощности соответственно передающей и приемной антенн ($g(0,0)=1$); η_a – коэффициент полезного действия антенно-фидерной системы на передачу и прием; $L_{\text{п}}$ – коэффициент потерь в СВЧ трактах и на распространение; R_k – расстояние от фазового центра антенны до k -го отражателя; σ_k^0 – удельная ЭПР k -го отражателя; S_k – площадь k -го отражателя.

Большинство тестовых моделей объектов в базах данных, таких как Princeton Benchmark, представляют собой наборы треугольников, причем, треугольники, лежащие на одной плоскости, объединены в один с целью уменьшения количества вершин.

Для моделирования работы РЛС с заданной разрешающей способностью по азимуту и наклонной дальности поверхность объекта должна быть представлена набором отражающих участков (facets) одинаковой площади, равномерно распределенных по поверхности. При этом размеры facets должны быть меньше параметров разрешающей способности РЛС.

Для того чтобы преобразовать триангулированную модель в модель с заданной плотностью равномерно распределенных по поверхности facets одинаковой площади применим алгоритм равномерного заполнения модели случайными точками.

Дана триангулированная поверхность, заданная набором треугольников $\{T_1, T_2, \dots, T_M\}$. Зададимся плотностью точек на квадратный метр $1/\Delta S$, где ΔS – площадь facets, тогда количество facets N_m для заполнения треугольника m -го треугольника будет определяться следующим образом:

$$N_m = \lfloor S_m / \Delta S \rfloor, \quad (11)$$

где S_m – площадь m -го треугольника; $\lfloor x \rfloor$ – целая часть числа x .

Таким образом, каждый m -й треугольник заполняется N_m точками, с заданной плотностью заполнения площади треугольника, которые будут являться геометрическими центрами facets.

Алгоритм заполнения m -го треугольника заданным количеством точек (N_m), распределенных по площади треугольника по псевдослучайному закону, состоит в следующем:

1. При инициализации треугольника создается ряд опорных точек соответствующих серединам граней и вершинам треугольника (рисунок 3, слева).

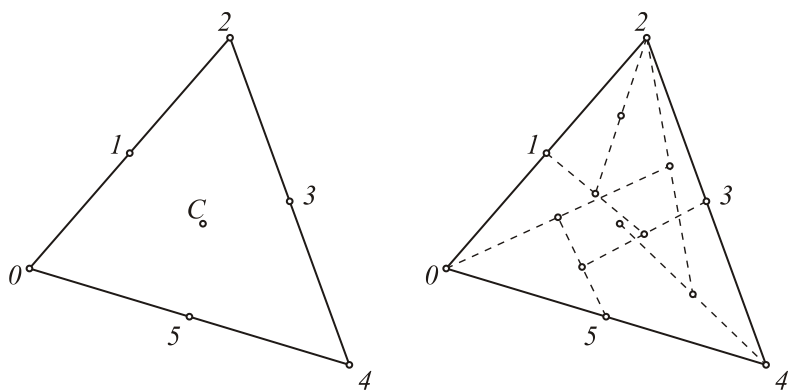


Рис. 3. Иллюстрация алгоритма: рисунок слева – опорные точки и середина треугольника; рисунок справа – опорные и псевдослучайные точки.

2. В качестве начальной точки, выбирается точка в центре масс треугольника. Каждая последующая точка определяется как середина отрезка между предыдущей и случайно выбранной опорной точкой

(рисунок 3, справа). На рисунке 4 представлены результаты работы данного алгоритма.

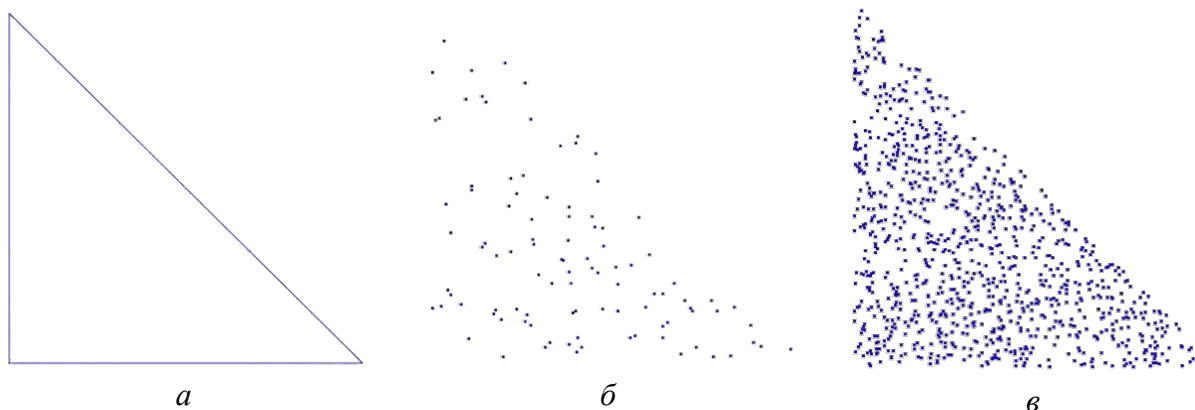


Рис. 4. Результаты работы алгоритма:

а) триангулированная модель; б) набор точек при $N = 100$; в) набор точек при $N = 1000$.

Таким образом, при большом значении N , поверхность (рисунок 4, а) представляется облаком точек с равномерным распределением (рисунок 4, б-в).

Мощность отраженного сигнала на входе приемника РЛС зависит от целого ряда факторов и, прежде всего, от отражающих свойств поверхности, характеризуемой эффективной площадью рассеяния (ЭПР).

Отражающую способность подстилающей поверхности характеризуют коэффициентом рассеяния, который представляет собой удельную эффективную площадь рассеяния (УЭПР) – отношение ЭПР элемента разрешения на местности к значению его геометрической площади:

$$\sigma^0 = \frac{\sigma}{S}, \tag{12}$$

где σ – значение ЭПР элемента разрешения, S – площадь поверхности элемента разрешения.

Обычно УЭПР выражают в децибелах:

$$\sigma^0 = 10 \cdot \lg \sigma^0. \tag{13}$$

Информация на выходе РСА может характеризовать мощность отраженного сигнала в каждом элементе (пикселе) выходного изображения, а также действительную и мнимую составляющие принятого комплексного сигнала (или вычисление значений амплитуды и фазы). При поляризметрических измерениях по комплексному сигналу имеется возможность оценить разность фаз между сигналами согласованной и ортогональной поляризаций или вычислить полную поляризационную матрицу (матрицу Стокса), которая описывает преобразование амплитуды, фазы и поляризации волны:

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} \sqrt{\sigma_{HH}} \cdot e^{i\varphi_{HH}} & \sqrt{\sigma_{HV}} \cdot e^{i\varphi_{HV}} \\ \sqrt{\sigma_{VH}} \cdot e^{i\varphi_{VH}} & \sqrt{\sigma_{VV}} \cdot e^{i\varphi_{VV}} \end{pmatrix}, \tag{14}$$

где $\sqrt{\sigma}$ – элемент матрица рассеяния, характеризующий амплитуду отраженного сигнала, φ – соответствующая фаза.

Мощность сигнала, попадающего в приемную антенну РЛС для данного типа подстилающей поверхности, зависит от поляризации излучения и от взаимного направления поляризации при излучении и приеме. Если поляризации излучения и приема совпадают, то для большинства поверхностей (пашня, местность, покрытая растительностью) уровни отраженного сигнала для горизонтальной и вертикальной поляризации близки. Исключения составляют гладкие поверхности (бетон, асфальт, гравий, спокойная водная поверхность). Для них отраженный сигнал при горизонтальной поляризации меньше, чем при вертикальной (до 16 дБ при малых углах скольжения).

Влияние поляризации сказывается на подчеркивании контрастов объектов, протяженных по длине в направлении, совпадающем с направлением поляризации. Так, при вертикальной поляризации подчеркиваются контрасты объектов, протяженных по высоте, опоры линий электропередач, деревья (особенно ель), морские волны и т.д. При горизонтальной поляризации могут дать интенсивный сигнал провода линий электропередач или железнодорожные рельсы при соответствующем ракурсе, деревья с вытянутой горизонтальной кроной. В частности это явление позволяет на радиолокационных снимках различать лиственные и хвойные породы леса.

В общем случае коэффициент рассеяния земной и водной поверхности при вертикальной поляризации выше, чем при горизонтальной и перекрестной. Особенно сильно это различие проявляется при малых углах наклона и при гладких поверхностях.

Кроме работы на одной поляризации, горизонтальной или вертикальной, в современных РСА используют работу с двумя или четырьмя поляризациями. В режиме двух поляризаций излучают одну (вертикальную или горизонтальную), а принимают одновременно две поляризации – совпадающую и ортогональную (кросс-поляризацию). В режиме четырех поляризаций (полностью поляриметрический режим) в процессе обзора, разделяя по времени, излучают то вертикальную, то горизонтальную поляризации, каждый раз с приемом обеих поляризаций. Обычно разделение по времени реализуют работой на удвоенной частоте повторения с чередованием поляризаций через период или же путем покадровой работы и чередованием пачек зондирований с длительностями, равными времени синтеза апертуры.

При работе с различными поляризациями информативными признаками являются отношения ЭПР в поляризационных каналах (например, σ_{HV}^0/σ_H^0 или σ_H^0/σ_V^0), отношение ЭПР поляризационной составляющей к усредненной ЭПР $\sigma_{ср}^0 = (\sigma_H^0 + \sigma_V^0 + 2\sigma_{HV}^0)/4$ или же разность фаз между вертикальной и горизонтальной поляризациями или согласованной и кросс поляризациями.

В интересных для практики случаях строгое решение задачи отражения от неровных поверхностей сталкивается с серьезными математическими трудностями. Поэтому обычно экспериментальным путем определяют характеристики отражения при каких-либо определенных условиях, после чего получают эмпирическую модель поверхности, так, чтобы расчет отраженного от нее поля был сравнительно прост, а с рассчитанные характеристики отражения были близки к полученным экспериментально.

При отражении от земной поверхности величина УЭПР имеет большой диапазон изменений и зависит от типа поверхности и от угла, под которым происходит зондирование. Обычно на графике зависимости УЭПР от угла зондирования можно выделить три основных области (рисунок 5).

При углах зондирования близким к вертикали для большинства поверхностей отражение будет близким к зеркальному и будет наблюдаться наибольшие значения УЭПР. При углах зондирования близких к горизонтали отражение будет очень малым. При промежуточных значениях угла скольжения УЭПР, выраженная в дБ изменяется с ростом угла скольжения по закону, близкому к линейному.

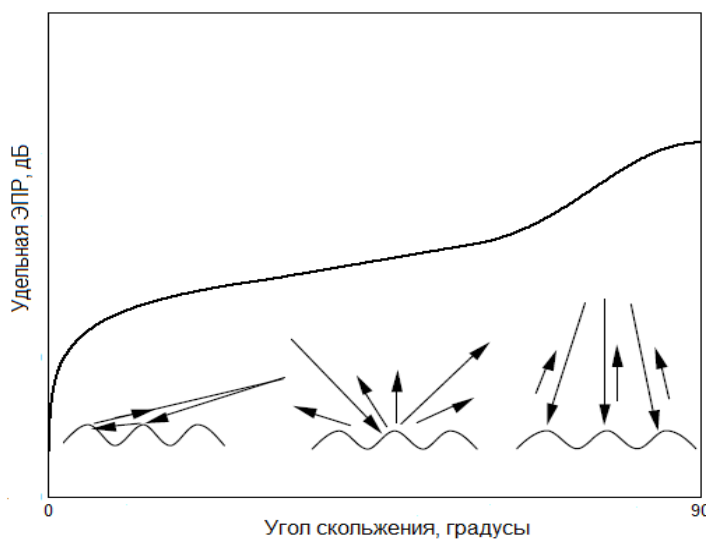


Рис. 5. Зависимости УЭПР от угла зондирования.

Дюбуа с соавторами предложили полуэмпирический подход для моделирования σ_{HH}^0 и σ_{VV}^0 коэффициентов обратного рассеяния однородной поверхности без растительности, используя данные скаттерометра. Удельная эффективная поверхность рассеяния такой поверхности для горизонтальной и вертикальной поляризации описывается выражениями:

$$\sigma_{HH}^0 = 10^{-2.75} \left(\frac{\cos^{1.5} \theta}{\sin^5 \theta} \right) 10^{0.028 \varepsilon_r \tan \theta} (k \cdot h_{rms} \cdot \sin \theta)^{1.4} \lambda^{0.7}, \quad (16)$$

$$\sigma_{VV}^0 = 10^{-2.35} \left(\frac{\cos^3 \theta}{\sin^3 \theta} \right) 10^{0.046 \varepsilon_r \tan \theta} (k \cdot h_{rms} \cdot \sin \theta)^{1.1} \lambda^{0.7}, \quad (17)$$

где θ – угол падения, ε_r – диэлектрическая постоянная, h_{rms} – среднеквадратическое отклонение высоты поверхности, $\lambda = 2\pi/k$ – длину волны (в см).

Алгоритм оптимизирован для почв без растительности при значении параметров: $k \cdot h_{rms} \leq 2.5$, $mv \leq 35\%$ и $\theta = 30^\circ \dots 65^\circ$.

Ох с соавторами разработали полуэмпирическую модель обратного рассеяния на основе теоретических моделей, измерений рефлектометров и снимков РСА. Модель устанавливает связь для отношения с ортогональной поляризацией $p = \sigma_{HH}^0 / \sigma_{VV}^0$ и отношения с кросс-поляризацией $q = \sigma_{HV}^0 / \sigma_{VH}^0$ от угла падения (θ), волнового числа (k), среднеквадратического отклонения высоты поверхности (h_{rms}), диэлектрической постоянной (ε_r) и объемной влажности почвы (mv). Первоначальная версия модели Ох(а) имела вид:

$$p = \sigma_{HH}^0 / \sigma_{VV}^0 = \left[1 - \left(\frac{\theta}{90^\circ} \right)^{1/3 \Gamma_0} e^{-k \cdot h_{rms}} \right]^2, \quad (18)$$

$$q = \sigma_{HV}^0 / \sigma_{VH}^0 = 0.23 \sqrt{\Gamma_0} \left(1 - e^{-k \cdot h_{rms}} \right), \quad (19)$$

где

$$\Gamma_0 = \left| \frac{1 - \sqrt{\varepsilon_0}}{1 + \sqrt{\varepsilon_0}} \right|^2. \quad (20)$$

Для $q = \sigma_{HV}^0 / \sigma_{VH}^0$ было получено новое выражение, включающее зависимость от угла падения:

$$q = \sigma_{HV}^0 / \sigma_{VH}^0 = 0.25 \sqrt{\Gamma_0} \left(0.1 + \sin^{0.9} \theta \right) \cdot \left(1 - e^{-[1.4 - 1.6 \Gamma_0] k \cdot h_{rms}} \right), \quad (21)$$

В последующих работах выражения для p и q вновь были изменены и было предложено выражение для кросс-поляризованного коэффициента обратного рассеяния:

$$p = \sigma_{HH}^0 / \sigma_{VV}^0 = 1 - \left(\frac{\theta}{90^\circ} \right)^{0.35 \cdot m \nu^{-0.65}} e^{-0.4(k \cdot h_{rms})^{1.4}}, \quad (22)$$

$$q = \sigma_{HV}^0 / \sigma_{VH}^0 = 0.095(0.13 + \sin 1.5\theta)^{1.4} \left(1 - e^{-1.3(k \cdot h_{rms})^{0.9}} \right), \quad (23)$$

$$\sigma_{HV}^0 = 0.11 m \nu^{0.7} \cos^{2.2} \theta \left(1 - e^{-0.32(k \cdot h_{rms})^{1.8}} \right). \quad (24)$$

Алгоритм для вычисления σ_{HV}^0 оптимизирован для голой земли при значении параметров: $0.1 \leq k \cdot h_{rms} \leq 2.5$, $9\% \leq m \nu \leq 31\%$ и $10 \leq \theta \leq 70^\circ$.

Отражательная способность большинства поверхностей уменьшается с увеличением длины волны РЛС (пропорционально λ^a , где a зависит от характера поверхности).

Кроме того программный комплекс моделирования процесса формирования радиоголограмм содержит также: модуль имитации прохождения сигналов через среду распространения, модуль выбора типа зондирующего сигнала, модуль имитации режимов съемки и нестабильности полета носителя, модуль имитации учета информации от системы микронавигации, модуль имитации приема сигналов и первичной обработки сигналов.

3. Алгоритмы и результаты формирования радиолокационных изображений. Для формирования РЛИ по сформированным радиоголограммам в программном комплексе реализованы следующие алгоритмы: алгоритм прямого формирования 2D РЛИ для однопланформенного режима съемки, алгоритм миграции дальности, алгоритм частотно-временной обработки, алгоритм chirp-масштабируемой обработки, алгоритм слепого восстановления изображений РСА, алгоритм восстановления изображений РСА на основе данных микронавигационной системы, алгоритмы поляризационной обработки сигналов, алгоритмы формирования 3D изображений на основе интерференционной РСА, алгоритмы обнаружения и селекции наземных движущихся целей на основе интерференционной РСА.

4. Результаты формирования РЛИ в различных режимах РСА. На рисунке 6 представлена исходная сцена 3D модели участка земной поверхности «Аэродром Шевлино» с различных ракурсов.

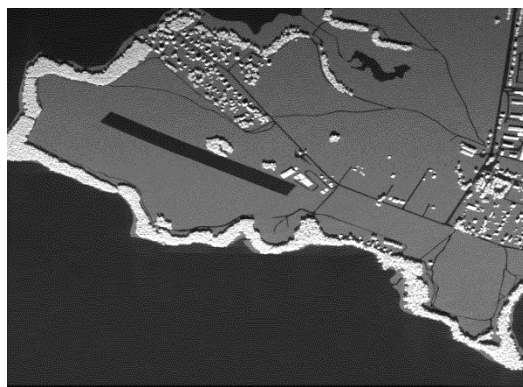


На рис. 7 представлены РЛИ сцены «Аэродром Шевлино» в Х диапазоне при различных видах поляризации (по вертикальной оси откладывается координата дальность, по горизонтальной оси откладывается координата азимут).

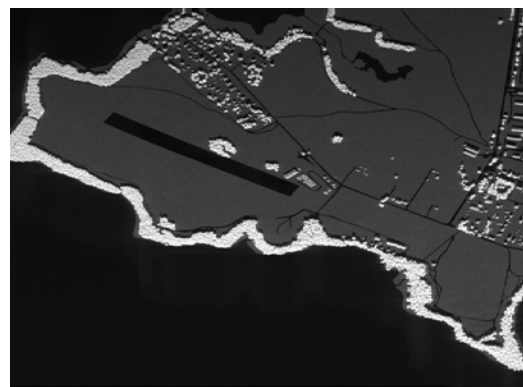
На рис. 8 представлены РЛИ сцены «Аэродром Шевлино» в С диапазоне при различных видах поляризации (по вертикальной оси откладывается координата дальность, по горизонтальной оси откладывается координата азимут).



Рис. 6. 3D модель «Аэродром Шевлино»



VV поляризация



VH+HV поляризация

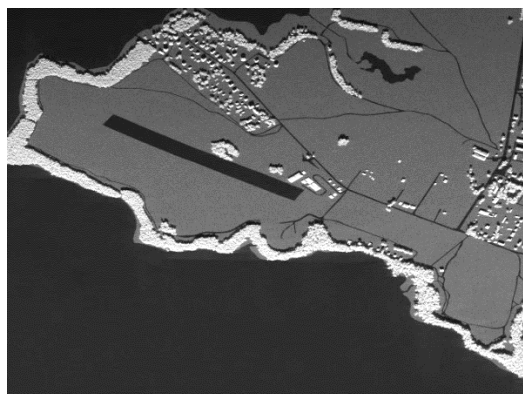


HH поляризация



HH, VH+HV, VV поляризация

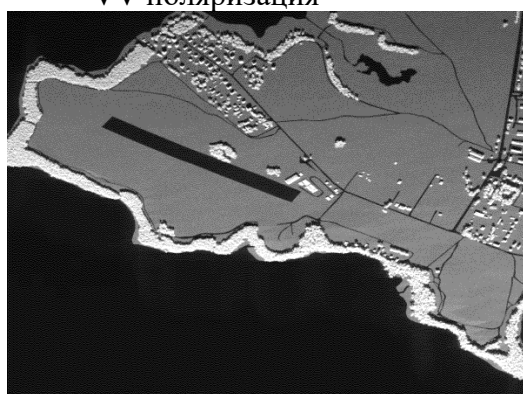
Рис. 7. Радиолокационные изображения сцены «Аэродром Шевлино» в X-диапазоне



VV поляризация



VH+HV поляризация



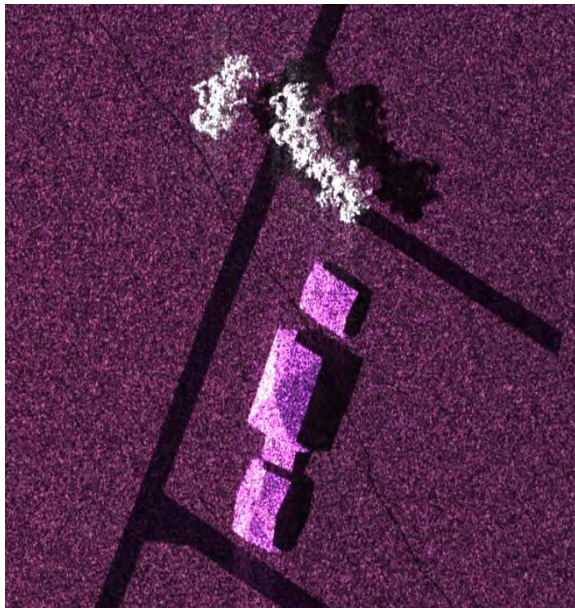
HH поляризация



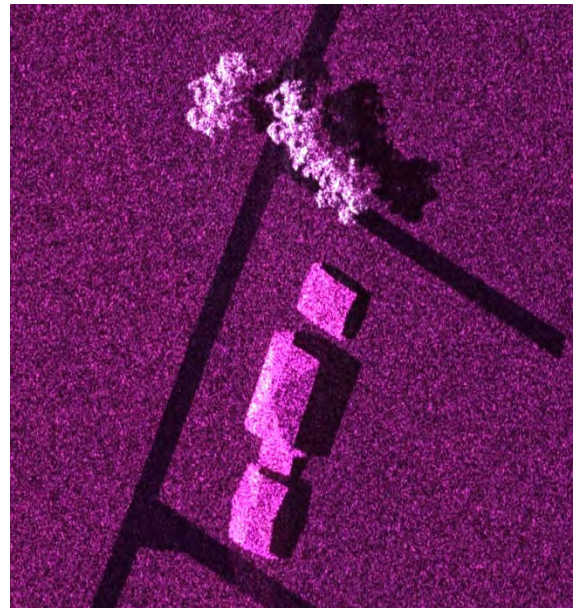
HH, VH+HV, VV поляризация

Рис. 8. Радиолокационные изображения сцены «Аэродром Шевлино» в C-диапазоне

На рис. 9 представлены 2 увеличенных фрагмента изображения поляризационных РЛИ сцены «Аэродрома Шевлино» в Х и С диапазонах.



HH, VH+HV, VV поляризация X диапазон



HH, VH+HV, VV поляризация С диапазон

Рис. 9. Фрагменты РЛИ сцены «Аэродром Шевлино» в Х и С-диапазонах

Результаты моделирования в Р диапазоне и сравнение построенных радиолокационных изображений с Х диапазоном представлены на рисунках 10-14.

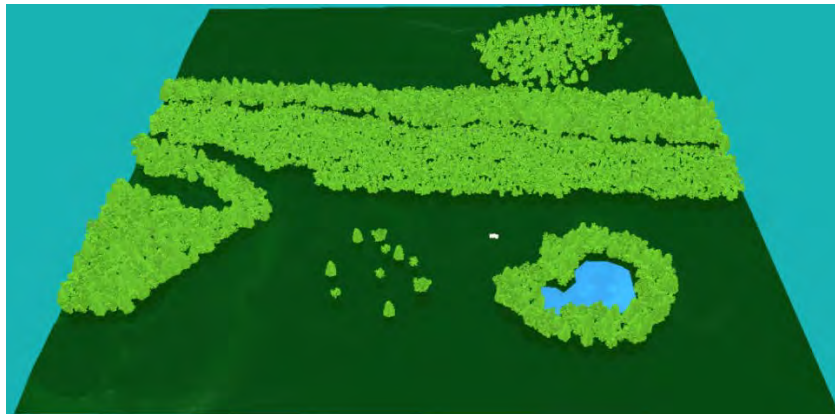


Рис. 10. Моделируемая сцена «Лесная дорога»

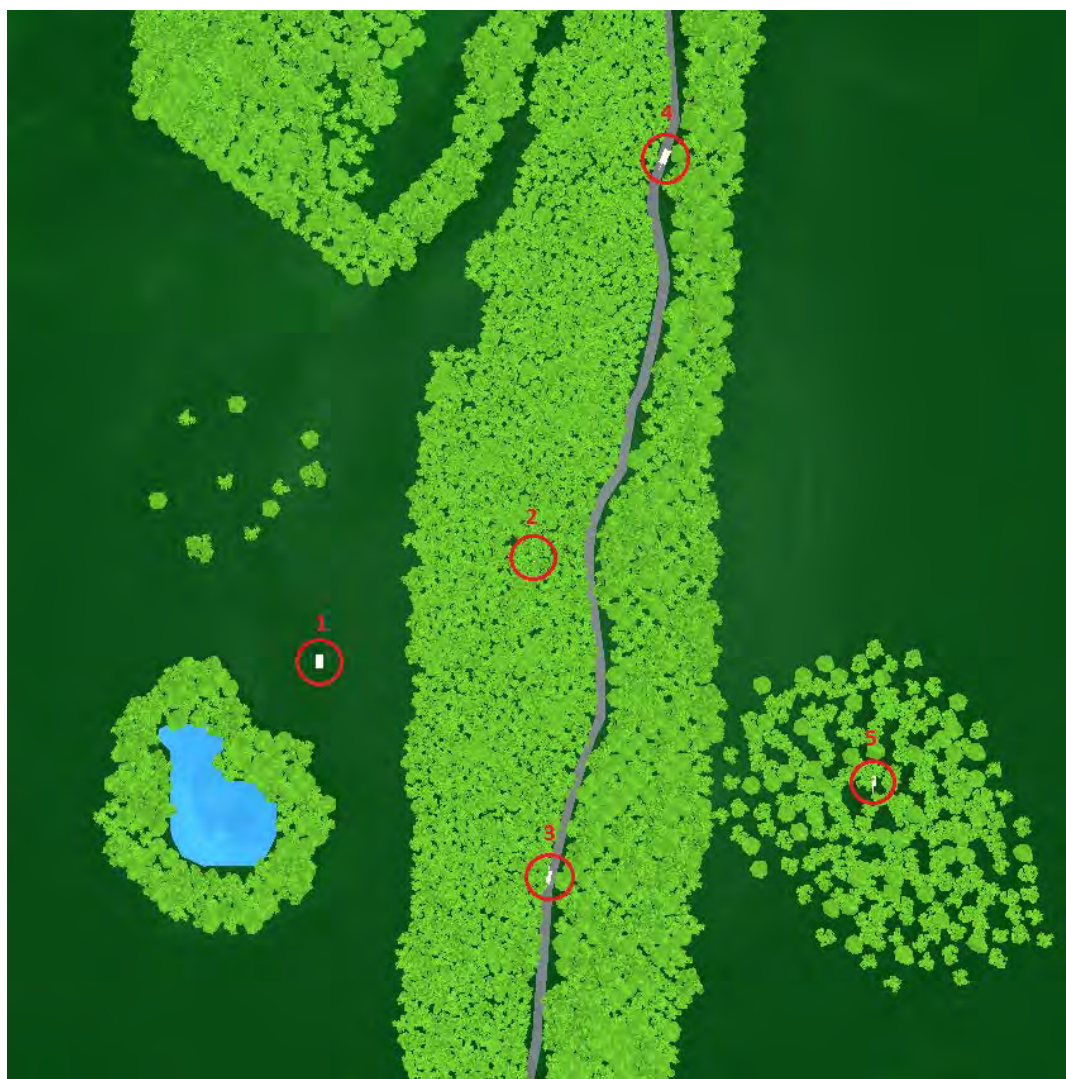
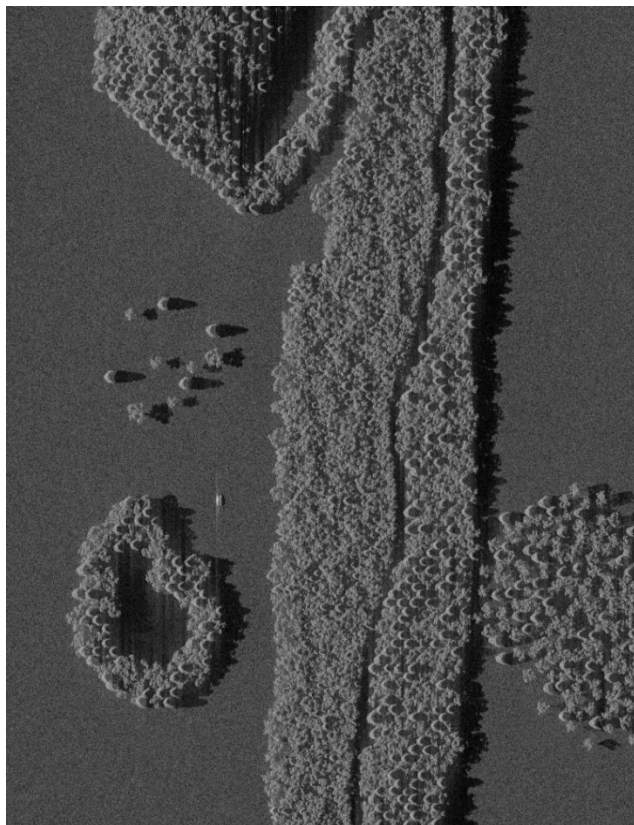


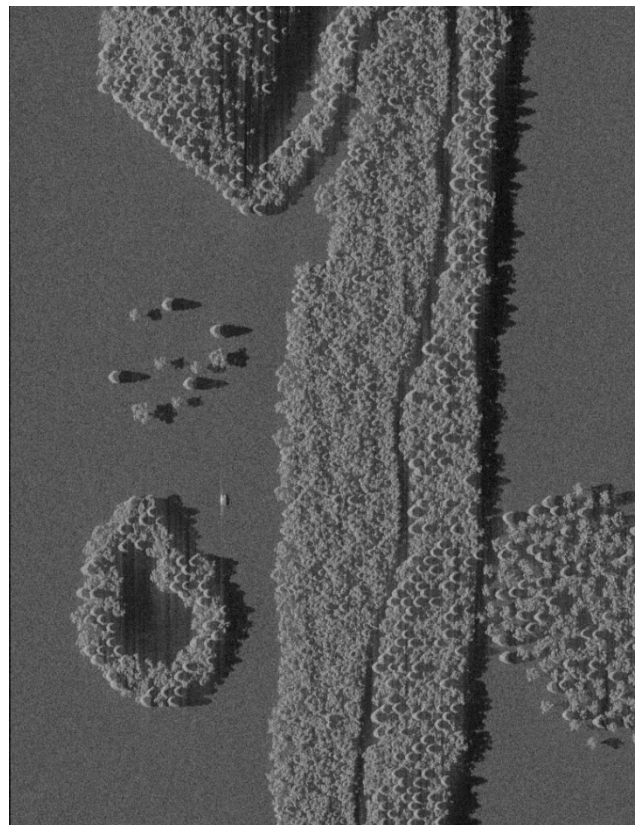
Рис. 11. Расположение объектов в сцене «Лесная дорога»:

1 – танк в поле, 2 – танк в густом лесу, 3 – танк на лесной дороге, 5 – танк в редком лесу

На рис. 10 приводится моделируемая сцена. Размер сцены 500м x 500 м. Перепад высот от 6м до 27 м. На рис. 11 приводятся размещаемые объекты на сцене. На рис. 12 представлены результаты построения РЛИ сцены «Лесная дорога» в X диапазоне. Из рис. 12 следует, что в X диапазоне объекты скрытые в лесу не обнаруживаются. Виден лишь один танк в поле, увеличенный фрагмент РЛИ представлен на рис. 13. На рисунке 14 представлены РЛИ сцены с объектами в R диапазоне (логарифмическая шкала).

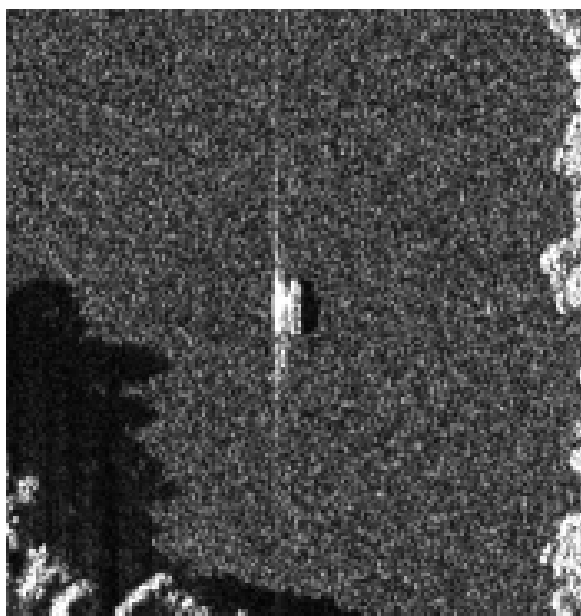


РЛИ, построенное с помощью алгоритма миграции дальности

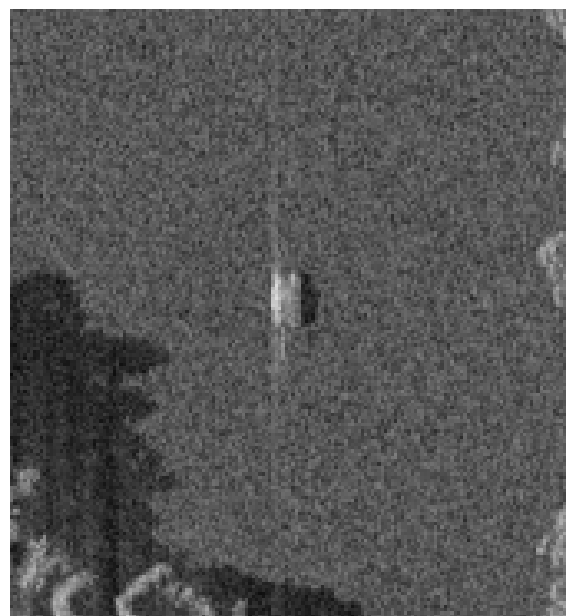


РЛИ, построенное с помощью алгоритма частотно-временной обработки

Рис. 12. РЛИ сцены «Лесная дорога с объектами» в X диапазоне

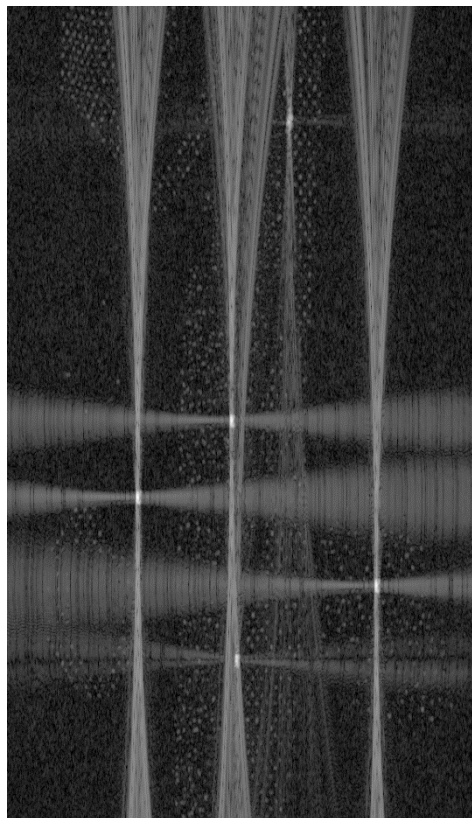


РЛИ (линейная шкала динамического диапазона)

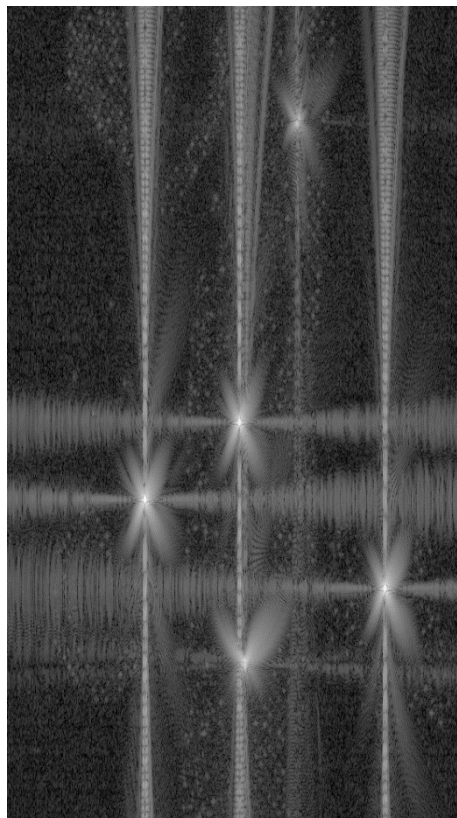


РЛИ (логарифмическая шкала динамического диапазона)

Рис. 13. Фрагмент РЛИ с танком на поле в X диапазоне



РЛИ, построенное с помощью алгоритма миграции дальности



РЛИ, построенное с помощью алгоритма частотно-временной обработки

Рис. 14. РЛИ сцены «Лесная дорога с объектами» в Р диапазоне

Как следует из рис. 14 в Р диапазоне все объекты являются «видимыми» и задача обнаружения скрытых объектов под кронами деревьев может быть решена.

В заключение приведем результаты решения задачи обнаружения подвижных наземных объектов радиолокатором в режиме РСА.

На рис. 15 представлена схема движения автомобилей в заданной сцене. Полет ЛА осуществляется слева направо со скоростью 80 м/с вдоль нижней стороны моделируемой сцены. Скорости объектов в сцене: автомобиль 1 – 5 км/ч, автомобиль 2 – 10 км/ч, автомобиль 3 – 15 км/ч, автомобиль 4 – 25 км/ч, автомобиль 5 – 50 км/ч, автомобиль 6 – 75 км/ч, автомобиль 7 – 100 км/ч.



Рис. 15. Схема движения автомобилей в модели «Аэродром Шевлино»

На рис. 16 представлены результаты обнаружения движущихся объектов (зеленые полосы – треки движущихся объектов на сжатых по дальности голограммам; красным цветом – треки движущихся объектов по радиолокационным изображениям).

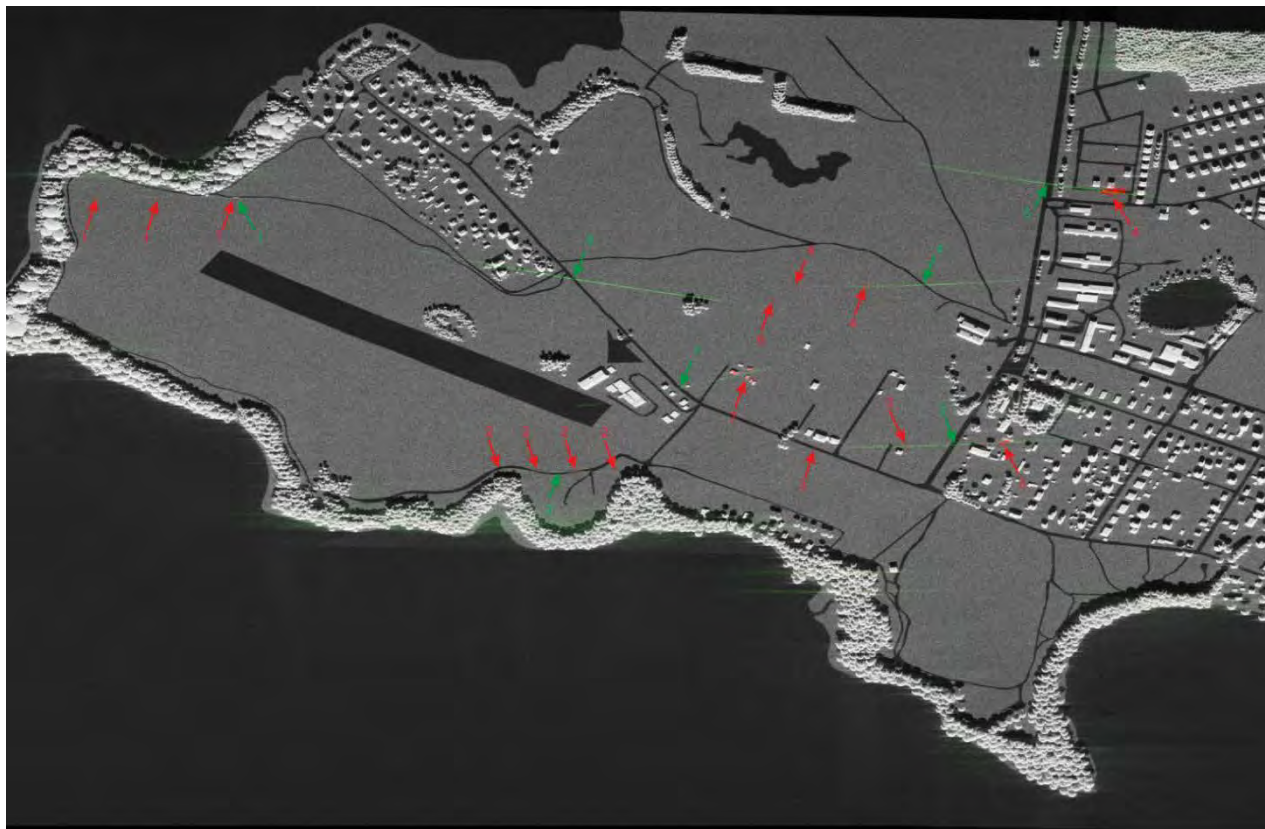


Рис. 16. Результаты обнаружения движущихся объектов

5. Заключение. В данной работе представлены результаты работы научного коллектива ФГБОУ ВО «МарГУ» и ОАО «РТИ им. академика А.Л. Минца» в области разработки алгоритмов и программного обеспечения для моделирования процесса формирования радиолокационных изображений, полученных с помощью бортовых радиолокационных комплексов в режиме синтезированной апертуры антенны. В работу не вошли результаты коллектива, полученные при реализации программного обеспечения для цифровых блоков обработки сигналов на VРХ- платформах и отладочных платах ПЛИС компании Xilinx.

Сопоставление построенные модельных РЛИ с РЛИ, полученных в результатах летных экспериментов, позволяет сделать вывод об адекватности предложенных математических моделей и алгоритмов формирования РЛИ.

Благодарности.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ в рамках научного проекта «15-07-99514, гранта Министерства образования и науки РФ (проект № 2.2226.2017/ПЧ и проект №2.9140.2017/БЧ).

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ПОДГОНКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЗИСТОРОВ

В. Н. Леухин, Е. В. Шабдаров

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»
424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3.
e-mail: leuhinvn@volgatech.net

В статье обобщены данные по исследованию электроискровой подгонки на параметры толсто пленочных подстроечных резисторов: точность подгонки, функциональную характеристику, стабильность величины сопротивления. Даны рекомендации по используемым режимам подгонки. Представлена информация об оригинальных разработках для проведения исследований.

The paper summarizes data on research on thick-film options fitting electrospark trimming resistors: precision fit, functional characterization, stability of resistance. Recommendations on modes of adjustment. Provides information about the original designs for research.

1. Введение. Переменные толсто пленочные резисторы являются специфическими изделиями, которые характеризуются, наряду с известными параметрами, такими как величина номинального сопротивления, отклонение от номинала, ТКС, еще целым рядом параметров: отклонением от функциональной характеристики, начальным скачком сопротивления, шумами скольжения. Данное обстоятельство серьезным образом влияет на повышение процента выхода годных и улучшение технических характеристик резисторов. Одним из возможных путей разрешения этой проблемы может стать корректировка величины сопротивления с использованием метода электроискровой подгонки. При этом на процесс подгонки накладывается ряд ограничений.

1. Корректировка величины сопротивления должна осуществляться без нарушения резистивной пленки.

2. Изменение электропроводности пленки должно быть равномерным по всей длине резистора.

3. Процентное изменение величины сопротивления должно быть достаточно большим, позволяющим, при необходимости, переводить резистор в соседний номинал.

Для реализации этих требований необходимо проведение комплекса исследований, которые могли бы подтвердить принципиальную применимость метода для корректировки величины сопротивления толсто пленочных переменных резисторов. С этой целью совместно с ПО «Контакт» была разработана программа № 29-31/421 по внедрению электроискрового метода подгонки резисторов СПЗ-44а. Программа предусматривала выбор режимов подгонки, осуществление подгонки партий резисторов номиналов 1 кОм, 6,8 кОм, 68 кОм, 150 кОм, 1 МОм и проведение типовых испытаний по регламентирующим документам ОЖО 468.369 ТУ и ГОСТ 24237-84.

2. Цель работы. Определение применимости метода электроискровой подгонки для широкого диапазона номиналов толсто пленочных переменных резисторов. В качестве основных параметров, характеризующих процесс электроискровой подгонки резисторов СПЗ-44а, использовались скорость подгонки, время подгонки, обеспечиваемая точность, величина дрейфа сопротивления.

3. Экспериментальные исследования. Способность изменять сопротивление под воздействием электроискрового разряда зависит от свойств резистивного материала и параметров разряда. Наибольшие трудности возникают при подгонке низкоомных резисторов, в составе паст которых преобладает металлическая фаза. Как показали исследования, проводить подгонку переменных резисторов на номинальное сопротивление менее 1 кОм не целесообразно.

но в виду низкой скорости процесса (менее $1\%c^{-1}$). В связи с этим выбор режимов проводился для резисторов номинала 1 кОм с целью достижения приемлемой скорости подгонки. Как отмечено в работах [1, 2], скорость подгонки с увеличением амплитуды возрастает, поэтому использовалось максимальное для данной установки УЭ-2 [3] напряжение в 3 кВ. Возрастающие длительности пачки импульсов также приводит к увеличению скорости подгонки. Поэтому длительность пачки выбрана максимальной равной 8 мс. Фактически выбор режимов подгонки для номинала 1 кОм свелся к определению приемлемой частоты. Результаты данного исследования представлены в табл.1 и на рис. 1. В таблице приняты следующие обозначения:

R_x – начальное сопротивление резистора;

R_n – сопротивление резистора после подгонки;

t – время подгонки;

V – скорость подгонки. $V = \frac{(R_n - R_x)}{R_x \cdot t} \cdot 100\%$

δ – точность подгонки. $\delta = \frac{R_n - R_0}{R_0} \cdot 100\%$, здесь R_0 – эталонное сопротивление;

F – частота следования импульсов.

Таблица 1.

Влияние частоты следования импульсов на скорость подгонки резисторов
СПЗ-44а номинала 1000 Ом

| R_x , Ом | R_n , Ом | t , с | V , % c^{-1} | δ , % | F , кГц | Примечание |
|------------|------------|---------|------------------|--------------|-----------|------------|
| 901,68 | 999,67 | 41,5 | 0,26 | -0,033 | 0,1 | |
| 667,94 | 999,47 | 63,8 | 0,24 | -0,063 | 0,1 | |
| 916,58 | 999,67 | 33,6 | 0,27 | -0,033 | 0,2 | |
| 876,16 | 999,47 | 35,9 | 0,39 | -0,053 | 0,2 | |
| 826,28 | 999,70 | 46,6 | 0,45 | -0,030 | 0,5 | |
| 831,47 | 999,56 | 43,1 | 0,47 | -0,044 | 0,5 | |
| 861,56 | 999,48 | 35,3 | 0,46 | -0,052 | 1,0 | |
| 841,96 | 999,70 | 47,0 | 0,40 | -0,030 | 1,0 | |
| 873,17 | 999,70 | 28,2 | 0,52 | -0,030 | 2,0 | |
| 870,96 | 1000,5 | 27,4 | 0,54 | 0,050 | 2,0 | |
| 828,16 | 1000,5 | 34,8 | 0,60 | 0,050 | 3,0 | |
| 884,87 | 1000,6 | 18,1 | 0,72 | 0,060 | 3,0 | |
| 855,57 | 1000,7 | 27,2 | 0,62 | 0,070 | 4,0 | |
| 873,56 | 1000,5 | 15,8 | 0,92 | 0,050 | 4,0 | |
| 827,34 | 999,70 | 23,8 | 0,88 | -0,030 | 5,0 | |
| 803,55 | 999,70 | 30,0 | 0,81 | -0,030 | 5,0 | |
| 901,07 | 999,70 | 8,9 | 1,23 | -0,030 | 7,5 | Эрозия |
| 801,04 | 999,70 | 25,1 | 0,99 | -0,030 | 7,5 | Эрозия |

Как видно из табл. 1 и рис. 1 с увеличением частоты следования импульсов скорость подгонки возрастает. При повышении частоты до 6 кГц форма разряда начинает меняться, что приводит к появлению следов эрозии на пленке. В связи с этим, верхнее значение частоты следует ограничить на уровне 4-5 кГц. Точность подгонки приемлема во всем исследованном диапазоне (допуск на величину сопротивления резисторов СПЗ-44а составляет $\pm 10\%$). На рис. 2 представлена гистограмма распределения сопротивления одной из партий резисторов номинала 2,2 кОм. Как видно, отклонение от номинала не превышает 0,5 %.

Следующим важным моментом при подгонке резисторов СПЗ-44а является обеспечение требуемой линейной характеристики, которая по техническим условиям допускает отклонение 15 %. В производственных условиях данный параметр определяется по ГОСТ 21342,2-75 с использованием стрелочного омметра.

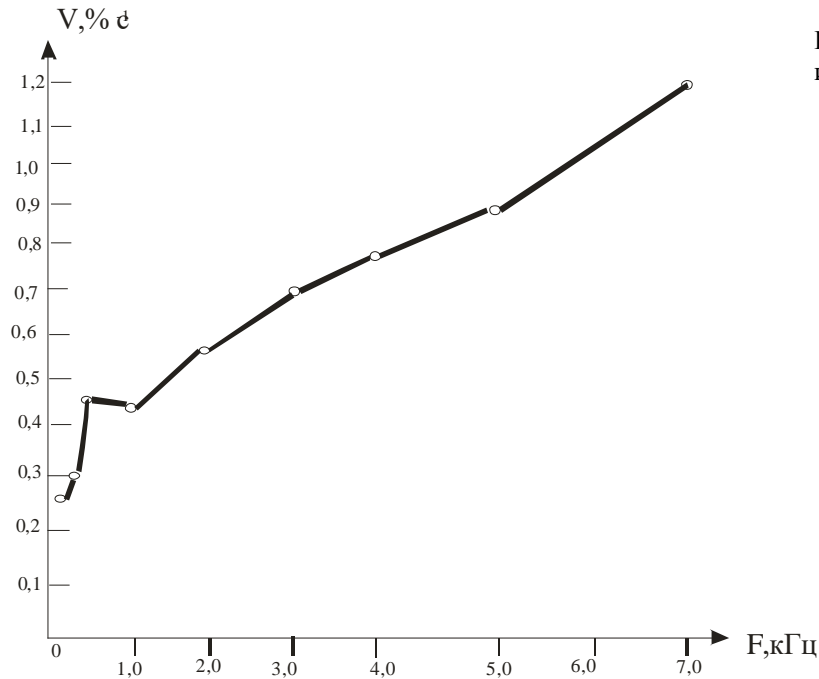


Рис. 1. Влияние частоты следования импульсов на скорость подгонки

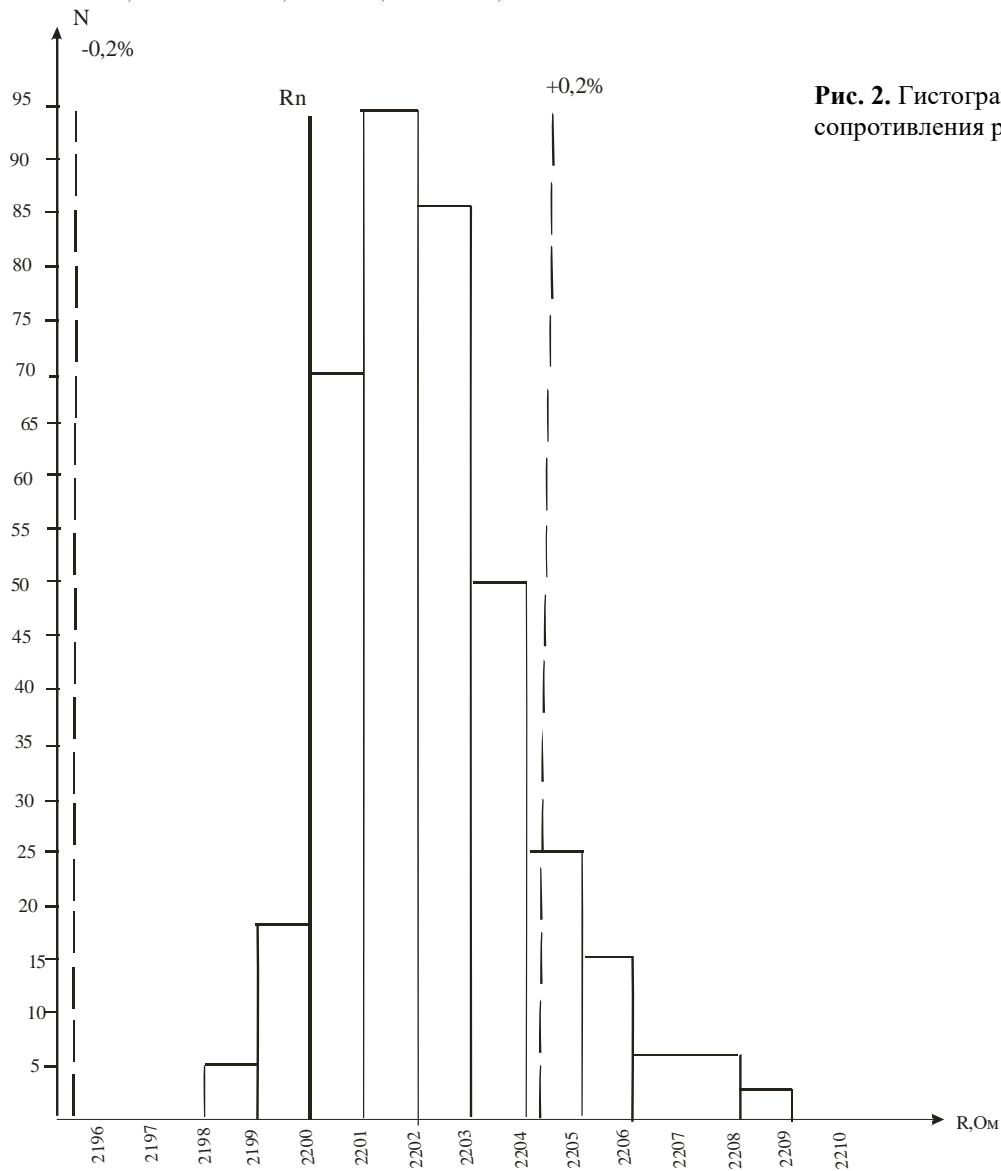


Рис. 2. Гистограмма распределения сопротивления резисторов после

В этом случае оценивается плавность изменения характеристики годных изделий, причем оценка производится оператором при ручном вращении ползунка резистора путем визуального наблюдения за отклонением стрелки. Понятно, что данный метод не может дать объективных данных о функциональной характеристике резистора и ее последующих изменениях. В связи с этим было разработано устройство для снятия характеристики изменения сопротивления непосредственно на заготовке резистора, которое содержит штифты для фиксации заготовки, подвижную ползунковую систему со стрелкой и шкалу, расположенную на основании (рис. 3). Измерение характеристик производилось по второму методу ГОСТ 21342.3-87 как до подгонки, так и после подгонки.

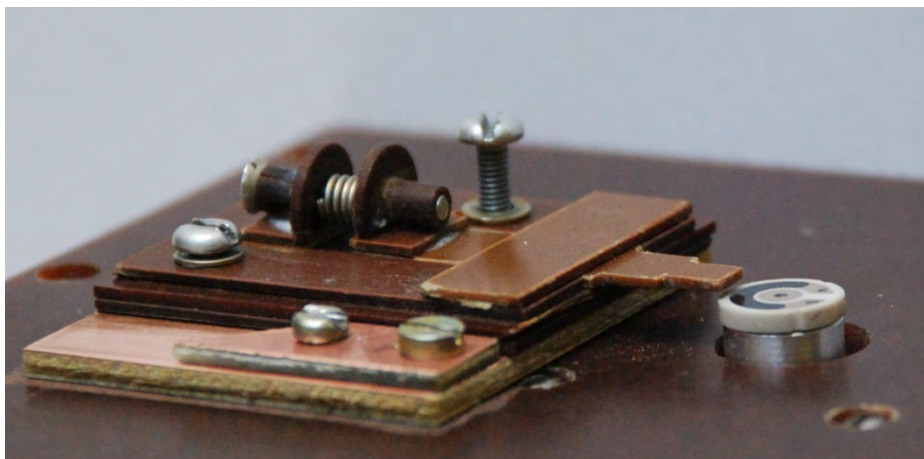


Рис. 3. Устройство для исследования линейности характеристик заготовок резисторов СПЗ-44а

Для автоматизации процесса, возможности передачи данных в компьютер и дальнейшей их обработки был разработан измерительный комплекс, структурная схема которого представлена на рис. 4.

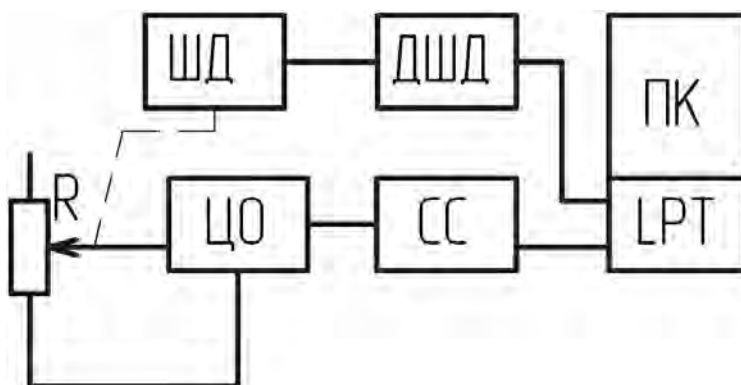


Рис. 4. Структурная схема устройства для измерения функциональной характеристики: ДШД – драйвер шагового двигателя; ПК – персональный компьютер; СС – схема сопряжения; ЦО – цифровой омметр; ШД – шаговый двигатель; LPT – параллельный порт компьютера; R – измеряемый резистор

Пример снятия функциональной характеристики резисторов номинального значения 33 кОм до и после подгонки представлен на рис. 5. В данном случае исходный резистор имел завышенное сопротивление, и его характеристика не укладывалась в зону допуска. Электроискровая подгонка производилась в сторону уменьшения сопротивления, что обеспечило выдерживание требований по отклонению сопротивления и функциональной характеристике.

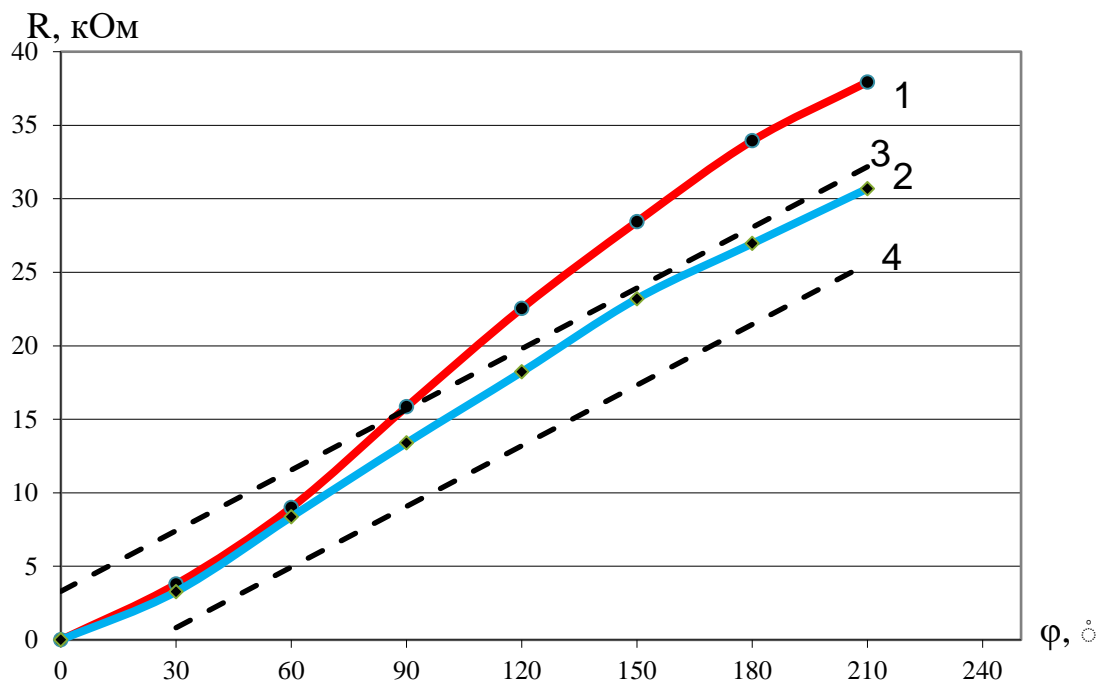


Рис. 5. Функциональная характеристика резистора СПЗ-44а - 0,25 Вт - 33 кОм ± 10% до ($1 - R(\varphi)$) и после ($2 - Rn(\varphi)$) подгонки; 3, 4 – нижняя и верхняя граница допуска

Как показано в работах [4 -6], степень изменения электропроводности резистивного материала зависит от локальности воздействия электроискрового разряда, его энергетических характеристик и продолжительности обработки. С целью равномерности изменения электропроводности, интенсивность и продолжительность обработки различных участков резистора должна быть одинакова. Добиться этого можно путем сканирования поверхности резистора вручную или при помощи специальных устройств [7 -8]. При проведении исследований применялось ручное сканирование со скоростью 1-2 прохода поверхности резистора в секунду.

В качестве основных параметров, характеризующих процесс электроискровой подгонки резисторов СПЗ-44а, использовались скорость подгонки, время подгонки, обеспечиваемая точность, величина дрейфа сопротивления за 1000 часов. Для удобства анализа результатов исследований была проведена компьютерная обработка полученных данных, при этом по каждой партии резисторов определялись средние значения названных параметров, их среднеквадратичное отклонение, минимальное и максимальное значения. Всего было подогнано около 1100 резисторов.

В качестве критериев для оценки полученных результатов применялись следующие значения параметров, удовлетворяющих условиям промышленного применения:

- точность подгонки – не хуже 1%;
- скорость подгонки для резисторов мощностью 1 Вт – не менее 0,25% с-1, для резисторов мощностью 0,25 Вт – не менее 1% с-1;
- величина дрейфа сопротивления за 1000 часов – не более 2%.

4. Из анализа полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. По точности подгонки получены в основном удовлетворительные результаты по всем номиналам. Наибольшее отклонение наблюдается для номиналов 6,8 кОм, 68 кОм, 150 кОм, что связано со значительной скоростью подгонки (т.е. значительным приращением величины сопротивления на один цикл подгонки).

2. Скорость подгонки для большинства номиналов достаточно велика, за исключением 1 кОм – 1Вт, 68 кОм – 1 Вт. Резисторы того же номинала, но мощностью 0,25 Вт подгоняются на порядок быстрее, что свидетельствует о существенном влиянии геометрических размеров резистора на скорость подгонки.

3. Величина дрейфа с увеличением величины номинала обычно возрастает, что может быть связано с соотношением проводящей и диэлектрической фаз в составе паст.

После электроискровой подгонки резисторы подвергались типовым испытаниям, включающим в себя механические и климатические испытания, проверку на соответствие техническим характеристикам.

Таким образом, электроискровая подгонка может быть с успехом применена для корректировки величины сопротивления толстопленочных переменных резисторов. Для отдельных номиналов требуется уточнение режимов подгонки, удовлетворяющих получению более высокой скорости подгонки.

Список литературы

- [1] Игумнов В. Н. Толстопленочные элементы в электронике и микроэлектронике [Текст]: монография / В. Н. Игумнов; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО "Поволж. гос. технол. ун-т". - Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. 203 с.
- [2] Леухин В.Н. Выбор режимов электроискровой подгонки толстопленочных резисторов / В.Н. Леухин // Техника средств связи. Сер. ТПО. Вып.2. 990. С. 36–45.
- [3] Одинцов М. А., Леухин В. Н., Игумнов В. Н. Установки электроискровой подгонки толстопленочных резисторов // Техника средств связи, сер. ТПО 1990, вып. 1. С. 83–86.
- [4] Демаков Ю.П., Лекомцев В.В., Стерхова Л.А. Влияние электроискрового воздействия на характеристики толстопленочных резисторов //Физика и электроника твердого тела – Ижевск, 1982, вып. 5. С. 169–176.
- [5] Стерхова Л.А. Влияние электроискровой обработки на электрофизические характеристики толстых серебропалладиевых резисторных пленок. Автореф. диссерт. кандидата технических наук – Ижевск, 1987. 23 с.
- [6] Игумнов В.Н. Влияние тепловой и электроискровой обработки на структуру и свойства толстых рутенийсодержащих слоев. Автограф. диссерт. кандидата физико-математических наук. – Ижевск, 1989. 28 с.
- [7] Ав.св.СССР № 1729233 Устройство для корректировки сопротивлений толстопленочных переменных резисторов / В.Н. Леухин.
- [8] Патент РФ № 2620263. Устройство для неразрушающей подгонки толстопленочных резисторов / Е. В. Шабдаров, В. Н. Леухин.

УДК 621.3

**СИЛОВАЯ ЧАСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ГАРМОНИК
ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОЙ НАГРУЗКИ****Д.В. Бортник¹, А.И. Орлов²**¹ООО «ПКФ «Пересвет», г. Йошкар-Ола

E-mail: bortnik_denis16@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», Йошкар-Ола.

E-mail: karlorlov@gmail.com

Приводятся экспериментально полученные осциллограммы тока типичных коммунально-бытовых потребителей электроэнергии. На основе результатов компьютерного моделирования показано, что среди известных технических решений для снижения высших гармоник наиболее перспективным является применение параллельных активных фильтров гармоник, размещаемых на вводах в здания. Представлена принципиальная схема силовой части однофазного параллельного активного фильтра гармоник, предназначенного для повышения качества электроэнергии в электрической сети с коммунально-бытовой нагрузкой. В схеме обеспечивается гальваническая развязка силовой части и цепей управления. Приводятся осциллограммы работы силовой части.

Ключевые слова: качество электроэнергии, высшие гармоники, активный фильтр гармоник, инвертор.

The paper provides experimentally obtained oscillograms of the current of typical household electric consumers. Based on the results of computer simulation, it is shown that among the known technical solutions for improving the quality of electricity, the most promising is the use of parallel active harmonic filters placed at the inputs to the buildings. Presented a schematic diagram of the power part of a single-phase parallel active harmonic filter designed to improve the quality of electric power in an electrical mains with a communal load. The circuit provides galvanic isolation of the power part and control circuits. Oscillograms of the power section are given.

Keywords: power quality, higher harmonics, active harmonic filter, inverter.

Устройства силовой электроники, несмотря на повышение производительности труда, в большинстве случаев являются причиной неудовлетворительного качества электроэнергии: искажение синусоидальности напряжения. Примерами таких устройств являются выпрямители, преобразователи частоты, бытовые маломощные устройства различного назначения. В результате падений напряжения на полных сопротивлениях электрической сети, гармонические составляющие тока вызывают искажения напряжения в точках общего присоединения нагрузки, в которых нормируется предельный уровень гармоник согласно стандарту [1]. Превышение этого уровня вызывает ряд проблем связанных с потерями в трансформаторах, ложными срабатываниями релейной защиты. Балластные устройства люминесцентных и ртутных ламп в некоторых схемах содержат конденсаторы. При определенных условиях может возникнуть резонанс, приводящий к выходу ламп из строя. Высшие гармоники влияют и на работу другой электроники и электроприборов. Отсутствие общепринятого универсального подхода к проблеме качества электроэнергии, вызванной нелинейными нагрузками, определяет актуальность темы исследования.

На рис. 1 представлены экспериментально полученные осциллограммы токов типичных бытовых потребителей электроэнергии и спектральный состав гармонических составляющих этих осциллограмм по отношению к основной гармонике. Осциллограмма тока микроволновой печи показана на рис. 1 (а). Данная осциллограмма получена через 25–30 с после включения печи. В этом режиме преобладают нечетные гармоники порядка 3, 5 и 7. В начальный момент времени среди высших гармоник тока доминирует пятая. Гармонический состав тока жидкокристаллического телевизора, представленный на рис. 1 (б), включает 3, 5, 9 и 13 гармоники. Присутствуют также гармоники высших порядков с амплитудой более 1 % от основной. Компьютер, а также нелинейные источники света, графики тока которых представлены на рис. 1 (в, г, д, е), потребляют резко несинусоидальный ток, гармонический состав которого включает большое число высших гармоник.

Таким образом, экспериментально продемонстрировано нелинейность вольт-амперных характеристик большинства коммунально-бытовых электроприемников. В совокупности эти электроприемники отрицательно влияют на качество электрической энергии в точках общего присоединения потребителей.

Влияние нелинейных нагрузок коммунально-бытового характера исследовано на компьютерной модели распределительной сети микрорайона № 9а г. Йошкар-Олы в программе MATLAB Simulink. В составе нагрузки использованы различные комбинации нелинейных потребителей, экспериментально полученные кривые тока которых показаны на рис. 1. Исследовалось влияние пассивных резонансных фильтров на 3 и 5 гармоники, установленных в трансформаторной подстанции, как традиционного способа решения проблемы высших гармоник, а также параллельных активных фильтров гармоник. Структура силовой части и системы управления моделируемых активных фильтров раскрыты в работах [2, 3].

По результатам моделирования можно сделать выводы о недостатках пассивных фильтров, не позволяющих в полной мере решить проблему улучшения качества электрической энергии. Во-первых, существующие пассивные фильтры предназначены для установки в трансформаторных подстанциях, а длина линии 0,4 кВ, соединяющая потребителя с ТП может быть значительна. Во-вторых, для эффективного подавления заданных гармоник пассивные фильтры имеют достаточно узкую полосу пропускания в окрестности 3 и 5 гармоник. Кроме того, пассивные фильтры, становятся неэффективными при кратковременном или перманентном изменении спектра высших гармоник, генерируемых нагрузкой.

Параллельные активные фильтры имеют преимущества по сравнению с традиционным решением. Их возможности включают подавление всех высших гармоник или отдельных гармоник, коррекцию коэффициента мощности, симметрирование нагрузки, регулирование напряжения, уменьшение фликера напряжения и/или их комбинаций. По результатам моделирования в электрической сети 0,4 кВ установлено, что при выбранной топологии электрической сети и параметрах нагрузки применение активных фильтров в местах присоединения нагрузки, позволяет сократить суммарные коэффициенты гармонических искажений напряжения на шинах подстанций с 11,52–16,0 до 0,25–1,07, тока с 13,66–24,98 до 0,16–0,31, что соответствует требованиям ГОСТ Р 54149-2013 [1].

Параллельный активный фильтр гармоник, структура которого показана на рис. 2, включается параллельно нелинейной нагрузке как можно ближе к ее вводу. Силовая часть фильтра включает инвертор, накопительный конденсатор, токоограничивающую индуктивность в виде реактора или трансформатора. Напряжение накопительного конденсатора на стороне постоянного напряжения поддерживается системой управления на уровне выше линейного напряжения сети – более 550 В в сетях 0,4 кВ. Конденсатор обеспечивает необходимую разность потенциалов для создания тока требуемой величины и направления при коммутации силовых ключей инвертора. Измерительная часть включает датчики и измерительные преобразователи тока нагрузки и фильтра, напряжения фильтра и накопительного конденсатора. [2, 4] Измерительная часть и структура системы управления на схеме не показаны.

Разработана силовая часть однофазного параллельного активного фильтра гармоник, схема которого показана на рис. 3. Схема на рис. 3 (а) представляет собой двухполупериодный мостовой выпрямитель на основе 4 силовых IGBT-транзисторов FGA25N120ANTD. Рабочее напряжение транзисторов – до 1200 В, ток – до 40 А. На стороне постоянного напряжения инвертора установлен электролитический конденсатор 1000 мкФ. Источник постоянного напряжения применяется только для тестирования схемы и при нормальной работе активного фильтра не используется. Гальваническая развязка силовой части и цепей управления обеспечивается транзисторной оптопарой PC123, на входы которой PX1–4 подаются управляющие сигналы от контроллера. Эмиттеры транзисторов соединяются с общей «землей» схемы M1–4 через диоды.

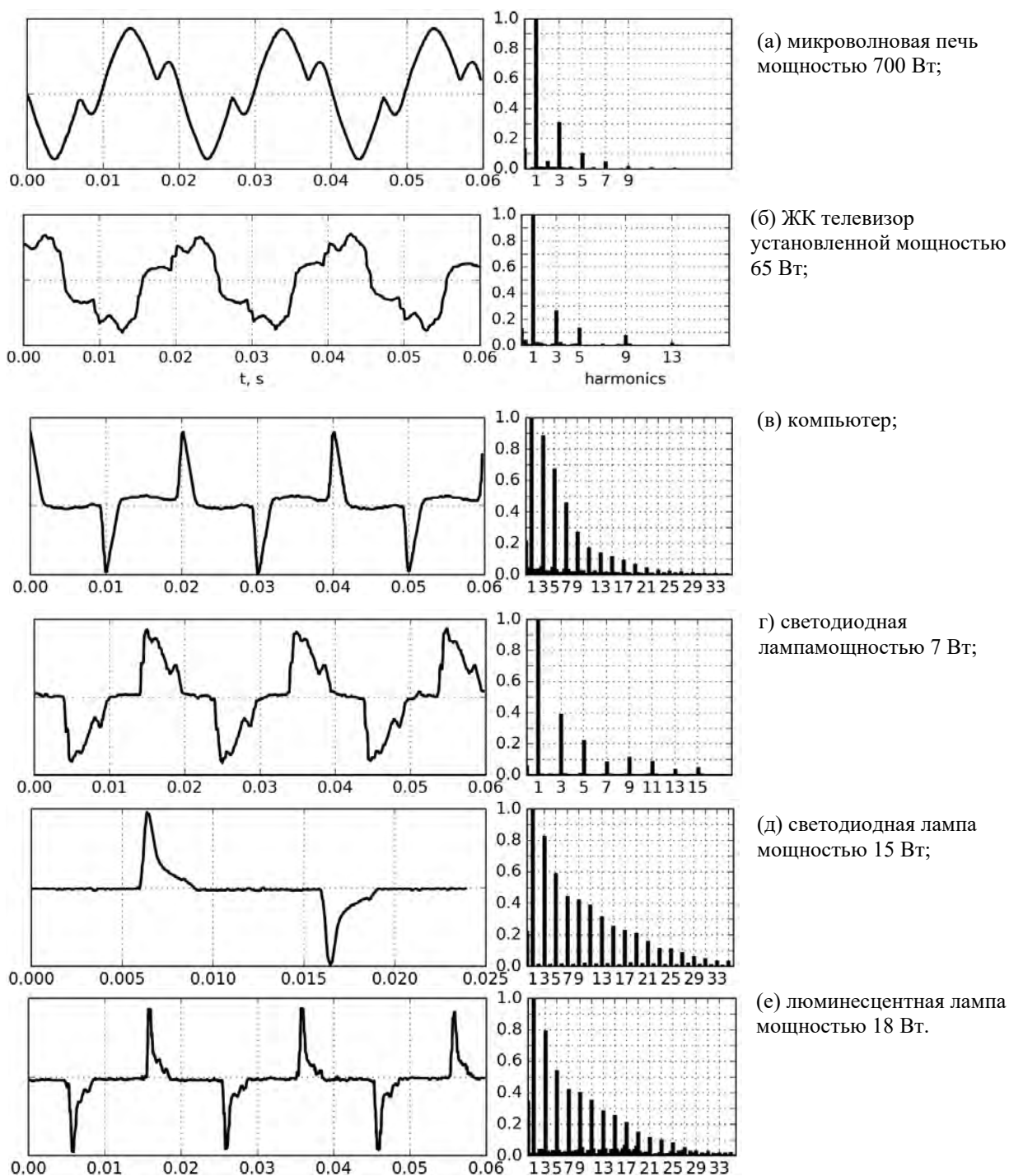
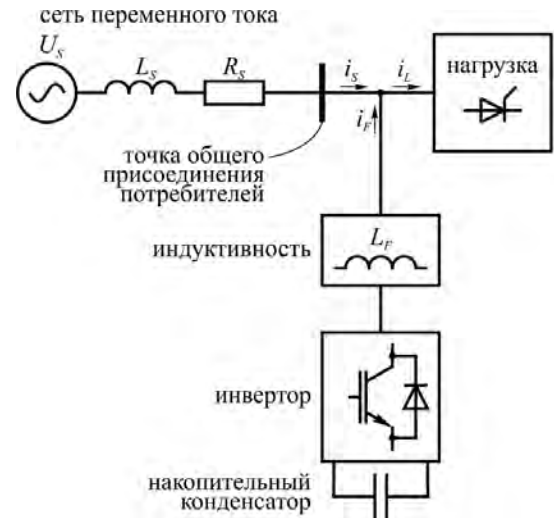


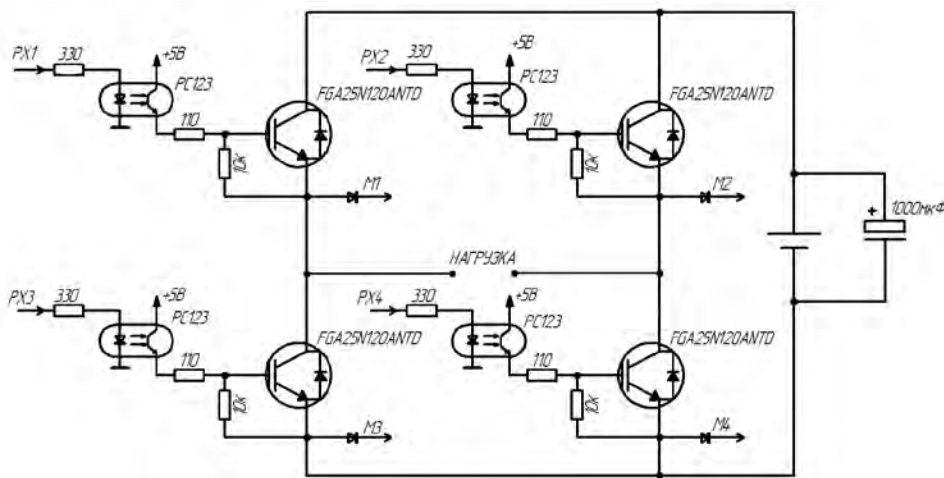
Рис. 1. Осциллограммы тока типичных бытовых потребителей электроэнергии, а также их гармонический состав в процентах по отношению к основной гармонике.

На рис. 3 (б) изображена схема питания инвертора, содержащая 2 стабилизатора напряжения (регулятора постоянного напряжения) на микросхемах 78L05. Источником питания стабилизаторов являются выпрямители, подключенные к двухобмоточному трансформатору 220/12 В с расщепленной обмоткой низшего напряжения, обеспечивающая также гальваническую развязку с электрической сетью. Один из стабилизаторов напряжения предназначен для питания «верхних» IGBT-транзисторов, второй – «нижних». В процессе работы контроллер обеспечивает необходимые параметры ШИМ-модуляции попеременно открывая диагонали транзисторов.

Рис. 2. Блок-схема силовой части параллельного активного фильтра гармоник.



(а)



(б)

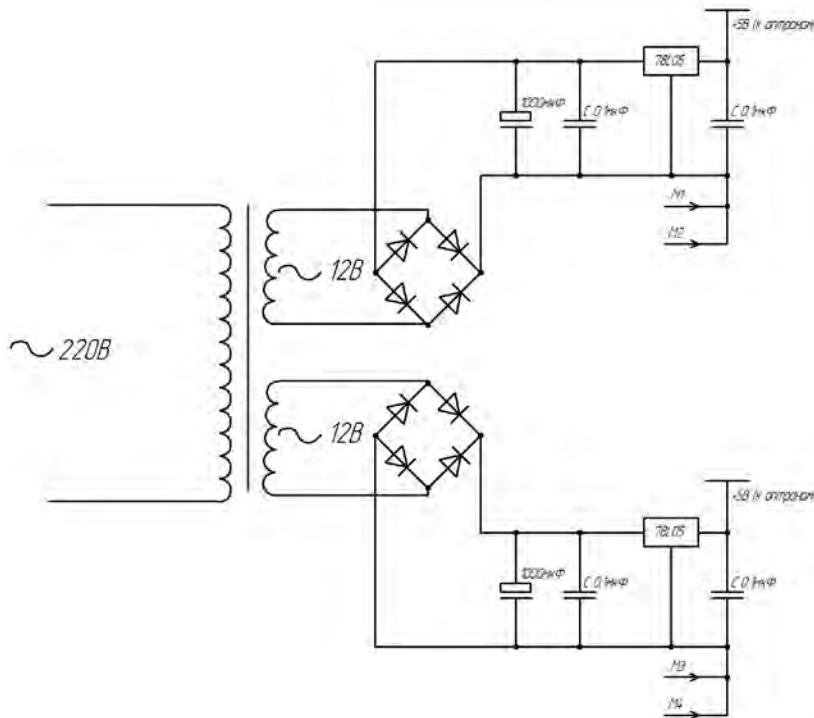


Рис. 3. Силовая часть параллельного активного фильтра.

На рис. 4 в качестве примера приведены осциллограммы работы силовой части активного фильтра, воспроизводящий заданные аналоговые сигналы в виде низкочастотного ШИМ сигнала. Осциллограммы получены на цифровом осциллографе АК ИП-4115/1А, 1 деление соответствует 2 мс. На рис. 4 (а) показан пример воспроизведения пилообразного сигнала, на рис. 4 (б) – синусоидального сигнала, на рис. 4 (в) – сигнала произвольной формы. Осциллограммы получены при частоте 4 кГц, которая задается контроллером и может быть увеличена при необходимости. Выбранные компоненты инвертора позволяют выполнять коммутации на частотах до 20 кГц и более.

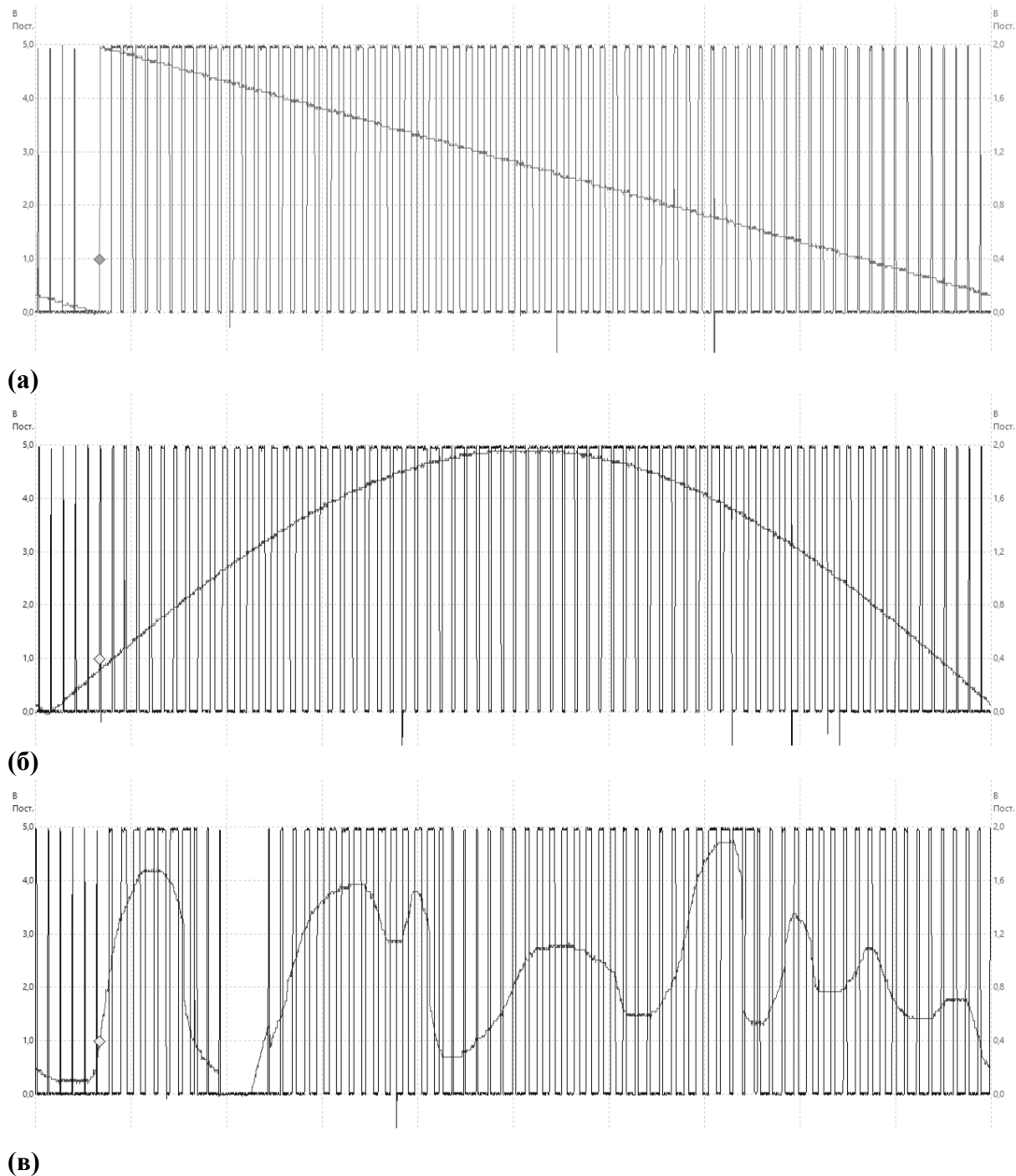


Рис. 4. Пример воспроизведения сигналов различной формы инвертором однофазного активного фильтра гармоник: а) треугольная форма; б) синусоидальная форма; в) произвольной формы.

Таким образом, в работе на основе результатов экспериментов продемонстрировано, что типичные коммунально-бытовые потребители электроэнергии имеют нелинейные вольт-амперные характеристики и в совокупности вызывают проблемы качества электроэнергии. На основе результатов компьютерного моделирования показано, что среди известных технических решений для снижения уровня высших гармоник тока и напряжения наиболее перспективным является применение параллельных активных фильтров гармоник, размещаемых на вводах в здания. Представленная принципиальная схема силовой части однофазного параллельного активного фильтра гармоник позволяет воспроизводить заданный сигнал управления, подаваемый с контроллера. В схеме обеспечивается гальваническая развязка силовой части и цепей управления. Достоинствами схемы в сравнении с существующими аналогами является возможность работы на частотах до 20 кГц и выше, простота масштабирования под более мощную нагрузку в случае необходимости, низкая стоимость комплектующих. В качестве примера работоспособности схемы приведены осциллограммы напряжения инвертора, воспроизводящие аналоговые управляющие сигналы различной формы.

Список литературы

1. ГОСТ Р 54149–2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Госстандарт России, 2013.
2. Применение устройств поперечной компенсации в городских низковольтных распределительных сетях / Материалы Десятой международной научной школы «Наука и инновации-2015» ISS «SI-2015» – Йошкар-Ола: ГБОУ ДПО (ПК) С «Марийский институт образования», 2015. С. 104–108.
3. Бортник Д.В., Орлов А.И., Волков С.В. Качество электрической энергии в низковольтных электрических сетях с коммунально-бытовой нагрузкой / Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики : материалы XII Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участием МГУ им. Н. П. Огарева. – Саранск : Издатель Афанасьев В.С., 2017. С. 517–525.
4. Бортник Д.В., Орлов А.И. Однофазный активный фильтр / Заявка на патент на изобретение № 2015104364 от 10.02.2015. Опубл. 27.08.2016 Бюл. № 24 2015. С. 123–129.

**ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ФОКУСАТОРЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ С ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ****С.П. Котова*, А.М. Майорова, С.А. Самагин**

Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Самарский филиал
kotova@fian.smr.ru

Демонстрируются различные типы световых полей, формируемых с помощью жидкокристаллического фокусатора при его работе в разных режимах. Показано, что, изменяя геометрию электродов фокусатора, можно создавать, так называемые, вихревые ЖК фокусаторы для генерации световых полей с орбитальным угловым моментом. Приводятся особенности предлагаемых устройств и анализируются возможные перспективы их применений.
Ключевые слова: световые поля, фокусатор, орбитальный угловой момент

Various types of light fields are shown, which are formed with the help of a liquid crystal focuser when operating in different modes. It is shown that by changing the geometry of the focuser electrodes, it is possible to create so-called vortex LC focusers for generating light fields with an orbital angular momentum. The features of the proposed devices are given and possible prospects of their applications are analyzed.

Key words: light fields, focus, orbital angular momentum

1. Введение. Возможности и перспективы использования в оптических технологиях пространственно структурированных световых полей, обладающих орбитальным угловым моментом, постоянно расширяются [1-3]. В связи с этим актуальными задачами остаются реализация и совершенствование способов формирования таких полей и динамического управления их характеристиками. Причем с точки зрения практических применений в предлагаемых способах должны использоваться недорогие, технологически простые устройства с хорошей энергетической эффективностью, работающие в широком спектральном диапазоне.

Многопиксельные жидкокристаллические пространственные модуляторы света (ЖК ПМС) позволяют формировать световые пучки с фактически произвольным распределением интенсивности, эффективно в реальном времени управлять геометрическими параметрами световых пучков, их топологическим зарядом, менять направление закрутки фазы и т.д. Однако такие модуляторы характеризуются недостаточной для ряда задач энергетической эффективностью, довольно высокой стоимостью, с их помощью трудно реализовать компактные и технологически простые схемы. Избежать указанных недостатков позволяет применение ЖК ПМС с модальным принципом управления. Важной особенностью таких модуляторов является наличие в их конструкции дополнительного однородного высокоомного прозрачного слоя – управляющего электрода, который наносится на низкоомное покрытие с отверстием. Наличие этого электрода позволяет сформировать непрерывный профиль фазового пропускания слоя нематического ЖК по всей апертуре [4,5]. Функциональные возможности ЖК устройств модального типа постоянно расширяются. Например, в [6,7] сообщается о реализации двумерной матрицы управляемых микроаксионов. В [8-10] описаны способы формирования вихревых световых пучков с помощью ЖК спиральных пластинок.

В настоящей статье описываются возможности ЖК фокусатора (ЖК модулятора модального типа) по формированию световых пучков разнообразной структуры. Показано, что можно изменить геометрию контактов электродов ЖК модулятора таким образом, чтобы, подавая специально выбранные значения потенциалов, можно было обеспечить скачок в фазовом профиле пропускания ЖК модулятора. Это приведет к возникновению углового орбитального момента в проходящем через ЖК модулятор или отраженном от него свете, т.е. позволит формировать пучки с орбитальным угловым моментом (вихревые световые поля).
Принцип действия ЖК фокусатора и возможные типы формируемых с его помощью полей. Внешний вид и схема ЖК фокусатора представлены на рис. 1. Устройство представ-

ляет собой две скрещенные стеклянные подложки, на которые наносятся прозрачные высокоомные покрытия (поверхностное сопротивление от 100 кОм/квadrat и до единиц МОм/квadrat) и низкоомные непрозрачные полосковые контакты. За счет этого в области апертуры можно создать ёмкостно-резистивный делитель напряжения. В качестве сопротивлений выступают поверхностные сопротивления высокоомных покрытий, а реактивная составляющая определяется ёмкостью слоя ЖК. Между подложками заключается слой нематического ЖК, толщина которого задаётся прокладками, а первоначальная планарная ориентация нанесёнными на подложки ориентирующими покрытиями. Управляя амплитудами и фазами потенциалов, прикладываемых к контактам устройства, можно изменять распределение электрического напряжения по апертуре. Под действием напряжения в ЖК слое происходит переориентация молекул (S-эффект). Это приводит к изменению пространственного распределения фазовой задержки, вносимой ЖК слоем в проходящую световую волну.

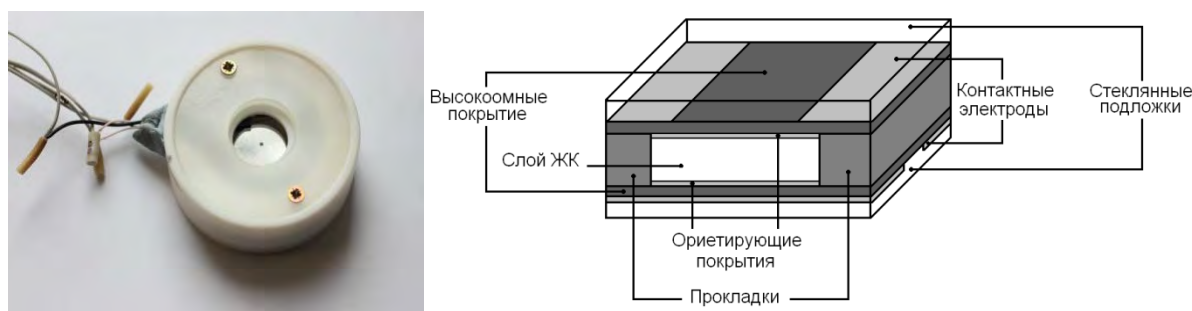


Рис. 1. Внешний вид и схема ЖК фокусатора

Режим работы устройства и вид сформированных им полей будут зависеть от величины модального параметра, который определяется следующим образом:

$$\chi_k^2 = \rho_{kS} (g - i\omega c),$$

$$k = 1; 2.$$

Здесь i – мнимая единица, $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота, ρ_{kS} – поверхностные сопротивления высокоомных покрытий; g – проводимость ЖК слоя; c – ёмкость ЖК слоя.

Физический смысл этих величин заключается в том, что квадраты модальных параметров, умноженных на квадрат характерного размера апертуры, представляют собой отношение сопротивления высокоомного слоя и импеданса ЖК слоя. Будем полагать, что поверхностные сопротивления высокоомных слоёв равны, а, следовательно, совпадают их модальные параметры ($\chi_1 = \chi_2 = \chi$). Величина модального параметра определяет характер распределения напряжения по апертуре.

В режиме малого модального параметра (значениях $|\chi|$ от 0.1 до 3) в фокусаторе могут быть реализованы два типа эквипотенциальных линий потенциалов: эллиптический и параболический. Эти распределения потенциалов преобразуются в соответствующие фазовые профили в виде эллиптического и кругового усеченных конусов либо квазицилиндрической поверхности. Плоская однородная световая волна, проходя через ЖК фокусатор, на некотором расстоянии будет фокусироваться либо в точечное пятно (в случае, когда фазовая поверхность имеет вид усеченного конуса) [11, 12], либо в отрезок (в случае, когда фазовая поверхность является цилиндрической) [13]. В области дифракции Френеля на небольшом расстоянии от ЖК фокусатора, в поперечной плоскости точки с максимальной интенсивностью будут располагаться на контуре кривой, повторяющей форму эквипотенциальных линий профиля напряжения [14-16]. Это позволяет формировать, так называемые, контурные световые поля с распределением интенсивности в виде колец, эллипсов (с различным отношением его главных осей и их произвольной ориентацией относительно границ апертуры) и

их дуг. Возможные распределения интенсивности представлены на рис. 2. Заметим, что наблюдается хорошее соответствие между экспериментально полученными результатами и рассчитанными. Это позволяет нам предполагать, что результаты теоретического моделирования, представленные ниже, адекватно описывают предложенные модели.

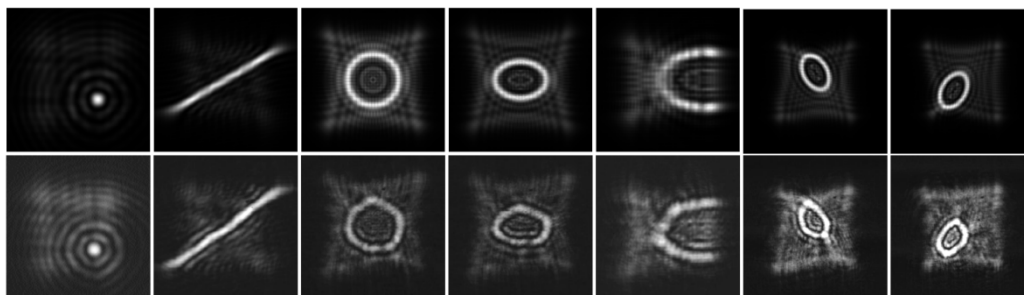


Рис. 2. Рассчитанные и экспериментально полученные распределения интенсивности света, реализуемые с помощью 4-х канального ЖК модулятора [17].

Увеличение величины χ' (за счет увеличения поверхностного сопротивления управляющих электродов) приводит к тому, что распределение действующего значения напряжения по апертуре начинает зависеть от его частоты, а эквипотенциальные линии напряжения принимают форму квадратных контуров, а при значениях χ' близких к 10 форму восьмиугольника. Это позволяет формировать световые поля с распределением интенсивности в поперечной плоскости в виде границ квадратов, ромбов, параллелограммов и восьмиугольников. На определенных расстояниях от ЖК фокусатора световое поле может фокусироваться в точечные пятна, расположенные по углам соответствующего четырехугольника и его центре [18]. Возможные распределения интенсивности приведены на рис. 3.

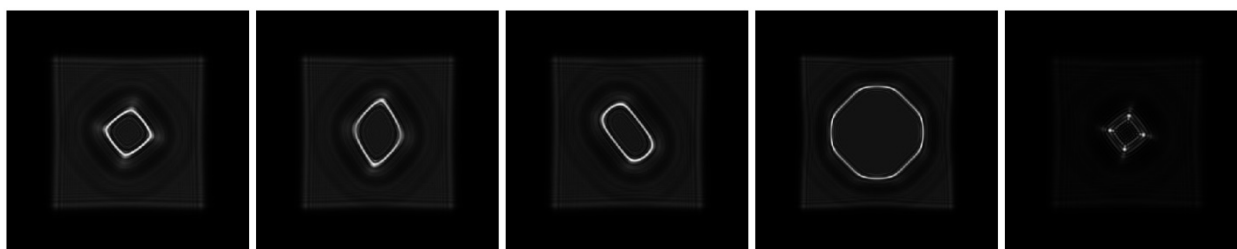


Рис. 3. Распределения интенсивности света, реализуемые с помощью ЖК фокусатора в режиме высокого модального параметра.

Принципиальным отличием и преимуществом ЖК ПМС по сравнению со стационарными дифракционными оптическими элементами является возможность управления параметрами формируемых полей в реальном времени за счет изменения прикладываемых к контактам напряжений. ЖК фокусатор в режиме малого модального параметра за счет изменения амплитуды и/или фазу потенциалов позволяет управлять формой (от кольца к эллипсу и наоборот) и размерами поперечных распределений интенсивности, а также перемещать сформированные распределения по апертуре устройства и поворачивать их без деформации (изменения формы и размера). Изменять форму сформированных распределений (от квадрата к ромбу и параллелограмму и наоборот), их размеры за счет изменения параметров управляющего напряжения можно и в режиме высокого модального параметра. Изменение фазы напряжений позволяет менять ориентацию сформированных распределений относительно границ апертуры, однако осуществить их управляемый поворот без деформаций в этом режиме не удастся. Важной особенностью режима с высоким модальным параметром

является возможность управления формой распределений интенсивности (от квадрата к восьмиугольнику и наоборот) за счет изменения частоты управляющих напряжений.

Существенным недостатком ЖК фокусатора (4-х канального ЖК модулятора) является невозможность с его помощью сформировать вихревые световые пучки (пучки с угловым орбитальным моментом).

Вихревые ЖК фокусаторы и формируемые ими световые поля. Понятно, что возможность создания пучков с орбитальным угловым моментом может существенно расширить практические применения ЖК фокусатора. Для формирования оптических вихрей (пучков с орбитальным угловым моментом) необходимо обеспечить скачок фазы. Для этого предлагается несколько изменить конфигурацию электродов. Рассмотрены два случая.

В первом случае контактный электрод на одной из подложек (например, на нижней) может быть разделён пополам на две части, а также предполагается, что этот участок без электродов продолжен в глубь апертуры до середины. Схема контактных электродов для этого случая представлена на рис. 4. При такой конфигурации электродов ЖК модулятор имеет пять контактов и позволяет сформировать фазовую задержку близкую к спиральному аксикону.

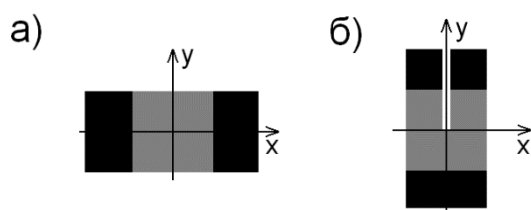


Рис. 4. Схема электродов для формирования «квазиспирального аксикона»:

а) верхняя подложка;
б) нижняя подложка.

На рисунках 5а и 5б в качестве примера представлены результаты расчетов распределения профиля фазовой задержки по апертуре и поляризационная интерферограмма ЖК спирального аксикона с размером апертуры 2×2 мм. Моделирование выполнено для двухчастотного режима управления, когда на контакты подается ещё один набор потенциалов с частотой отличной от первого. Результат расчета светового поля, формируемого в области дифракции Френеля (например, на расстоянии 14 см) таким транспарантом при прохождении через него плоской однородной волны, представлен на рис. 5в.

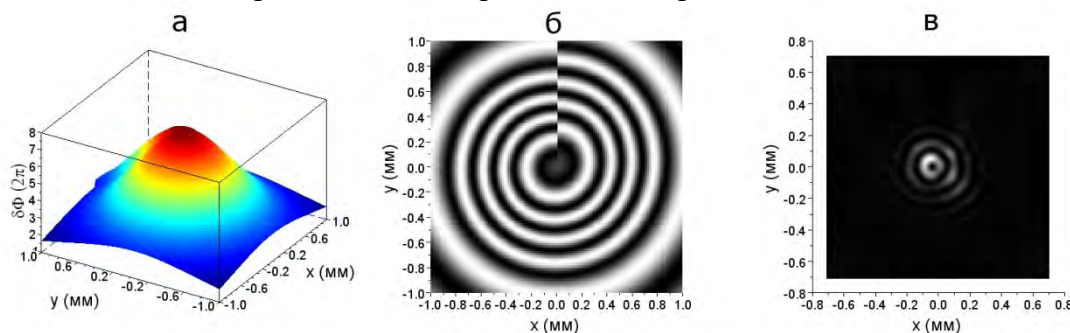


Рис. 5. а) профиль фазовой задержки, б) поляризационная интерферограмма для ЖК спирального аксикона с двухчастотным режимом управления, в) распределение интенсивности светового поля, формируемого ЖК спиральным аксиконом с двухчастотным режимом управления на расстоянии 14 см.

Другим вариантом изменения конфигурации электродов является вариант, в котором предлагается на верхней подложке помимо полосковых линейных контактов, ограничивающих апертуру, добавить два узких близко расположенных линейных электрода. Электроды располагаются посередине свободной стороны и наносятся от центра к краю (см. рис. 6).

Рис. 6. Схема электродов для формирования спиральной фазовой пластинки: а) верхняя подложка; б) нижняя подложка.



На рисунке 7 приведены результаты расчетов распределений напряжения по апертуре, профиля фазовой задержки и поляризационная интерферограмма. Моделировалась ситуация, когда апертура устройства ограничена диафрагмой.

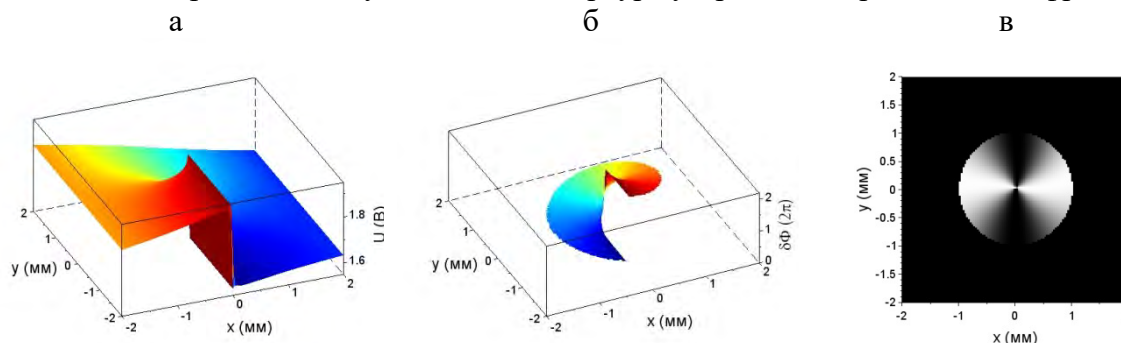
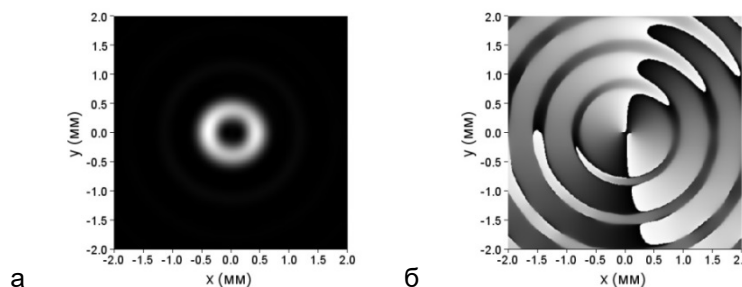


Рис. 7. а) распределение напряжения по апертуре, б) профиль фазовой задержки, в) поляризационная интерферограмма.

Примеры распределений интенсивности и фазы сформированных световых полей в дальней зоне дифракции (в фокальной плоскости линзы, расположенной за устройством) приведены на рисунке 8. Видно, что предлагаемая конфигурация модального ЖК модулятора может использоваться в качестве спиральной пластинки.

Рис. 8. Световое поле, формируемое ЖК устройством «спиральная пластинка – фокусатор» в фокальной плоскости линзы с фокусным расстоянием 1 м (или в дальней зоне без дополнительной линзы). а) распределение интенсивности, б) распределение фазы поля.



Особенности ЖК модуляторов модального типа. Рассмотрим основные особенности ЖК фокусаторов и вихревых ЖК фокусаторов при формировании сложных световых полей, включая вихревые.

- ЖК устройства работают в режиме пропускания, что позволяет упростить оптические схемы на их основе и уменьшить их габариты, например, схемы оптических пинцетов. При необходимости может быть реализован и режим отражения.

- Для создания распределения напряжения в области апертуры в фокусаторах используется сплошной электрод. Это позволяет сформировать гладкий непрерывный профиль фазовой задержки и плавно менять распределение напряжения на апертуре фокусатора за счет изменения потенциалов на контактных электродах, что, в свою очередь приводит к уменьшению дифракционных потерь, а также возможности очень плавного (теоретически – непрерывного) управления световыми полями – их формой и размерами. На практике возможность плавного управления ограничивается дискретностью управляющих напряжений, подаваемых с блока управления, и может быть улучшена за счет уменьшения степени дискретности.

• Важной характеристикой ЖК модуляторов является их быстродействие. Для наших устройств оно составляет доли секунд. Такие значения являются приемлемыми для использования ЖК фокусаторов в ряде задач по оптической манипуляции, что было подтверждено экспериментально. Необходимо отметить, что большие времена отклика являются принципиальным недостатком ЖК ПМС с модальным принципом управления по сравнению с зональными модуляторами (дисплеями), и в настоящее время проводится большое количество исследований, направленных на решение этой проблемы.

• ЖК устройства обладают достаточно высокой лучевой прочностью: эксперименты проводились при плотностях мощности излучения, падающего на фокусатор, до 30 Вт/см^2 .

• Спектральный диапазон устройства определяется типом используемого в нем ЖК. Для ЖК марки VL037 фирмы Merck, используемого в 4-х канальном ЖК модуляторе устройства могут работать в видимой и ближний ИК областях спектра.

Возможные применения. Световые пучки со сложной структурой и орбитальным угловым моментом находят все новые применения в области оптического манипулирования, квантовой оптики, микроскопии и интерферометрии, в оптических каналах связи и других. Краткий обзор этих применений можно найти, например, в обзоре [1], посвященном 25-летию орбитального углового момента, монографии [2], обзоре [3]. Функциональные возможности предлагаемых здесь ЖК фокусаторов с учетом их технологических особенностей и относительно невысокой стоимости позволяют говорить о перспективности их использования в различных прикладных задачах.

Эксперименты по использованию ЖК фокусатора в схемах оптических пинцетов описаны в наших работах [14, 15]. Формируемые ЖК фокусатором контурные ловушки могут быть интересны с точки зрения оптимизации оптического захвата за счет возможности управления оптическими ловушками (перестройки от поля одного вида к другому, изменение поперечных размеров) в реальном времени. Причем, это является актуальным как для прозрачных, так и непрозрачных (поглощающих) объектов, захватываемых в минимум интенсивности, и на наш взгляд, может быть особенно полезным при оптическом манипулировании микрообъектами биологического происхождения. Последнее связано с многообразием размеров и форм таких объектов. Понятно, что возможность создания вихревых световых пучков (пучков с орбитальным угловым моментом), продемонстрированная в настоящей статье, может существенно расширить возможности ЖК модулятора для задач оптической манипуляции.

Аксиально-симметричные поля с угловым орбитальным моментом представляют большой интерес для генерации однофотонных состояний с целью создания на их основе дальнедействующей оптической связи. Один из подходов получения таких состояний, развиваемый в КФТИ КазНЦ РАН, основывается на процессе спонтанного параметрического рассеяния в нецентросимметричных средах [19]. Предлагаемые нами вихревые ЖК фокусаторы с возможностью управления величиной топологического заряда востребованы в указанных экспериментах. Формируемые с помощью ЖК фокусаторов световые поля могут найти применения в других перспективных задачах, например, в установках STED-нанолитографии, разрабатываемых в ФИАН и МФТИ [20].

В настоящее время нами проводятся исследования новых модификаций модальных ЖК фокусаторов для расширения их функциональности и круга решаемых с их помощью актуальных задач фотоники.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №16-02-01055 и №16-42-630773).

Список литературы

1. Miles J. Padgett "Orbital angular momentum 25 years on [Invited]", *Opt. Express* 25, 11265-11274 (2017).
2. В.В. Котляр, А.А. Ковалев, Вихревые лазерные пучки, Самара, 2012, Новая техника.
3. H. Rubinsztein-Dunlop et al. "Roadmap on structured light", *Journal of Optics*, 19(1), 013001, (2016).
4. Е.Г. Абрамочкин, А.А. Васильев, П.В. Вашурин, Л.И. Жмурова, В.А. Игнатов, А.Ф. Наумов, "Управляемая жидкокристаллическая линза", препринт ФИАН №194, Москва, 18с., (1988).
5. A.F. Naumov, M.Y. Loktev, I.R. Guralnik, G. Vdovin, "Liquid-crystal adaptive lenses with modal control", *Opt. Lett.*, 23, 992-994, (1998).
6. J.F. Algorri, V. Urruchi, N. Bennis, J.M. Sánchez-Pena, "Modal liquid crystal microaxicon array," *Opt. Lett.* 39, 3476-3479, (2014).
7. J.F. Algorri, G.D. Love, V. Urruchi, "Modal liquid crystal array of optical elements," *Opt. Express* 21, 24809-24818, (2013).
8. Djenan Ganic, Xiaosong Gan, Min Gu, Mathias Hain, Somakanthan Somalingam, Svetomir Stankovic, and Theo Tschudi, "Generation of doughnut laser beams by use of a liquid-crystal cell with a conversion efficiency near 100%", *Opt. Lett.* 27, 1351-1353 (2002)
9. J. Albero et al., "Liquid crystal devices for the reconfigurable generation of optical vortices," *J. Lightw. Technol.*, vol. 30, no. 18, pp. 3055–3060, Sep. 15, (2012).
10. J.F. Algorri, V. Urruchi et al., "Generation of Optical Vortices by an Ideal Liquid Crystal Spiral Phase Plate" *Electron Device Letters, IEEE*, Vol.:35 Issue: 8,p.856-858, (2014).
11. С.П. Котова, В.В. Патлань, С.А. Самагин, "Перестраиваемый жидкокристаллический фокусатор. 1. Теория" *Квантовая электроника* 41(1), 58-64, (2011).
12. С.П. Котова, В.В. Патлань, С.А. Самагин, "Перестраиваемый жидкокристаллический фокусатор. 2. Эксперимент", *Квантовая электроника* 41(1), 65-70, (2011).
13. S.P. Kotova, V.V. Patlan, S.A. Samagin, "Focusing light into a line segment of arbitrary orientation using a four-channel liquid crystal light modulator," *Journal of Optics* 15(3), 035706, (2013).
14. А.В. Коробцов, С.П. Котова, Н.Н. Лосевский, А.М. Майорова, С.А. Самагин. "Формирование контурных оптических ловушек с помощью четырехканального жидкокристаллического фокусатора", *Квантовая электроника*, 44(12), 1157-1164 (2014).
15. A. Korobtsov, S. Kotova, N. Losevsky, A. Mayorova, V. Patlan, S. Samagin, "Optical trap formation with a four-channel liquid crystal light modulator," *Journal of Optics* 16, 035704, (2014).
16. С.П. Котова, А.М. Майорова, С.А. Самагин, "Анализ световых полей, формируемых ЖК фокусатором, применительно к задачам трехмерной оптической манипуляции", *Известия высших учебных заведений. Физика*, 58 (10), 22-28, (2015).
17. С.П. Котова, А.В. Коробцов, Н.Н. Лосевский, А.М. Майорова, С.А. Самагин, "Жидкокристаллический фокусатор", *Фотоника*, 4 (58), 112-125, (2016).
18. S.P. Kotova, A.M. Mayorova and S.A. Samagin, Light fields generated by an LC focusing device in different operational regimes. *Proc. SPIE 10176, Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics 1017626* (November 9, 2016)
19. Д.О. Акатьев, А.А. Калачев, И.З. Латыпов, В.В. Самарцев, А.В. Шкаликов, «Узкополосные источники однофотонных импульсов на основе спонтанного параметрического рассеяния света в примесных нелинейных кристаллах», *Оптический журнал*, т.81, стр. 5-9, (2014).
20. А.Г. Витухновский, Д.А. Чубич, Д.А. Колымагин STED-наноитография трехмерных структур. Научная программа XII Международной научной школы «Наука и инновации – 2017», Йошкар-Ола, стр.9, (2017).

ДВУХЧАСТОТНЫЙ ФАЗОВЫЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ДАЛЬНОСТИ МЕТАНИЯ СПОРТИВНОГО СНАРЯДА И ЕГО ЭЛЕКТРОННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НА СВЧ-МОДУЛЯХ

Зыков С.А., Воронцов Д.А., Масленников А.В., Попов И.И.

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»

e-mail: popov@volgatech.net

Устройство будет применяться в центрах тестирования комплекса ГТО во всех регионах РФ. Решаются современные по обеспечению надежности и достоверности судейства при выполнении норм Комплекса ГТО в метании спортивного снаряда. Применение электронных СВЧ модулей позволяет снизить габариты электронного оборудования.

Высокое быстродействие увеличит пропускную способность от 40 до 600 участников в сутки. Высокая точность регистрации дальности метания (до 0,8 см) и автоматическое электронное протоколирование информации исключает возникновение спорных ситуаций. Обеспечивается новый уровень спортивного судейства в метательных видах спорта: от рулетки - к полной автоматизации, сверхвысокой точности и быстродействию. Структурная схема устройства приведена на рис. 1.

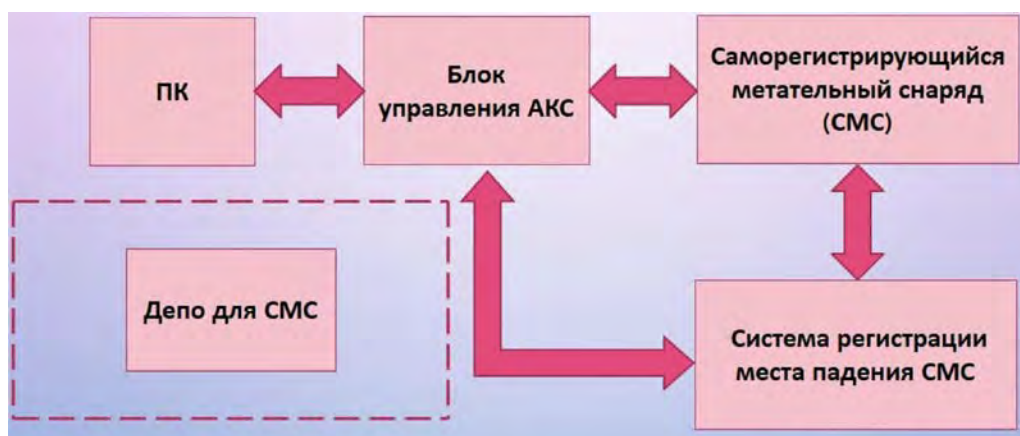


Рис. 1. Структурная схема устройства регистрации дальности метания спортивного снаряда

Метод регистрации результата основан на накоплении разности фаз между двумя потоками излучения с близкими частотами по мере продвижения этих потоков от линии старта до снаряда, в момент его падения на землю, и обратно. По регистрируемой разности фаз между частотами этих потоков излучения определяется удвоенное значение дальности метания. Частоты подобраны из диапазона частот f разрешенных для бытового использования. Чем выше частота, тем точнее значение. Разность периодов позволяет регистрировать дальность метания на расстояние до 150 метров. Функциональная схема устройства приведена на рис. 2. Генераторы высокой частоты (ГВЧ) выдают сигналы на частоте ω_0 и Ω . Попадая с ГВЧ $_{\Omega 1}$ на смеситель частот, ω_0 и Ω суммируются. В результате на передатчик подаются две частоты: ω_0 и $(\omega_0 + \Omega)$. Эти частоты дойдя до спортивного снаряда переотражаются в нем в момент первого касания снарядом поверхности земли. Отраженные сигналы принимаются приемником и поступают на гетеродинный смеситель СМ $_3$. В качестве частоты гетеродина на СМ $_3$ подается сигнал на частоте $(\omega_0 + \omega_{пр})$, которая получается от смешения на смесителе СМ $_2$ основной несущей частоты и сигнала промежуточной частоты $\omega_{пр}$, поступающей с генератора ГВЧ $_{пр}$. После смесителя СМ $_3$ сигнал биения двух частот $\omega_{пр}$ и $(\omega_{пр} + \Omega)$ усиливаются

на усилителе промежуточной частоты и далее детектируются на амплитудном детекторе. Далее сигнал с выхода амплитудного детектора поступает на первый вход фазометра. На второй вход фазометра через фазовращатель поступает сигнал с ГВЧ_{Ω1} на частоте Ω. Сигнал, полученный на выходе фазометра преобразуется в цифровой код в преобразователе сигналов. Полученный цифровой код передается в компьютер для дальнейшей обработки информации. Диаграммы излучаемых сигналов приведены на рисунках 3 и 4.

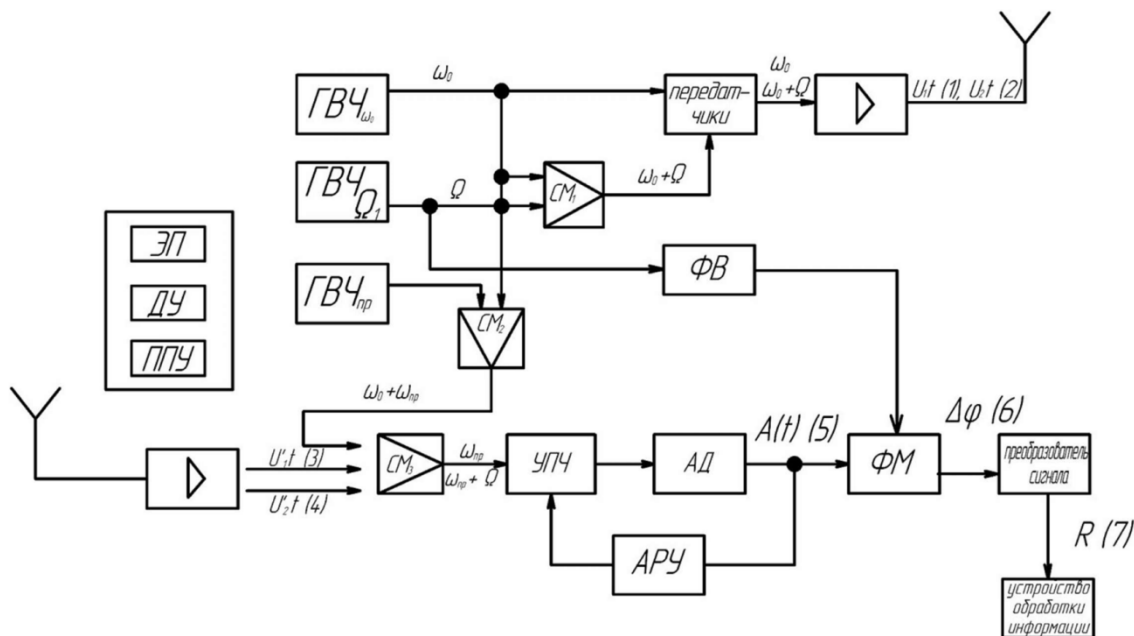


Рис. 2. Функциональная схема устройства регистрации дальности метания спортивного снаряда

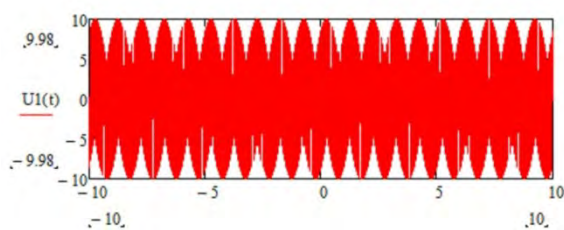


Рис. 3. Диаграмма сигналов, излучаемых на частоте ω_0

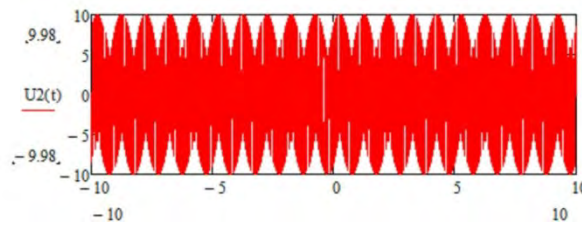


Рис. 4. Диаграмма сигналов, излучаемых на частоте $(\omega_0 + \Omega)$

Диаграммы принимаемых сигналов приведены на рисунках 5 и 6.

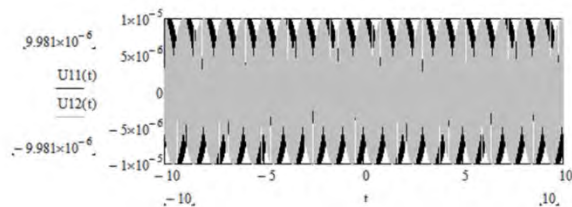


Рис. 5. Диаграммы сигналов, принимаемых на частоте ω_0

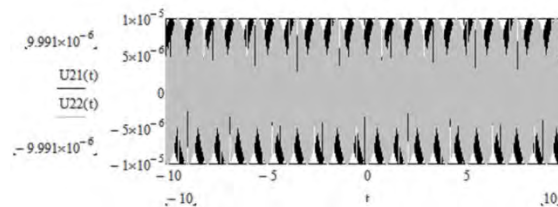


Рис. 6. Диаграмма сигнала, принимаемых на частоте $(\omega_0 + \Omega)$

Диаграммы сигналов биений на выходе детектора при расстоянии, равном 30 и 65 м, приведены, соответственно на рисунках 7 и 8.

Зависимость амплитуды биений на выходе фазометра от времени прохождения измеряемой дистанции туда и обратно между стартовой пинией и спортивным снарядом в момент его приземления приведена на рис. 9.

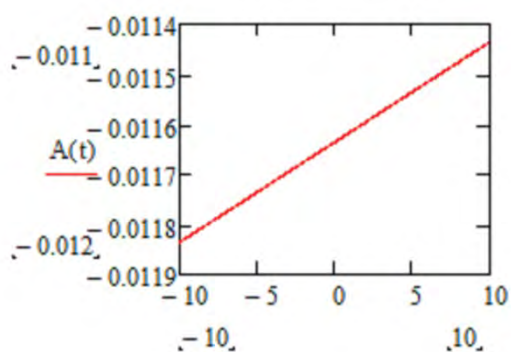


Рис. 7. Диаграммы сигналов биений на выходе детектора при расстоянии, равном 30 м.

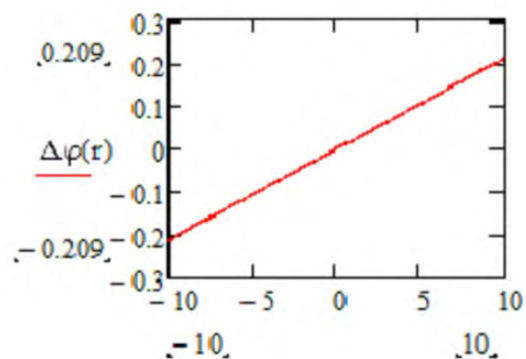


Рис. 8. Диаграммы сигналов биений на выходе детектора при расстоянии, равном 65 м.

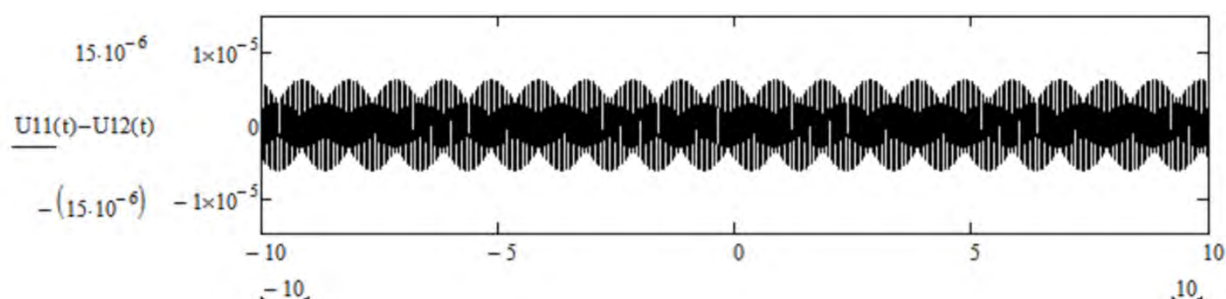


Рис. 9. Амплитуды биений сигналов на выходе фазометра

Зависимость разности фаз близких по значению частот зондирующих измеряемую дистанцию, от величины измеряемой дистанции, приведена на рис. 10.

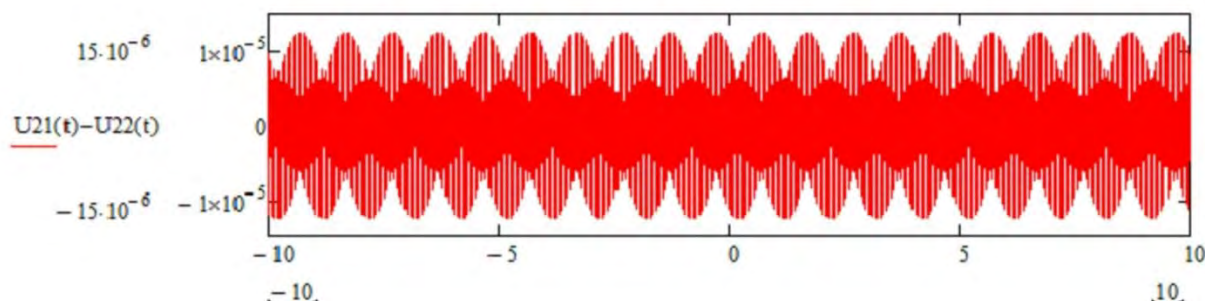


Рис. 10. Зависимость разности фаз близких по значению частот, зондирующих измеряемую дистанцию, от величины измеряемой дистанции.

Из приведенных результатов исследований следует, что поставленная цель автоматической регистрации дальности метания спортивного снаряда с помощью электронного устройства на СВЧ-модулях достижима.

В настоящее время электронной промышленностью выпускаются модули, на базе которых возможно решение этой задачи автоматизации процесса регистрации дальности метания спортивного снаряда.

Для обеспечения точности автоматической регистрации дальности метания спортивного снаряда рабочие частоты фазового радио-дальномера должны равняться 432,75 МГц и 433 МГц. Устройство для автоматической регистрации дальности полета метательного снаряда портативно и может работать от аккумулятора.

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ УПРАЖНЕНИЯ СИЛОВОЙ ГИМНАСТИКИ ДЛЯ ВФСК ГТО

А.В. Масленников, И.И. Попов

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
e-mail: popov@biht.oral@gmail.com

Разработан оптико-электронно информационно-измерительный комплекс контроля качества выполнения спортивного упражнения «отжимания от пола». Комплекс позволяет автоматизировать наиболее сложно-регистрируемые параметры этого упражнения, повышает объективность судейства выполнения упражнения, исключает субъективные факторы контроля выполнения правил и возможность приписок.

Ключевые слова: ГТО, оптико-электронно информационно-измерительный комплекс контроля качества выполнения спортивного упражнения

Optoelectronic information-measuring complex for quality control of performance of sports exercise "push-ups from the floor" has been developed. The complex allows you to automate the most difficult-registered parameters of this exercise, increases the objectivity of judging the exercise, excludes subjective factors controlling the implementation of rules and the possibility of attribution.

Keywords: TRP, optico-electronic information-measuring complex for quality control of performance of sports exercises

Цель создания системы регистрации качества выполнения упражнения силовой гимнастики – повышение надежности процесса судейства испытания Комплекса ГТО по сгибанию и разгибанию рук в упоре лежа на полу (СРРЛП) и достоверности получаемых данных путем разработки методов и средств автоматизации судейства и исследования результатов их применения.

Актуальность работы определяется необходимостью уменьшения субъективных ошибок судейства и предотвращение приписок при сдаче нормативов Комплекса ГТО, связанных с силовой гимнастикой. Объективный контроль правил выполнения упражнений силовой гимнастики и судейства показанного результата требует создания современных электронных средств автоматизации судейства. Обязательным элементом этой работы является создание датчиков первичной информации о дискретных положениях тела человека и разработка методов контроля правил выполнения упражнения на основе информации, поступающей с датчиков.

Качество работы датчиков первичной информации о положении тела человека зависит не только от их физического принципа действия, но и от анатомических особенностей участника, выполнения нормативов Комплекса ГТО (пола, возраста, антропометрических данных). Объективность контроля повышается за счет автоматизации процесса судейства и применения современных информационных технологий и средств беспроводной передачи данных при обмене информацией между судейским стендом и центральным компьютером, формирующим итоговый протокол.

Правила выполнения СРРЛП включают в себя следующие пункты:

- испытуемый принимает исходное горизонтальное положения с упором на вытянутых руках; ладони находятся на ширине плеч и развернуты вперед; спина и нижние конечности образуют прямую линию;

- испытуемый, посредством сгибания рук в локтевом суставе, принимает нижнее положение на высоте 5 см от пола; при этом он не должен его касаться; спина и нижние конечности должны образовывать прямую линию; время нахождения в нижнем положении не более 1 с;

- испытуемый, разгибая руки, принимает исходное положение;

- во время сгибания и разгибания рук угол между плечом и туловищем не должен превышать 45°, и испытуемый должен сохранять прямолинейность туловища и нижних конечностей.

А)



Б)



Рис. 1. А) Исходное положение при выполнении СРРЛП; Б) Нижнее положение при выполнении СРРЛП

Проводя анализ вышеизложенных правил выполнения упражнения можно выделить следующие контрольные условия, задающие геометрические и временные параметры движения тела испытуемого:

1. Позиция ладоней на ширине плеч и в прямом направлении;
2. Прямолинейность туловища и нижних конечностей в исходном положении;
3. Угол между локтем и туловищем при сгибании рук;
4. Сохранение прямолинейности тела и нижних конечностей при сгибании рук;
5. Высота над полом в нижнем положении 5 см;
6. Отсутствие касания пола телом и нижними конечностями;
7. Сохранение прямолинейности тела и нижних конечностей в нижнем положении;
8. Время нахождения в нижнем положении не более 1 с;
9. Угол между локтем и туловищем при разгибании рук;
10. Сохранение прямолинейности тела и нижних конечностей при разгибании рук.

Для контроля вышеперечисленных параметров предлагается оптико-электронная информационно-измерительная система, которая позволяет автоматизировать наиболее сложно-регистрируемые параметры и состоит из следующих датчиков: шторки контроля положения локтя, платформа контроля нижнего положения, датчики положения спины (Рисунок 2). Датчики размещены таким образом, чтобы производить контроль перемещения 7 точек: 2 точки на локтях участника, 4 на профиле туловища и нижних конечностей и 1 на середине грудины.

Участник принимает исходное положение в упоре на вытянутых руках, размещая кисти рук в выделенной зоне около шторок контроля положения локтя. Датчики положения спины размещаются согласно контрольным точкам: первый датчик – на уровне плеч, второй – на уровне поясницы, третий – в середине бедра, четвертый – в середине голени. При этом допускается неточность выставления этих датчиков, которая не влияет на получение информации о прямолинейности туловища и нижних конечностей. Данное допущение связано с тем, что измерительная система в своей работе будет использовать в качестве эталона текущий профиль участника в исходном положении. Такую «калибровку» прибор произведет самостоятельно по нажатию кнопки оператором «Начать выполнение» на пульте управления.

Во время выполнения участником упражнения СРРЛП датчики положения локтя отслеживают нарушение оптических лучей, образующих контрольную граничную плоскость под углом 45° к туловищу. Их срабатывание информирует систему о нарушении угла между плечом и туловищем. При этом делает разграничение на ошибку во время опускания в нижнее положение и ошибку при подъеме, когда участник прикладывает максимальное усилие. Контактная платформа, обеспечивающая контроль нахождения участника в нижнем положении, срабатывает при достижении максимально допустимого расстояния 5 см между туловищем и полом. Дополнительно система производит отсчет времени срабатывания для фиксации нижнего положения. Если срабатывание длится более 1 с, то это считается нарушением правил выполнения. Также отсутствие срабатывания контактной платформы не позволит оператору засчитать текущую попытку участника.

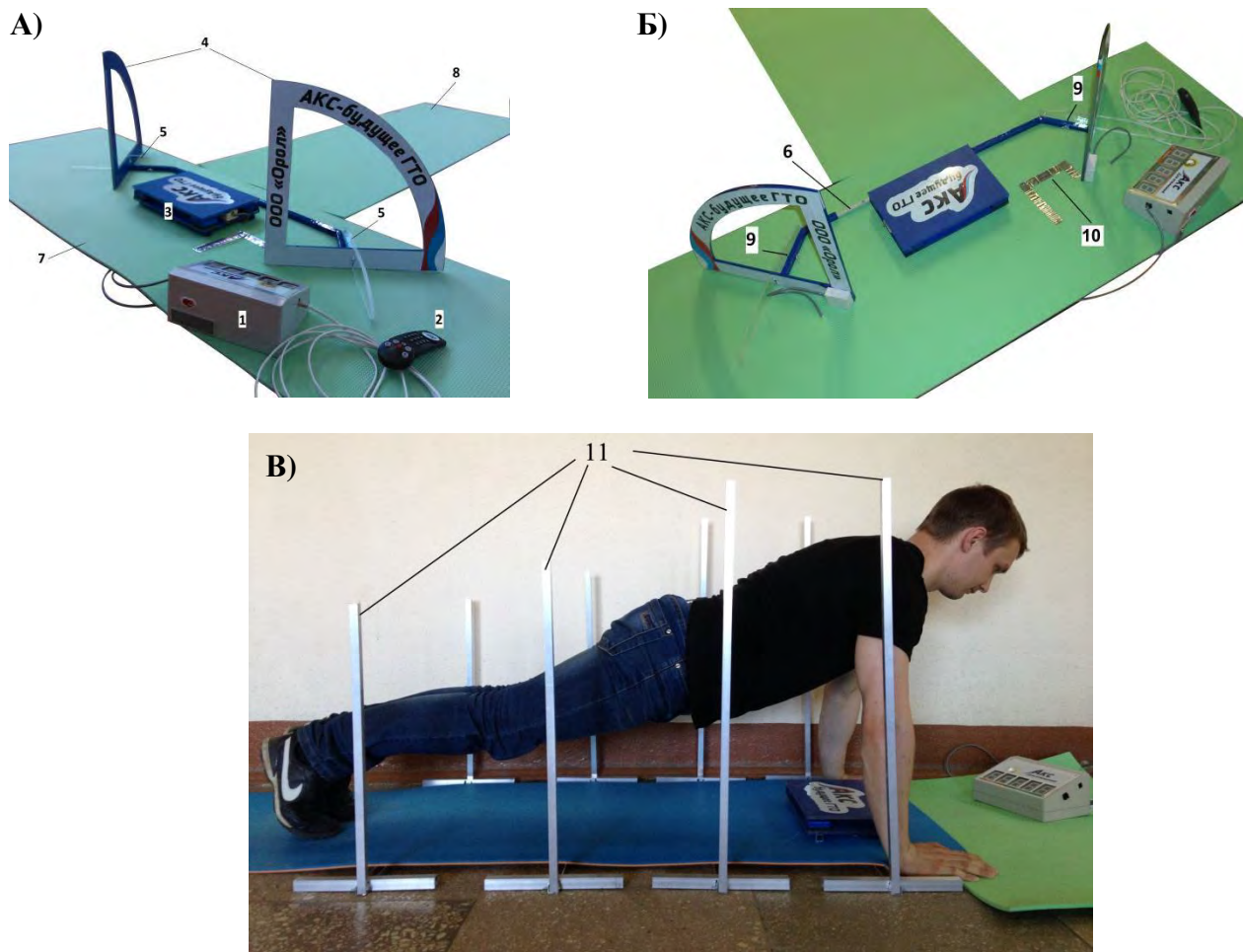


Рис. 2. Оптико-электронная измерительный стенд, где:

А) внешний вид, Б) вид сверху В) вид сбоку: 1 – блок управления; 2 – пульт управления; 3 – напольная контактная платформа; 4 – боковые ограничительные оптические шторки для локтей; 5 – держатель боковых шторок; 6 – фиксатор расстояния между шторками; 7 – передний коврик; 8 – задний коврик; 9 – направляющие положения держателя боковых шторок; 10 – зона нахождения левой кисти руки; 11 – датчики положения спины

Датчик положения спины выполняет анализ контрольных точек, зафиксированных в исходном положении, на протяжении всего времени выполнения упражнения. При этом срабатывание датчика возможно по 4 причинам: нарушение исходного состояния, в которое участник должен возвращаться после выполнения попытки, нарушение прямолинейности нижнего положения (прогибы, касания пола и т.д.), а также нарушение прямолинейности туловища и нижних конечностей во время переходов из верхнего состояния в нижнее и наоборот. Такой контроль осуществляется с помощью кадровой фиксации движения и сопоставлением её с расчетными положениями, учитывая допустимые погрешности, включающие как аппаратные ошибки, так и методические. Методические ошибки или допустимые при выполнении упражнения отклонения туловища и нижних конечностей от прямолинейного состояния были получены методом экспертных оценок.

После выполнения всех попыток оператор нажимает кнопку на пульте «Закончить выполнение». При этом стенд отправляет данные о количестве попыток, включая данные о допущенных ошибках, на центральный компьютер, где формируются 2 вида протоколов: индивидуальный и групповой (Рисунок 3).

Индивидуальный протокол содержит информацию о правильно выполненных подходах, ошибочных подходах, а также частоту допущенных ошибок, записанную в процентах.

По этой статистике специалист может выдать рекомендации индивидуального тренировочного процесса, направленного на гармонизацию развития мышц тела испытуемого. Групповой протокол, содержащий среднее значение правильных повторений, максимальный и минимальный результат в группе, а также статистику допущенных участниками ошибок. Такая информация позволит специалистам в области физической культуры выработать рекомендации и предложения в программы физического воспитания, направленные на гармонизацию развития мышц группы испытуемых.

| | | | |
|--|-----|------------------------|--|
| Дата: 22.08.2017 Время начала: 15.21 Продолжительность: 3 мин 43 с | | СТЕНД 2 | |
| Протокол № 32 | | | |
| Сгибание разгибание рук в упоре лёжа на полу | | | |
| Фамилия: Суворцова | | Возраст (лет) | |
| Имя: Ирина | | 15 | |
| Отчество: Максимовна | | | |
| Результат 7 | | Не зачтено 6 | |
| Ошибки: | | | |
| 1. Прямолнейность спины в иск. Положении | 16% | 0% | |
| 2. При сгибании рук локоть за допустимой границей | | 0% | |
| 3. При сгибании рук сохранение прямолинейности | | 0% | |
| 4. Отсутствие касания платформы | | 0% | |
| 5. Прямолнейность спины в нижнем положении | | 0% | |
| 6. Лежание на платформе | | 0% | |
| 7. При разгибании рук локоть за допустимой границей | 33% | | |
| 8. при разгибании рук сохранение прямолинейности | 83% | | |
| Рекомендации: | | | |
| | | | |
| | | | |
| Оператор: Иванов В.А. | | Судья: Рыжов Г.Н. | |

А)

| | | | |
|---|--|---------------------------|--|
| Дата: 24.08.2017 Время начала: 10.30 Продолжительность: --- | | СТЕНД 2 | |
| Протокол № 40 | | | |
| Сгибание разгибание рук в упоре лёжа на полу | | | |
| Группа: 7А Класс | | Кол-во человек 12 | |
| Средний результат 5 | | Не зачтено 55 % | |
| Ошибки: | | | |
| 1. Прямолнейность спины в иск. Положении | | 35% | |
| 2. При сгибании рук локоть за допустимой границей | | 40% | |
| 3. При сгибании рук сохранение прямолинейности | | 10% | |
| 4. Отсутствие касания платформы | | 15% | |
| 5. Прямолнейность спины в нижнем положении | | 20% | |
| 6. Лежание на платформе | | 4% | |
| 7. При разгибании рук локоть за допустимой границей | | 60% | |
| 8. при разгибании рук сохранение прямолинейности | | 90% | |
| Рекомендации: | | | |
| | | | |
| | | | |
| Оператор: Иванов В.А. | | Судья: Рыжов Г.Н. | |

Б)

Рис. 3. Выходные протоколы работы системы: А) индивидуальный; Б) групповой

Выводы: прикладное значение оптико-электронной информационно-измерительной системы заключается в следующем:

1. Система повышает объективность судейства выполнения упражнения СРРПД, исключая субъективные факторы контроля выполнения правил и исключая возможность приписок;
2. Выходные протоколы могут служить аналитическим материалом специалистам в области физического воспитания для выработки рекомендаций по гармонизации физической подготовленности участников индивидуально и в группах.

У системы существует потенциал для развития в направлениях по увеличению количества контролируемых упражнений, а также внедрению в систему базы знаний, позволяющей формировать рекомендации по улучшению тренировочного процесса как в отдельных видах упражнений, так и в целом для улучшения физической подготовки участника.

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЕНОК
МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ****А.В. Мороз, Е.А. Рыжова**

Поволжский государственный технологический университет
г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
e-mail: MorozAndrey2405@mail.ru

Представлены исследования по технологии изготовления различных элементов микроэлектроники методом реактивного магнетронного распыления в кислородсодержащей атмосфере. Рассмотрены особенности формирования резистивных пленок на основе оксида элементов нержавеющей стали и мемристоров на основе оксида титана.

Ключевые слова: оксид титана, мемристоры, реактивное магнетронное распыление, резистивные пленки

Studies on the technology of manufacturing various elements of microelectronics by the method of reactive magnetron sputtering in an oxygen-containing atmosphere are presented. The features of the formation of resistive films based on the oxide of stainless steel elements and memristors based on titanium oxide are considered.

Key words: titanium oxide, memristors, reactive magnetron sputtering, resistive films

Все большее применение при изготовлении электронных компонентов находит реактивное магнетронное распыление. Это объясняется возможностью одновременного покрытия поверхности большой площади, а также возможностью в едином технологическом цикле получать тонкопленочные слои с различными материалами [1]. Целью проведенного исследования явилось исследование влияния концентрации кислорода на формирование резистивных слоев с различными свойствами.

В качестве мишеней были выбраны нетрадиционные для микроэлектроники материалы – нержавеющая сталь и титан. Формирование пленок проводилось на автоматизированной установке магнетронного распыления [2].

Нержавеющая сталь выбиралась как материал – альтернатива повсеместно используемым в настоящее время для изготовления резисторов РС-сплавов. РС-сплавы на протяжении многих лет были незаменимы при изготовлении резисторов термическими методами испарения. Но при переходе к промышленно более эффективному способу изготовления резисторов магнетронному распылению, мишени из РС сплавов не стали удовлетворять технологическим требованиям. Причиной этого явилось наличие в составе РС-сплава связующих элементов, которые при магнетронном распылении непредсказуемо влияли на состав и свойства формируемой пленки [3]. Нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т1 по своему химическому составу идентична многим РС-сплавам.

В качестве второй мишени был выбран титан как основа для изготовления мемристоров – приборов, изменяющих свое сопротивление в зависимости от протекающего через него заряда. Технология изготовления мемристоров начинает только развиваться. Первый мемристор в лабораторных условиях был изготовлен менее 10 лет назад. На основе этих приборов в будущем планируется изготавливать новый вид независимой памяти – резистивной. Память этого типа может выступать и самостоятельно в виде трехмерных запоминающих устройств (ЗУ) сверхбольшого объема [4].

Необходимое удельное поверхностное сопротивление получаемой пленки оксида элементов нержавеющей стали варьируется за счет добавления кислорода в состав атмосферы магнетронного разряда. На рисунке 1 представлена зависимость удельного поверхностного сопротивления от концентрации O_2 . Режим напыления пленок: рабочее давление в камере – 1 Па, температура подложек $200^\circ C$, ток разряда магнетрона 0,9 А, время напыления 60 с. Содержание кислорода варьировалось от 2 до 9 %. При более высоких концентрациях кислорода пленки получались диэлектрическими.

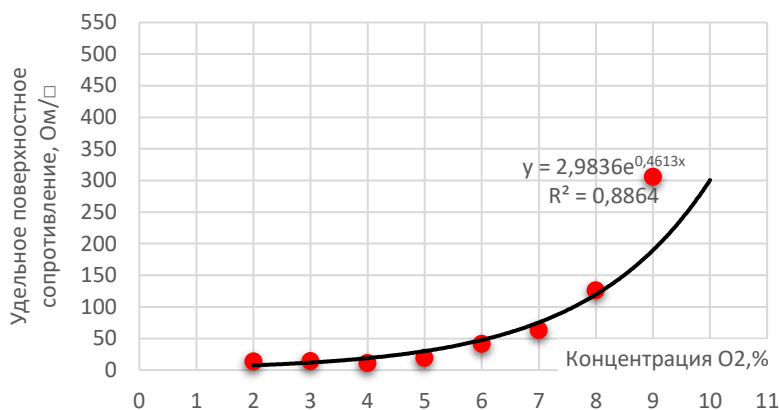


Рис. 1. Зависимость удельного поверхностного сопротивления от концентрации O₂.

распределения поверхностного сопротивления по подложке уменьшилась на 18% а удельное сопротивление снизилось в два раза, что, по-видимому, объясняется диффузированием кислорода из объема пленки.

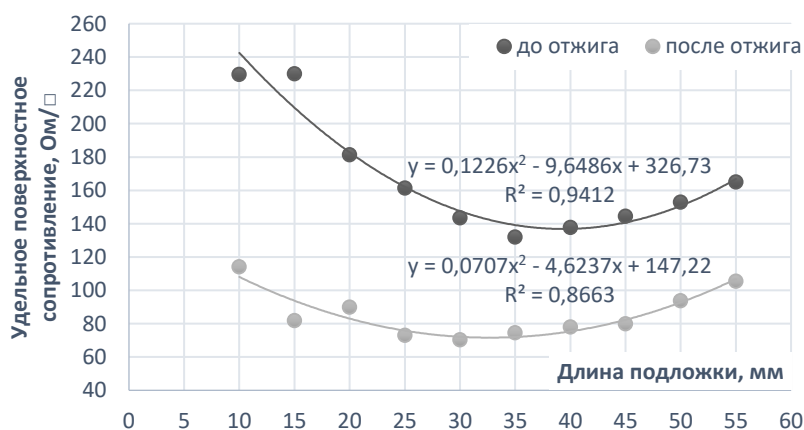


Рис. 2. Неравномерность распределения сопротивления по поверхности подложки до и после операции отжига.

ного на отрицательный и принимает нулевое значение на 5% содержания кислорода при распылении.

Также была измерена ТКС формируемых пленок. При этом была найдена интересная зависимость (Рис. 3). ТКС в зависимости от концентрации кислорода во время напыления пленки меняет свой знак с положитель-

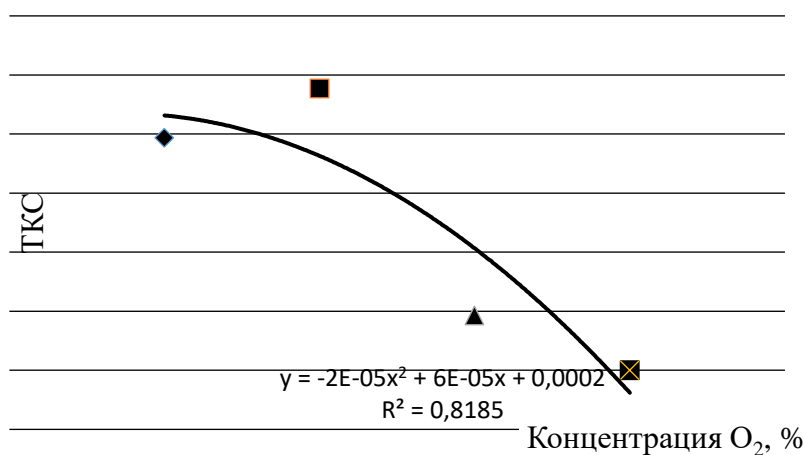


Рис. 3. Зависимость ТКС от концентрации O₂

ного на отрицательный и принимает нулевое значение на 5% содержания кислорода при распылении.

Было опробовано несколько конструкций мемристоров и несколько технологических режимов реактивного магнетронного распыления титана в кислородсодержащей атмосфере. Конструктивно мемристор представлял собой четырехслойную структуру состоящую из нижнего электрода – медь с подслоем хрома, 1 активный слой TiO₂, 2 активный слой TiO_x, верхний медный электрод. Наиболее удачный технологический режим формирования активных слоев мемристора приведен ниже.

Первый активный слой TiO₂ формировался в течении 420 секунд при токе на мишени 1 А и при давлении в камере 1 Па. Соотношение аргона и кислорода в камере составляло

соответственно 80% и 20%. Слой TiO_x формировался в течении 600 секунд при токе на мишени 1 А и при давлении в камере 1 Па. Соотношение аргона и кислорода в камере составляло соответственно 80% и 20%.

Была снята вольт амперная характеристика изготовленного мемристора (рис. 4). Напряжение формовки (переключения) составило 0,9 В. Добротность (отношение сопротивлений) полученного мемристора составила порядка 2

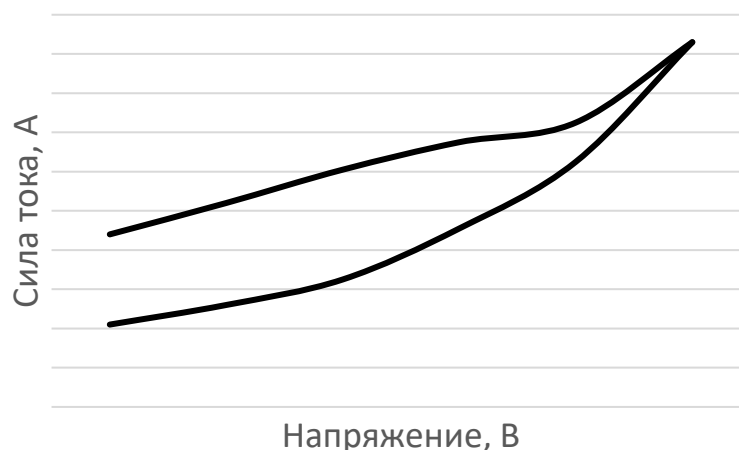


Рис. 4. Вольт амперная характеристика резистора

Таким образом показано, что при помощи реактивного магнетронного распыления в кислородсодержащей атмосфере можно на основе нетрадиционных для микроэлектроники материалов получать как вполне стандартные резисторы более технологичным способом так и наноионные устройства.

Список литературы

- [1] Берлин, Е.В. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок / Е.В. Берлин, С.А. Двинин, Л.А. Сейдман. – М.: Техносфера, 2007. – 176с.
- [2] Сушенцов, Н.И. Автоматизированная установка магнетронного распыления для получения наноструктурированных пленок/ Н.И. Сушенцов, Д.А. Двоглазов, А.В. Мороз [и др.] // Сборник тезисов докладов научно-технологических секций «Международного форума по нанотехнологиям 09». – г. М., 2009. – С. 51–52.
- [3] Katnani, A.D. Effects of oxidation on the electrical resistance of cermet thin films A.D. Katnani, L.J. Matienzo, F. Emmi // J. of materials science letters – 1989. No. 8 – P. 1177 – 1178.
- [4] Гудков, А. Мемристоры – новый тип элементов резистивной памяти для наноэлектроники/А.Гудков, А.Гогин, М.Кик [и др.] // ЭЛЕКТРОНИКА наука | технология | бизнес. – 2014. – № 137. – С.156-162

УДК 621.3

УСТРОЙСТВО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО ФАЗАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4 КВ

А.А. Савельев¹, А.И. Орлов²¹Филиал ПАО «МРСК Центра и Приволжья» – «Мариэнерго»;²ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет»

E-mail: karlorlov@gmail.com

В работе обоснована потребность в устройстве перераспределения нагрузки по фазам электрических сетей 0,4 кВ. Предложена схема устройства, рассмотрены особенности его технической реализации.

Ключевые слова: симметрирование, силовой ключ, симистор.

The paper demonstrate the necessity for load redistribution unit of the phases of 0.4 kV electric mains. Proposed the scheme of device, features of its technical realization are considered.

Keywords: balancing, symmetrization, power switch key, triac.

1. Введение. Распределительные электрические сети 0,4 кВ работают в несимметричном режиме. Технологические потери электроэнергии в сельских распределительных сетях 0,4 кВ выросли почти в 3 раза за последнее десятилетие и достигают 30 % [1]. Главной причиной этого является несимметрия присоединенной нагрузки: основная доля потребителей в этих сетях являются однофазными электроприёмниками, их количество и режимы работы постоянно меняются. Несимметричные режимы работы сетей 0,4 кВ встречаются также в городских условиях [2].

Несимметричный характер потребления электроэнергии приводит к ухудшению её качества. Напряжение обратной последовательности, появляющееся в несимметричной трехфазной сети приводит к электрическим потерям в ней и отрицательно влияет на работу как однофазных, так и трёхфазных электроприемников. В результате падений напряжения на полных сопротивлениях линии электропередачи снижается напряжение в удаленных от источника точках присоединения потребителей. Отклонения напряжения в часы максимума нагрузок превышают предельно допустимое стандартом значение $\pm 10\%$ [3]. Для однофазных потребителей несимметрия приводит к существенному сокращению срока службы, для трехфазных устройств электропривода, помимо этого, – к снижению мощности и КПД, повышенному тепловыделению в электрооборудовании. Следовательно, проблема несимметрии токов и напряжений вызывает существенные экономические потери и должна быть решена.

Одним из эффективных методов решения проблемы несимметрии токов и напряжений в трехфазных электрических сетях является выравнивание нагрузки по фазам на этапе проектирования системы электроснабжения и периодическая корректировка распределения нагрузки по фазам в течение эксплуатации. При этом максимальный эффект достигается, если корректировка производится непрерывно по специальным алгоритмам [4, 5, 6]. Такой подход определяет потребность в устройстве, способном производить перераспределение нагрузки по фазам электрической сети, не нарушая электроснабжения потребителей и нормального режима работы их электроприемников.

Техническая реализация устройства. Разработанное устройство предназначено для перераспределения нагрузки по фазам электрической сети и состоит из 3 групп силовых ключей – по числу фаз нагрузки. Каждая группа ключей в свою очередь состоит из 3 ключей переменного тока – по числу фаз электрической сети. Нейтральный провод подключается со стороны электрической сети к нагрузке непосредственно. В совокупности 9 силовых ключей позволяют подключить любую фазу отходящей линии нагрузки к любой фазе электрической сети.

С целью обеспечения высокой скорости коммутации рассматривалось три варианта исполнения силовых ключей: встречно включенные MOSFET транзисторы, встречно включенные IGBT транзисторы и симисторы, показанные на рис. 1.

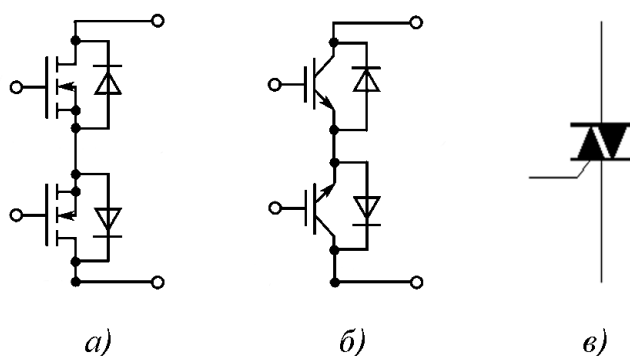


Рис. 1. Силовые ключи переменного тока:
а) на MOSFET транзисторах;
б) на IGBT транзисторах; в) в виде симистора.

MOSFET и IGBT транзисторы обеспечивают высокую скорость коммутации, позволяя как включать, так и выключать управляемую цепь по сигналу. Управляясь напряжением, они практически не имеют потерь в цепи управления. Симистор устроен так, что переходит в открытое состояние по управляющему сигналу, а в закрытое – в момент прохода кривой мгновенного значения тока в управляемой цепи через нуль при отсутствии управляющего сигнала. Это означает, что скорость коммутации будет ограничена, и минимальное значение бестоковой паузы при выполнении коммутаций будет составлять 0,02 с.

Результаты экспериментов по коммутациям силовых цепей с различными подключенными нагрузками показали, что бестоковая пауза в один период промышленной частоты (0,02 с) при переключении потребителя с одной фазы электрической сети на другую не приводит к нарушению его нормальной работы.

За 0,02 с все три фазы нагрузки гарантированно отключаются симисторами. Кроме того, выполнения ими коммутаций силовых цепей не сопровождается перенапряжениями ввиду особенностей их работы. Таким образом, силовой ключ может быть представлен одним симистором, что позволяет значительно уменьшить габаритные размеры силовой части симметрирующего устройства, а также снизить её стоимость по сравнению с применением MOSFET или IGBT транзисторов.

За 0,02 с все три фазы нагрузки гарантированно отключаются симисторами. Кроме того, выполнения ими коммутаций силовых цепей не сопровождается перенапряжениями ввиду особенностей их работы. Таким образом, силовой ключ может быть представлен одним симистором, что позволяет значительно уменьшить габаритные размеры силовой части симметрирующего устройства, а также снизить её стоимость по сравнению с применением MOSFET или IGBT транзисторов.

Схема подключения микроконтроллера экспериментального образца устройства представлена на рис. 2. Цепи управления устройства питаются от источника постоянного тока напряжением 9 В. Для питания отдельных элементов предусмотрен стабилизатор напряжения 5 В.

Управление симисторами ВТА25-800В выполняется по схеме, изображенной на рис. 3. Одна из диагоналей диодного моста DB107С подключена к управляющему электроду и силовому электроду симистора, а в другую диагональ подключен MOSFET транзистор IRFI830G. Для перевода симистора в проводящее состояние подается управляющий импульс на затвор MOSFET транзистора. Транзистор открывается, позволяя току нагрузки протекать через симистор по пути «управляющий электрод – силовой электрод». Когда ток нагрузки достигает порогового значения (значения тока отпирания симистора), симистор переходит в проводящее состояние, и ток нагрузки течет через симистор по пути «силовой электрод – силовой электрод».

Для предотвращения коротких замыканий силовой цепи по цепям управления, каждый MOSFET транзистор управляется микроконтроллером через транзисторные оптроны PC123 от индивидуального источника постоянного напряжения. Все девять индивидуальных источников постоянного напряжения гальванически не связаны между собой и с цепями питания микроконтроллера, выполнены на трех четырехобмоточных импульсных трансформаторах, работающих на частоте 62 кГц, см. рис. 4. Для отображения текущего положения силовых ключей предусмотрен дисплей LCD 1602A. Команды на выполнение коммутаций передаются на микроконтроллер модуля коммутации от блока управления через интерфейс UART (взаимодействие может быть обеспечено проводным или беспроводным способом).

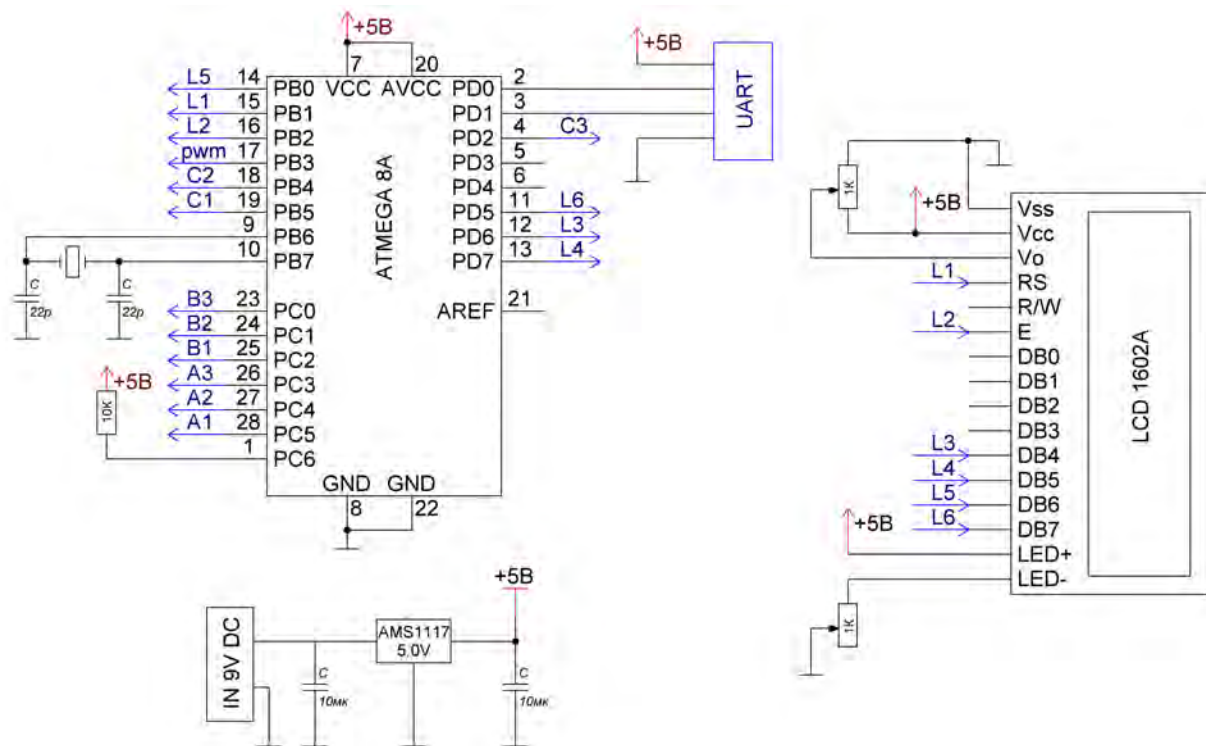


Рис. 2. Схема подключения микроконтроллера.

Рис. 3. Принципиальная схема силового ключа.

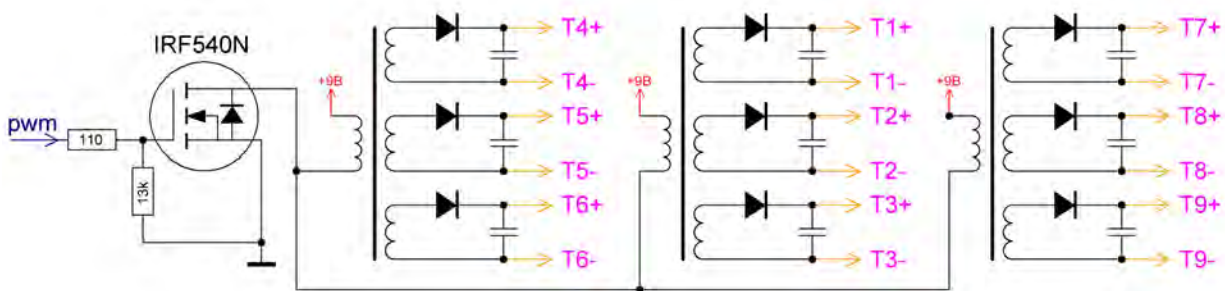
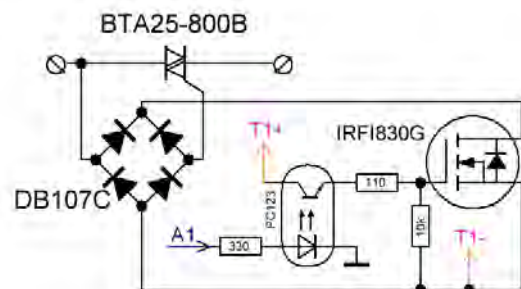


Рис. 4. Схема подключения импульсных трансформаторов.

Управляющая программа для микроконтроллера ATmega8A написана на языке C++. Быстродействие микроконтроллера удвоено переключением его на внешний генератор тактовых сигналов частотой 16 МГц, выполненного в виде кварцевого резонатора.

На основе предложенной схемы создан образец модуля коммутации, рис 5, работоспособность которого подтверждена экспериментально.



Рис. 5. Внешний вид коммутационного модуля экспериментального образца маломощного устройства.

Заключение

Таким образом, существующая проблема несимметрии токов и напряжений в трехфазных электрических сетях может быть решена. С этой целью разработано устройство перераспределения нагрузки по фазам электрических сетей 0,4 кВ, способное реализовать алгоритмы симметрирования трехфазных электрических сетей, приведенные в работах [4, 5, 6].

Список литературы

- [1] Бородин И.Ф., Сердешнов А.П. Потери электроэнергии в сельских сетях и пути их снижения // Техника в сельском хозяйстве, 2002, №1, С. 23-26.
- [2] Орлов А.И., Волков С.В., Савельев А.А. Алгоритмы управления устройством выравнивания нагрузки многофазной электрической сети // Материалы Одиннадцатой международной научной школы "Наука и инновации-2016". Йошкар-Ола: ПГТУ. С. 110-119.
- [3] ГОСТ 523144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
- [4] Орлов А.И., Волков С.В., Савельев А.А. Анализ влияния устройства выравнивания нагрузки на показатели несимметрии электрической сети // Вестник Чувашского университета. 2016. № 3. С. 100-109.
- [5] Орлов А.И., Волков С.В., Савельев А.А. Алгоритмы управления трехфазным устройством выравнивания нагрузки электрической сети // Вестник Чувашского университета. 2017. № 1. С. 162-172.
- [6] Заявка на пат. № 2016127923, 11.07.2016. Способ симметрирования многофазной электрической сети и устройство для его реализации / Орлов А.И., Савельев А.А.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧКИ РАЗМЫКАНИЯ В СЛОЖНОЗАМКНУТЫХ ВОЗДУШНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 КВ**В.Т. Сидорова, В.В. Карчин**

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

В данной статье мы предлагаем методику для определения точки открытия комплекса закрытых гетерогенных сетей с напряжением 110 кВ. Обоснованность предложенной методики проверена на нескольких типовых сетях в регионе. Получен экономический эффект от применения предлагаемой методики в сравнении с текущим распределением потока.

Ключевые слова: гетерогенные сети с напряжением 110 кВ, точка открытия комплекса

In this paper, we propose a technique for determining the opening point for complex closed heterogeneous networks with a voltage of 110 kV. The validity of the proposed methodology is verified using several typical networks for the region. The economic effect from the application of the proposed methodology in comparison with the current flow distribution is obtained.

Key words: heterogeneous network with a voltage of 110 kV, point the opening of the complex

1. Введение. Электрические сети часто являются неоднородными из-за различного отношения X/R_j на их участках [1, 2]. Согласно расчетам, в такой сети естественное распределение мощностей не совпадает с экономическим [3]. При естественном распределении мощностей потери активной мощности могут значительно превышать потери мощности при экономическом распределении [4].

Режим экономического распределения можно получить, если обеспечить вынужденное распределение потоков мощности в системе. Это можно осуществить: введением уравнивающей ЭДС, подключением устройств продольной компенсации к отдельным линиям передачи или замыканием сети в точках раздела мощности, соответствующих экономическому распределению. Наиболее распространенным является последнее мероприятие, поскольку является более простым, экономичным и обеспечивает надежность работы всей системы [2].

Большая часть существующих электрических сетей была спроектирована и построена несколько десятков лет назад в соответствии с методом экономической плотности тока. Поэтому существующее распределение мощностей может не соответствовать экономическому, что может приводить к значительным потерям электроэнергии.

В процессе передачи электрической энергии по проводам напряжение в узлах системы может быть различным по отношению к номинальному напряжению. Это определяется балансом реактивной мощности, графиком нагрузки узла, падением напряжения на участках сети, коэффициентом трансформации трансформаторов на подстанциях, режимом работы средств компенсации реактивной мощности.

Определение точки экономического потокодела. Отличительной особенностью воздушных сетей 110 кВ является их эксплуатация в нормальном режиме преимущественно при естественном потокоделении. Это связано с обеспечением надежности энергоснабжения. При таком распределении потери электроэнергии могут превышать на 20 % от общих потерь по сравнению с режимом экономического потокодела.

В данной работе было проанализировано несколько типичных воздушных сетей 110 кВ. По данным плановых замеров в сетях были определены точки экономического потокодела и проведено сравнение потерь электроэнергии с существующим потокоделением. Во всех случаях точка экономического потокодела не совпала с точкой естественного потокодела. Потери электроэнергии при экономическом

потокораспределении для всех исследованных сетей получились примерно на 20 % меньше, чем при имеющимся в сетях.

Кроме того, был проведен расчет перетоков мощностей в сетях по имеющимся данным о нагрузках по известной методике, не учитывающей потери мощности в линии, уравнительную мощность и зарядную мощность. После этого был проведен расчет перетоков по тем же данным, но с учетом вышеперечисленных величин.

В связи со значительной протяженностью сетей 110 кВ, потери мощности в линии могут быть значительными, так же, как и зарядная мощность, генерируемая линией. Уравнительная мощность протекает в неразомкнутой сети, если отличаются значения напряжений головных участков сети, и определяется следующим образом [2]:

$$S_{урав} = \frac{(U_A - U_B) \cdot U_{ном}}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4}, \quad (1)$$

где U_A , U_B – реальные значения напряжения в точках питания, Z^* – комплексно-сопряженные сопротивления участков линии, Ом.

Генерация зарядной мощности может быть определена [2]:

$$Q_{C1} = Q_{C2} = \frac{1}{2} B_C U_{ном}^2, \quad (2)$$

где B_C – емкостная проводимость участка трёхфазной линии. В этом случае потоки мощности по участкам будут определяться [5]:

$$S_{ij} = S_i - j \frac{Q_{ij}}{2}. \quad (3)$$

Потери мощности в линии и на ответвлениях можно определить [6]:

$$S_{ij} = S_{i-1,j-1} \pm S_i \pm \Delta S_i, \quad (4)$$

где $\Delta S_i = \frac{S_i^2}{U_{ном}^2} \cdot (R_{ij} + jX_{ij})$; R_{ij} – активное сопротивление, X_{ij} – реактивное сопротивление рассматриваемого участка, Ом; знаки мощностей нагрузок и потерь мощности определяются направлением перетоков мощностей.

Было проведено сравнение полученных значений перетоков с использованием общеизвестной методики и методики, учитывающей потери мощности в линии, уравнительную и зарядную мощности, с реальными значениями перетоков. Как показал анализ значение перетоков, полученные с использованием общепринятой методики, значительно отличались от реальных (меньше до 30 %). Значение перетоков, полученные с учетом потерь мощности в линии, уравнительной и зарядной мощностей, имели незначительные отклонения от реальных значений (не более 5 %).

Заключение

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы. Во-первых, при экономическом распределении мощностей в сетях 110 кВ потери активной мощности могут

быть уменьшены до 20 % по сравнению с естественным распределением. Во-вторых, при проектировании точек размыкания в сетях 110 кВ необходимо учитывать возможные значения потерь мощности в линии, уравнивающей и зарядной мощностей. В-третьих, в электрических сетях 110 кВ как наиболее разветвленных и протяженных по длине, предлагается ввести постоянный контроль над перетоками мощностей. Путем схемных решений возможно добиться эффективной передачи электроэнергии.

Список литературы

- [1] А.В. Лыкин *Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электрических сетях*, НГТУ, Новосибирск (2013) 115 с.
- [2] Герасименко А.А., Федин В.Т. *Передача и распределение электрической энергии*, Изд. 2-е, Феникс, Ростов н/Д (2008) 715 с.
- [3] Железко Ю.С. *Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов*, ЭНАС, Москва (2009) 456 с.
- [4] Шведов Г.В. *Потери электроэнергии при ее транспортировке по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов* / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко; под ред. Ю.С. Железко, Издательский дом МЭИ, Москва (2013) 424 с.
- [5] Азаров В.С. *Передача и распределение электроэнергии в примерах и решениях*, МГОУ, Москва (2005) 215 с.
- [6] Сидорова В.Т., Карчин В.В. *Известия вузов: Проблемы энергетики* № 11-12 (2016) 51.

УДК 537.9

РАЗРАБОТКА ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ, МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Н.И. Сушенцов, С.А Степанов, Д.Е. Шашин

Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, пл.Ленина, д. 3
e-mail: dima_shashin@rambler.ru

Установка с автоматической системой диагностики и управления работой вакуумного и технологического оборудования.

The plant has automatic monitoring and management system of vacuum and technological equipment performance.

1. Введение. В настоящее время активно ведутся работы в области получения тонкопленочных функциональных покрытий, многокомпонентных пленок, обладающих улучшенными эксплуатационными характеристиками, на основе слоистых структур, содержащих слои, включающие кристаллические упорядоченные фазы различных материалов. В частности, наиболее перспективными для создания защитных и декоративных покрытий считаются пленки нитридов титана и циркония (TiN и ZrN), сформированные методом магнетронного распыления. Данные покрытия обладают повышенной химической инертностью, твердостью и износостойкостью. [1-4]. Предлагаемая разработка направлена на решение научно-технических задач получения функциональных покрытий многокомпонентных пленок и слоистых структур на их основе на подложки сложной геометрической формы, с высоким качеством и равномерностью, методом магнетронного распыления. Основной характеристикой созданной вакуумной установки является возможность получения, с ее помощью, многослойных функциональных покрытий практически любого состава и структуры в автоматизированном режиме.

2. Конструкция установки. Автоматизированная технологическая установка магнетронного распыления (далее установка магнетронного распыления или установка) предназначена для получения наноструктурированных пленок различных материалов методом магнетронного распыления.

Основой установки является вакуумная камера УВН. Установка оснащена системой откачки на основе диффузионного насоса и форвакуумного пластинчато-роторного насоса с бустерным насосом Рутса.

В вакуумной камере установлены шесть магнетронов, ионный источник и резистивные нагреватели. Осаждение пленок осуществляется на подложки, установленные на подложкодержатель, выполненный на основе планетарного механизма. Для управления установкой применена система автоматизированного контроля и управления.

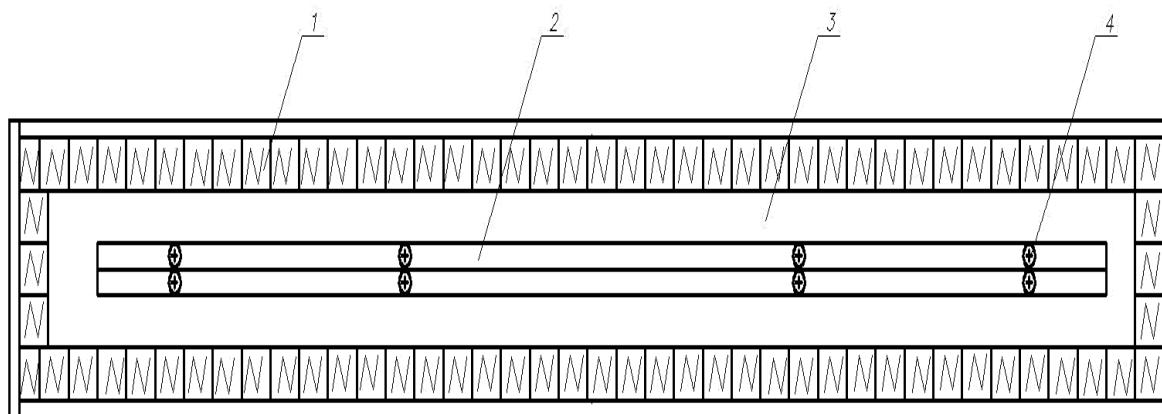
Особенность магнитной системы (рис. 1) разработанного магнетрона состоит в том, что над поверхностью мишени создается не только арочное магнитное поле, но и дополнительное поле, которое «выталкивается» от мишени и способствует дополнительной ионизации распыленных частиц. Магнитная система включает в себя магнитопровод, постоянные магниты NeFeB, центральный и боковой полюсные наконечники.

Технические характеристики магнетрона:

- 1) материал катода магнетрона – Ti, Al, Cr, Zr, Cu;
- 2) размер мишени – 596×65×10 мм;
- 3) величина магнитной индукции на поверхности мишени – 0,35 Тл;
- 4) расстояние мишень-подложка 100–350 мм;

- 5) расположение мишени – вертикальное;
- 6) рабочий ток магнетрона 5-12 А;
- 7) рабочее напряжение на магнетроне 300-700 В.

Принцип действия ионного источника, установленного в камере, основан на формировании плотной плазмы путем ионизации рабочего газа в тлеющем разряде в скрещенных электрическом и магнитном полях и последующем отборе ионов с границы плазмы и ускорении их электрическим полем.



1. Магниты
2. Полосный наконечник
3. Магнитопровод
4. Крепежные винты

Рис. 1. Магнитная система МРС

Блоки питания магнетронов работают в импульсном режиме и имеют защиту от короткого замыкания и систему гашения микродуг. При распылении на постоянном токе возникают проблемы, связанные с частым возникновением дуг на мишени из-за образования диэлектрических пленок в результате химического взаимодействия материала мишени с реакционным газом. Преодолеть эти недостатки удалось при использовании для питания магнетронного разряда импульсного напряжения в среднечастотном (20 кГц) диапазоне.



Рис. 2. Фотография установки

Для нагрева напыляемых подложек используются два электрических резистивных нагревателя диаметром 8,5 мм, смонтированных на дверце вакуумной камеры, позволяющих получить нужную температуру нагрева во время технологического процесса. Температура измеряется с помощью термопарного датчика. Показания от датчика выведены на панель оператора.

Откачная система основана на применении диффузионного насоса НВДМ-400. Форвакуумная откачная система реализована на основе механического насоса АВПР-60Д и бустерного насоса Рутса Leybold WS-250.

В результате разработанная конструкция вакуумной установки позволяет устанавливать шесть магнетронных распылителей и ионный источник. Магнетронная распылительная система (МРС) в составе шести магнетронов позволяет с одной стороны увеличить спектр получаемых покрытий (покрытия из различных материалов, составных материалов и химических соединений на их основе), а с другой стороны, повысить скорость распыления, увеличить толщину и равномерность получаемого покрытия.

3. Результаты:

1) анализ существующих технологических особенностей формирования перспективных многослойных функциональных покрытий показал необходимость одновременного нанесения нескольких материалов с одновременным воздействием на покрытие высокоэнергетическим потоком ионов, чего можно добиться лишь при помощи совмещения всех необходимых устройств в одной вакуумной установке;

2) разработана конструкторская документация на вакуумную установку магнетронного распыления, включающая: общую структурную схему установки; документацию на вакуумную камеру, элементы внутрикамерной оснастки, вакуумную систему, систему охлаждения, пневмосистему управления клапанами, блок управления вакуумной системой, магнетронную распылительную систему и ионный источник, источники питания, автоматическую цифровую многоканальную систему поддержания давления в вакуумной камере, цифровую автоматизированную систему управления;

3) по разработанной документации изготовлена вакуумная установка магнетронного распыления для получения многослойных функциональных покрытий.

Список литературы

- [1]. Сушенцов, Н.И. Упрочняющие тонкопленочные покрытия на основе нитридов и углеродных материалов / Н.И. Сушенцов, С.В. Борисов // Приволжский научный вестник. – 2014. № 3(31), Ч. 1. С. 31–38.
- [2]. Борисов, С.В. Тонкопленочные нанотехнологии в храмовой архитектуре / С.В. Борисов, Н.И. Сушенцов // Приволжский научный вестник. 2013. № 10(26). С. 17–23.
- [3]. Самойлович, М.И. Наноструктурные углеродные материалы в тонкопленочной технологии / М.И. Самойлович, А.Ф. Белянин, В.Д. Житковский, А.С. Багдасарян // Инженерная физика. 2004. № 1. С. 33–39.
- [4]. Самойлович, М.И. Формирование наноструктурированных пленок алмазоподобных материалов. Часть 1, 2 / М.И. Самойлович, А.Ф. Белянин // Нано- и микросистемная техника. 2006. № 7. С. 21–34.
- [5]. Aita, C.R. ВАасel orientation aluminum nitride grown at low temperature by RF diode sputtering / C.R. Aita // J. Appl. Phys. 1982. Vol. 53. No. 3. P. 1807–1808.
- [6]. Сушенцов, Н.И. Основы технологии микроэлектроники: Лабораторный практикум / Н.И. Сушенцов, В.Е. Филимонов. – 2-е изд., перераб. и доп. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. 156 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОЧНОГО РЕЗИСТОРА

Е. В. Шабдаров, В. Н. Леухин

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»
424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3.
e-mail: shabdarov2010@yandex.ru

Статья посвящена автоматизации электроискровой подгонки и сканирования поверхности пленочных резисторов. Особое внимание уделяется конструктивным особенностям систем перемещения и позиционирования электрода и зонда относительно резистора. Приводятся преимущества и недостатки разработанной системы.

The article is devoted to the electrospark trimming and surface scanning of film resistors automation. The particular attention is given to the structural features of resistor moving system and electrode and probe positioning relative to a resistor system. Designed system advantages and disadvantages are given.

1. Введение. Резистивные элементы с регулируемой величиной сопротивления (переменные и подстроечные резисторы) широко используются в различных видах радиоэлектронной, измерительной и вычислительной аппаратуры. Основными характеристиками этих элементов является величина отклонения от номинального значения сопротивления и соответствие заданной функциональной характеристики (линейной, логарифмической, обратнологарифмической и т. д.) [1]. Подавляющее большинство переменных резисторов изготавливается по толстопленочной технологии, несовершенство которой позволяет иметь выход годных порядка 70 % по величине сопротивления. Поэтому требуется выполнения операции корректировки величины сопротивления и функциональной характеристики, которая может быть реализована различными способами [2-4]. Однако эти методы основаны на удалении части резистивного слоя, что снижает допустимую токовую нагрузку. В то же время известен способ корректировки величины сопротивления переменных резисторов, основанный на электроискровой обработке, которая не приводит к изменению геометрии резистора [5-7].

Необходимым условием при корректировке функциональной характеристики резисторов является сканирование их поверхности с целью определения распределения электрического потенциала и, соответственно, удельного сопротивления, которое позволяет качественно оценить состояние резистивной пленки. Сканирование также позволяет оценить степень влияния параметров электроискрового разряда при подгонке на резистивную пленку, что необходимо для разработки методики подгонки переменных резисторов без разрушения резистивного слоя.

Одной из проблем при корректировке функциональной характеристики резисторов является трудоемкость процесса сканирования резистивной пленки. Этот процесс требует не только прецизионное позиционирование измерительного зонда и электрода над поверхностью резистора, но значительные временные затраты. В связи с этим было принято решение модернизировать установку электроискровой подгонки резисторов [8]. Одной из составляющих частей модернизации является разработка автоматизированной системы позиционирования, результаты которой представлены в статье.

2. Цель работы. Разработка автоматизированной прецизионной системы сканирования и подгонки пленочных резисторов с точностью не хуже $\pm 1\%$.

3. Решаемые задачи. Разработка системы, позволяющей максимально упростить процесс сканирования резистивной пленки в процессе функциональной корректировки резисторов. Сокращение временных затрат на сканирование резистивной пленки. Автоматизация процессов подгонки, сканирования и корректировки функциональной характеристики толстопленочных резисторов.

4. Интерпретация результатов. Принцип сканирования резисторов заключается в последовательном измерении потенциала по всей площади резистивной пленки (рисунок 1). При этом резистор перемещается по двум осям X и Y (также может перемещаться вокруг своей оси для подковообразных резисторов) относительно измерительного зонда. Зонд перемещается по оси Z и измеряет потенциал на поверхности резистивной пленки. Необходимость перемещения зонда обусловлена предотвращением его контакта с поверхностью резистивной пленки во время позиционирования (перемещения) резистора. Резистор R подключается к источнику стабилизированного напряжения E , а вольтметр V измеряет напряжение в определенной точке на поверхности резистора.

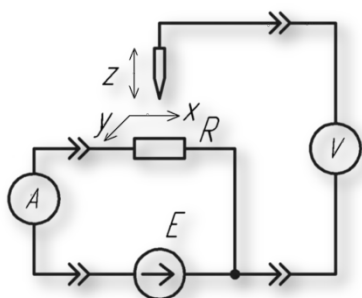


Рис. 1. Структурная схема системы измерения потенциала на поверхности резисторов:

A – амперметр; E – источник стабилизированного напряжения; R – пленочный резистор; V – цифровой вольтметр

Система перемещения, используемая ранее для сканирования резисторов [9], приводилась в движение только вручную (рисунок 2). Для этого служили микрометрические винты, закрепленные на координатном столе типа «ласточкин хвост». В качестве системы измерения использовалась игла, прижимаемая к столу пружиной и подключаемая к вольтметру.



Рис. 2. Механическая система сканирования резисторов

Использование механической системы сканирования, изображенной на рисунке 2, являлось времязатратным процессом, поскольку позиционирование, измерение потенциала

и обработку данных приходилось делать вручную. Время, затрачиваемое на сканирование одного резистора, составляло 30 ± 5 минут при количестве измерений 1000 раз. Время, затрачиваемое на обработку данных, составляло 20 ± 5 мин. Для снижения временных и трудовых затрат была разработана автоматизированная система сканирования, состоящая из системы управления измерительным зондом (рисунок 3, а), системы управления разрядным электродом (рисунок 3, б) и системы позиционирования резисторов (рисунок 4).

Основу системы управления измерительным зондом (рисунок 3, а) составляет электромагнитная система, перемещающая измерительный зонд 3 [10]. Зонд 3, имеющий форму иглы, закреплен на нижнем конце направляющей, обеспечивающей прецизионное позиционирование. На другом конце направляющей закреплен магнит $M1$, работающий в паре с магнитом $M2$, закрепленном на сердечнике электромагнита ЭМ. В дежурном режиме магниты $M1$ и $M2$ притянуты друг к другу и зонд 3 находится в верхнем положении. При срабатывании электромагнита ЭМ происходит втягивание сердечника с магнитом $M2$. Поскольку расстояние между магнитами $M1$ и $M2$ при втягивании сердечника увеличивается, то они выходят из магнитного зацепления и зонд 3 опускается вниз. Таким образом, кратковременная подача напряжения питания на электромагнит ЭМ позволяет управлять зондом 3. Такая конструкция обладает рядом преимуществ. Во-первых, нет необходимости в постоянной подаче напряжения питания на электромагнит с целью удержания зонда в верхнем положении, следствием чего является отсутствие сильного нагрева катушки электромагнита ЭМ. Во-вторых, вес конструкции, перемещающейся по вертикали, мал, вследствие чего сканирование не приводит к механическому разрушению резистивного слоя из-за удара в момент измерения.

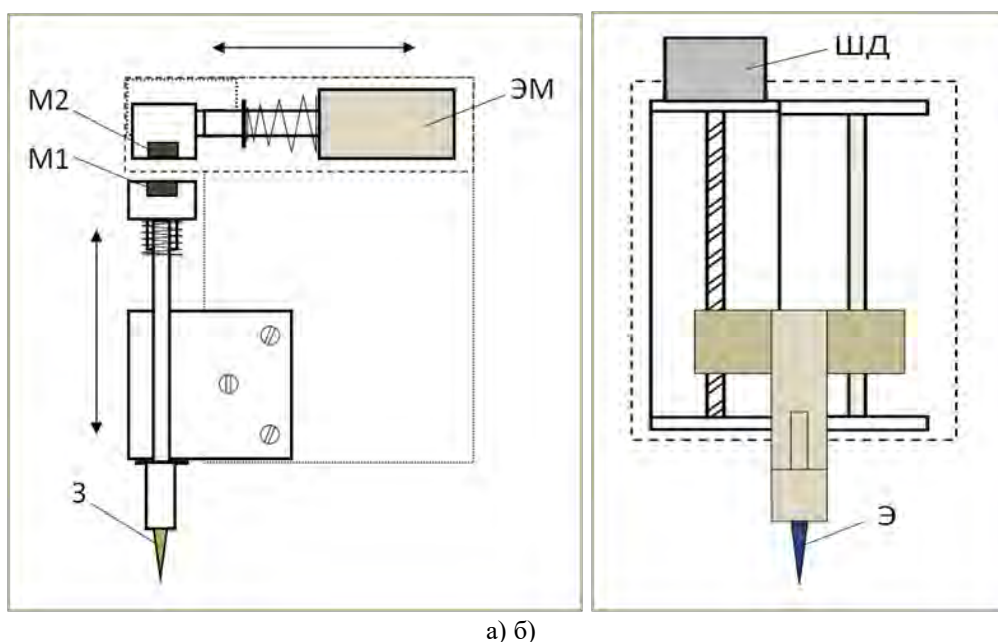


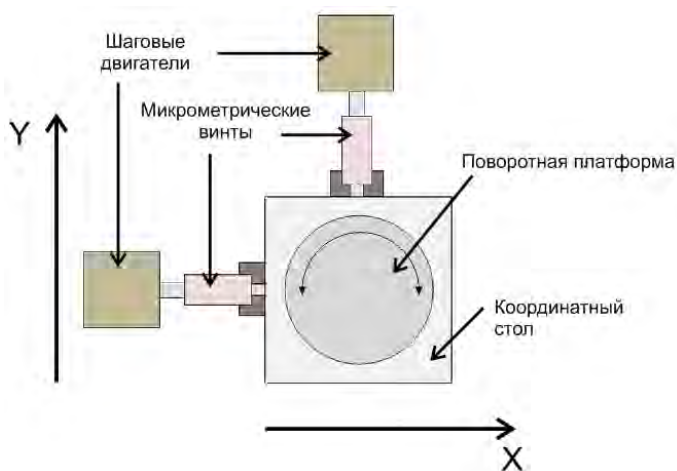
Рис. 3. Системы позиционирования измерительного зонда (а) и разрядного электрода (б)

В основе системы позиционирования электрода (рисунок 3, б) лежит шаговый двигатель ШД, позволяющий точно выставлять необходимый зазор между электродом и поверхностью резистора, а направляющая в составе конструкции не дает смещаться электроду Э в стороны. Вращение шагового двигателя ШД вызывает движение электрода Э по вертикали относительно резистивной подложки. Электрод Э изолирован от металлической конструкции системы позиционирования с помощью полипропиленовой изоляционной вставки. Соединение электрода Э с выходом блока формирования разрядных импульсов осуществляется посредством высоковольтного кабеля через резистор сопротивлением 1 кОм для подавления помех, создаваемых электроискровым разрядом. Для управления ШД применена схема драйвера на основе микросхемы А4988.

Системы управления зондом З и электродом Э располагаются на одной оси над резистивной подложкой. Электрод Э и зонд З удалены друг от друга на максимально возможное расстояние, предусмотренное конструкцией координатного стола 20 мм, во избежание пробоя электрической искрой АЦП, подключенного к измерительному зонду З.

Рис. 4. Система позиционирования резисторов

Система перемещения резисторов относительно электрода Э и зонда З содержит двухкоординатный стол, приводимый в движение шаговыми двигателями посредством микрометрических винтов. Для реализации сканирования и подгонки переменных резисторов, имеющих подковообразную форму, сконструирована поворотная платформа, располагаемая на оси шагового двигателя. Поворотный модуль расположен на двухкоординатном столе, что позволяет перемещать резистор как по двум осям X и Y, так и вокруг своей оси.



В результате был собран прототип системы сканирования-подгонки резисторов, изображенный на рисунке 5 и включающий все ранее описанные системы.

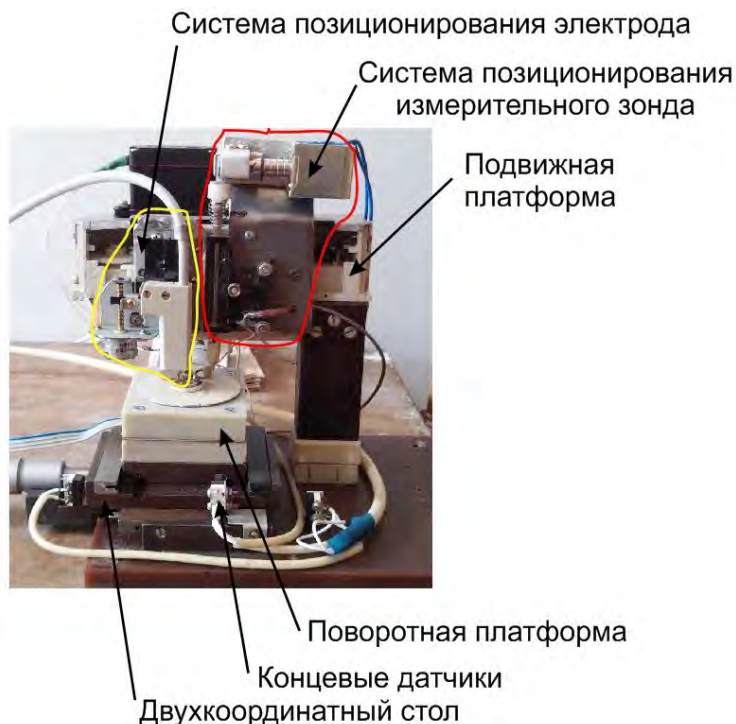


Рис. 5. Автоматизированная система сканирования-подгонки резисторов

Для управления вышеуказанной системой была разработана программа, выполняющая также и обработку получаемых от аналого-цифрового преобразователя, выполняющего функцию вольтметра, данных. Результаты сканирования резистора, изображенного на рисунке 6, представлены на рисунке 7.



Рис. 6. Подложка с толстопленочным резистором

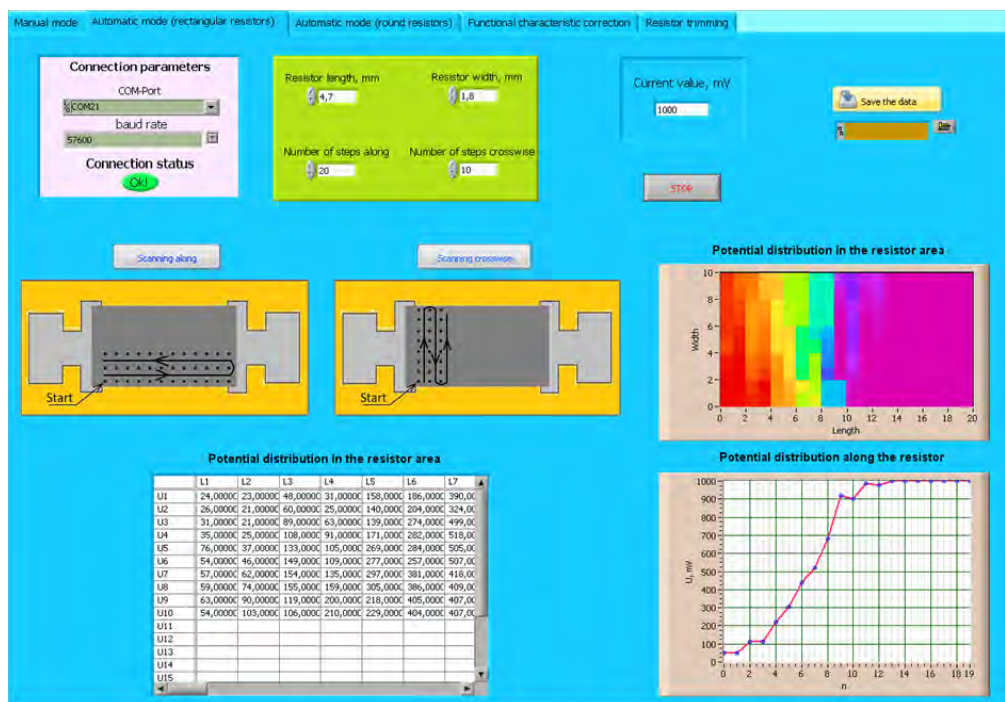


Рис. 7. Результаты сканирования резистора

Программа автоматически выводит числовые данные на экран и строит график распределения потенциала по длине и по площади резистора. Таким образом, автоматизация системы сканирования-подгонки резисторов позволила существенно снизить затраты на выполнение рутинных операций по перемещению, измерению и обработке данных.

Выводы. Преимущества разработанного изделия:

- 1) высокая скорость сканирования;
- 2) исключение человеческого фактора при возникновении различных ошибок;
- 3) высокая точность позиционирования (минимальный шаг составляет 4 мкм);
- 4) автоматическая обработка данных;
- 5) полный цикл сканирования (сканирование поверхности резистора + обработка данных) составляет не более 13 минут при количестве измерений 1000 раз (ручное сканирование занимало примерно 1 час);
- 6) снижение трудозатрат при подгонке, сканировании и корректировке функциональной характеристики резисторов.

Данная система разрабатывалась в рамках повышения эффективности подгонки и сканирования толсто пленочных резисторов [11] и выполнена при финансовой поддержке гранта УМНИК.

Список литературы

- [1] Гендин, Г. С. Все о резисторах. Справочное издание / Г. С. Гендин. – М.: Горячая линия – Телеком. – 2007. – 192 с.
- [2] Пат. ФРГ № 3818735, МКИ Н 01 С 17/24. Электрический конструктивный элемент и способ его подстройки с помощью лазера.
- [3] Пат. Франции № 2616262, МКИ Н 01 С 17/24. Электрические компоненты криволинейной формы и способ их обработки с помощью лазера / Teradune Inc. Bernard Edouard Lejeune.
- [4] Пат. Японии № 53-47498, МКИ Н01 С 17/22. Способ улучшения линейности потенциометра / Мацую дзики К. К.
- [5] Леухин, В. Н. Электроискровая корректировка сопротивления толсто пленочных переменных резисторов / В. Н. Леухин // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 1992, №3. – С. 40-43.
- [6] А. св. СССР № 1729233 Устройство для корректировки сопротивлений толсто пленочных переменных резисторов / В. Н. Леухин.
- [7] Патент РФ № 2199756 Способ корректировки характеристики датчика угла поворота резистивного типа / В.Н. Леухин, А.М. Сухов, А.В. Ахматаев.
- [8] Сухов, А.М., Леухин, В.Н. Автоматизированная система подгонки пленочных резисторов //Проектирование и технология электронных средств. – 2002. – №2 – С. 55-61.
- [9] Нагаев А.А., Николаев Д.А., Леухин В. Н. Расчет системы позиционирования для измерения распределения потенциала по поверхности пленочного резистора //XX Туполевские чтения. Международная молодежная научная конференция 22 – 24 мая 2012 года. Материалы конференции. Том IV. С. 440-442.
- [10] Патент РФ № 2620263. Устройство для неразрушающей подгонки толсто пленочных резисторов / Е. В. Шабдаров, В. Н. Леухин.
- [11] Шабдаров, Е. В. Повышение эффективности подгонки и сканирования толсто пленочных резисторов путем автоматизации процесса /Е. В. Шабдаров, В. Н. Леухин // Материалы Десятой международной научной школы «Наука и инновации – 2015» ISS «SI-2015» / Редакционная коллегия: И. И. Попов, В. А. Козлов, В. В. Самарцев. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. – С. 85-87.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ REDMINE ПРИ РАЗРАБОТКЕ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

М.А. Шатский, М.Ю. Щелькалин

ФГУП МОКБ «МАРС» (127473, г. Москва, 1-й Щемилковский пер., д. 16)
e-mail: schelikal@gmail.com

Статья посвящена использованию системы управления проектами Redmine в разработке бортового программного обеспечения на ФГУП МЕДБ «МАРС». МЕДБ работает над разработкой аппаратного и программного обеспечения для систем управления космическими кораблями. Созданы системы управления для следующих космических аппаратов: Monitor-E, KazSat-1, KazSat-2, Elec-tro-L № 1, Electro-L № 2, Spectrum-R (проект Радиоастрон).

The article is devoted to the use of the project management system Redmine in the development of on-board software on the FSUE MEDB "MARS". The MEDB is working on the development of hardware and software for spacecraft control systems. Control systems for the following spacecraft are created: Monitor-E, KazSat-1, KazSat-2, Electro-L No. 1, Electro-L No. 2, Spectrum-R (Radioastron project).

1. Введение. Космический аппарат (КА) представляет собой сложную систему весом до 4 тонн, состоящую из научной аппаратуры, над которой до 10 лет работают тысячи людей [1, 2]. Срок использования КА для реализации непрерывной целевой работы на орбите часто превышает 10 лет. Т.о. разработка и использование КА – процесс с большой инерцией. За прошедшее время был накоплен большой опыт отладки бортового программного обеспечения (БПО) и назрела необходимость обновления этого опыта.

Цель настоящей работы: изучив сложившиеся модели процесса разработки бортового программного обеспечения, оптимизировать в соответствии с современными информационными технологиями процессы отладки БПО.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Описать текущее состояние процесса отладки БПО: формализовать сложившиеся модели процесса разработки.
2. Оптимизировать процесс испытаний БПО для ускорения его за счёт изменения самого процесса или за счёт внедрения информационных технологий.
3. Оптимизировать процесс исправления выявленных в ходе отладки ошибок.

Порядок испытания БПО КА

Был проанализирован опыт работы предприятия, сложившейся за более, чем 60 лет разработки систем управления в части проведения испытаний БПО. Обобщённая модель процесса разработки БПО представлена на рис. 1.

Разработка начинается с получения технического задания (ТЗ) на изделие. Далее запускаются три одновременных процесса: разработка бортовых алгоритмов, разработка программы и методики (ПиМ) испытаний данных алгоритмов и разработка испытательных стендов. В рамках разработки испытательных стендов создаются модели приборов космического аппарата, протоколы взаимодействия приборов и моделей окружающей среды.

На следующем этапе данные от различных специалистов собираются на испытательных стендах. Стенды настраиваются и производится имитационное моделирование полёта КА. Существует несколько видов стендов, используемых для отладки. Приёмочные проверки проходят на стенде, работающем в реальном времени и содержащем реальные приборы. В среднем, документация ПиМ содержит 40 режимов работы КА, которые необходимо промоделировать на стенде. Время моделирования каждого режима превышает 8 часов, то

есть почти два месяца требуется на полную проверку соответствия версии БПО требованиям ТЗ, заложенным в режимах ПиМ. При этом исправление любой ошибки ведёт к появлению новой версии БПО, что приводит к необходимости повторного моделированию всех ПиМ. Процесс повторяется до полного исправления всех ошибок. Помимо моделирования на приёмочном стенде, производится больший объём моделирований на отладочных стендах, работающих быстрее реального времени.

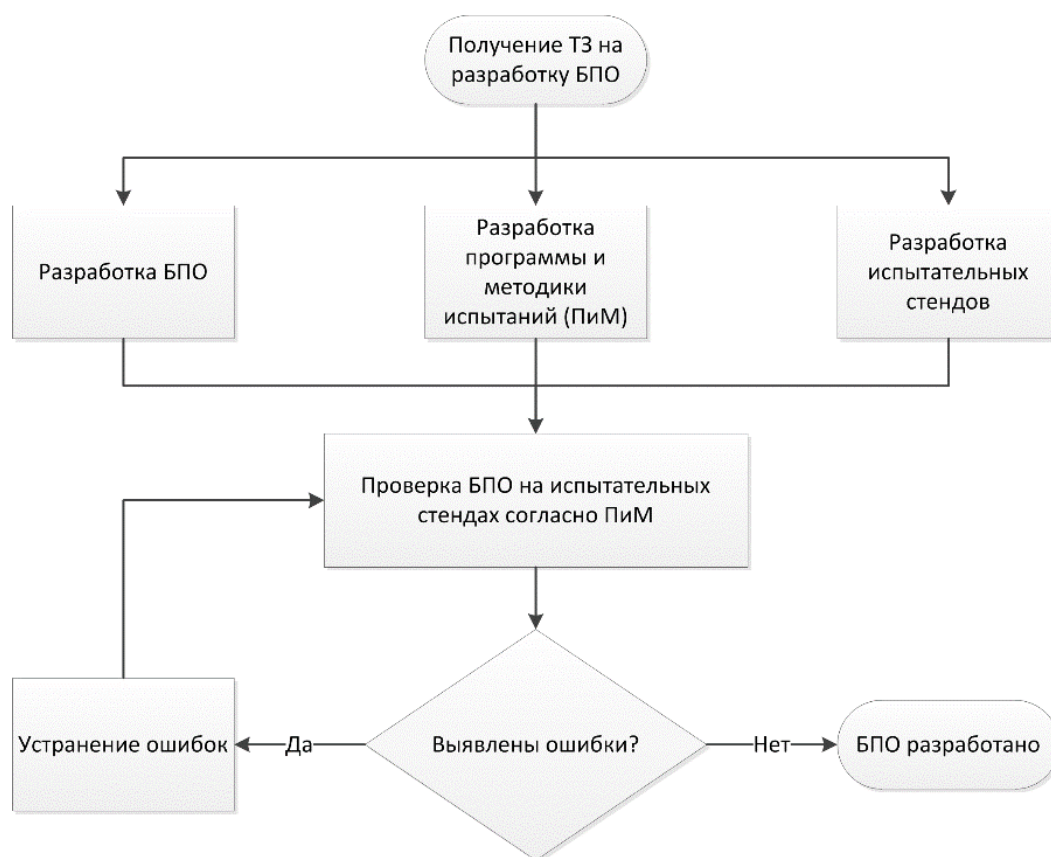


Рис. 1. Обобщённая модель проведения разработки БПО

Два месяца работы – это срок, требующийся на подтверждение работоспособности готового БПО. Это время, которое минимизировать не получится. Время же отладки можно сократить. Для этого рассмотрим типовой порядок испытания БПО КА более детально (Рис. 2). На основе требований ТЗ составляется программа и методика испытаний, начинается планирование испытаний, формируются исходные данные для начала испытаний и передаются на испытательные стенды. Затем данные преобразовываются в формат, необходимый для начала моделирования на конкретном стенде. После чего начинается моделирование, в ходе которого может появиться ошибка. В случае успешного завершения работы стенда, результаты моделирования отправляются на анализ специалистам, разработавшим бортовые алгоритмы и модели, используемые при моделировании. Количество специалистов, проверяющих результаты каждого промоделированного режима в рамках своих подсистем, достигает трёх десятков. При обнаружении ошибки производятся мероприятия по выявлению её причины и действия по созданию новой версии БПО. Новая версия БПО проверяется на наличие ошибок и, если их не было, передаётся заказчику.

Большое количество специалистов, участвующих в анализе результатов моделирования, приводит к проблемам с установлением перечня ошибок, актуального для данной вер-

сии. Для решения данной проблемы оказалось целесообразно использовать систему управления ошибками, что позволило автоматизировать процесс сбора и контроля исправления выявленных в ходе испытаний ошибок.

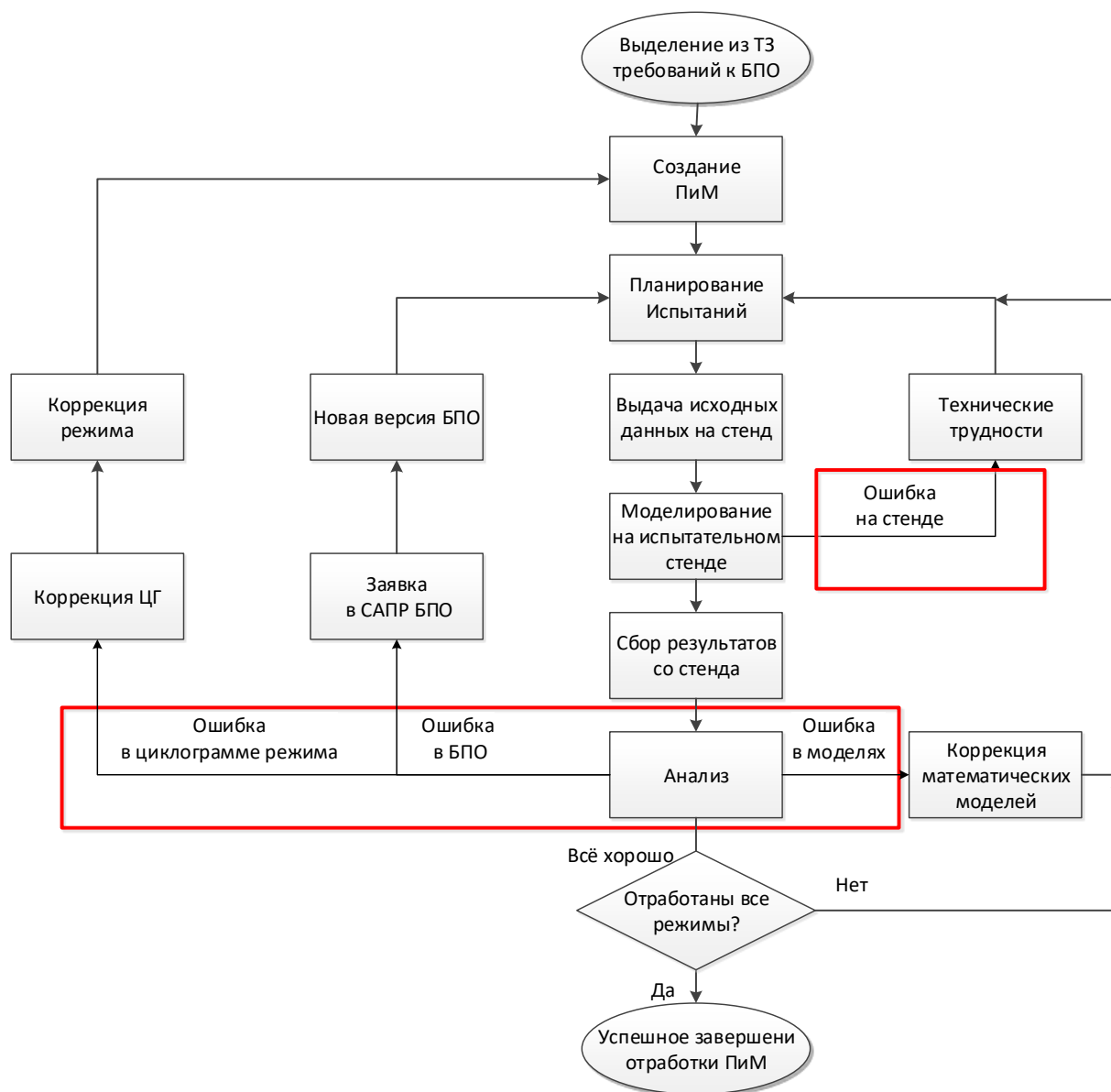


Рис. 2. Типовой порядок испытания БПО КА. Красными рамками обозначены области, на которых происходит сбор и отслеживание ошибок с помощью системы Redmine

Внедрение системы управления проектами

Был проведён анализ существующих систем данного класса [3], по результатам которого выбрана система Redmine. Были выделены области, на которых происходит сбор и отслеживание ошибок (красные рамки на рис. 2).

Это сделало возможной более детальную проработку процесса интеграции системы Redmine в работу на МОКБ. Основные роли участников и схема их взаимодействия с Redmine и между собой представлены на рис. 3.

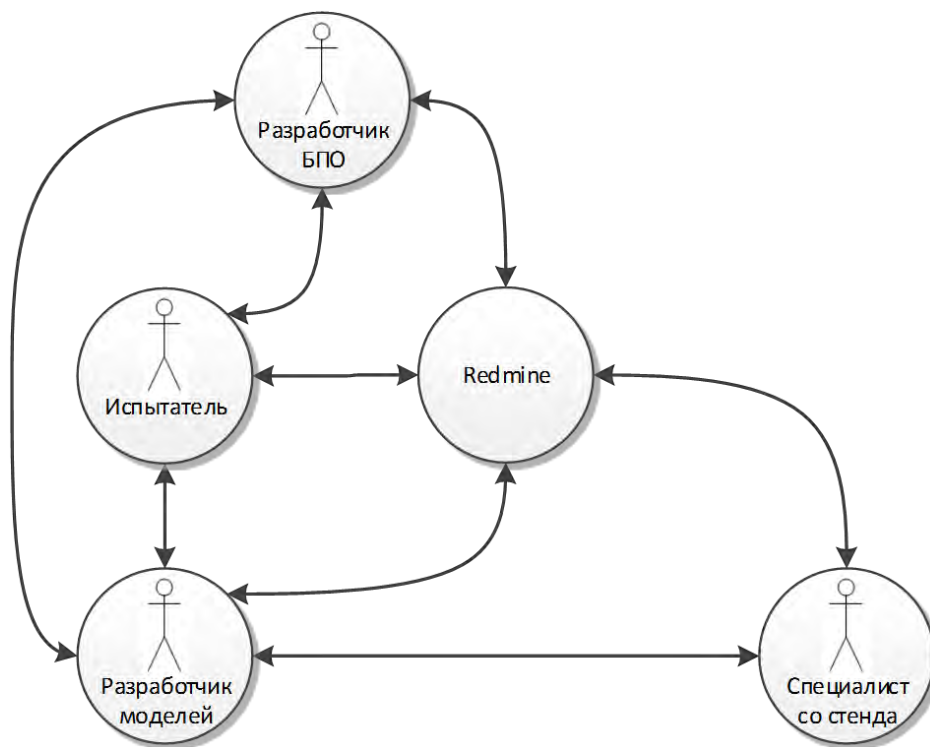


Рис. 3. Схема взаимодействия пользовательских ролей Redmine

На следующем этапе состоялась интеграция системы управления проектами Redmine с существующими на МОКБ системами и были оформлены основные протоколы обмена данными. Схема взаимодействия этих систем представлена на рис. 4.

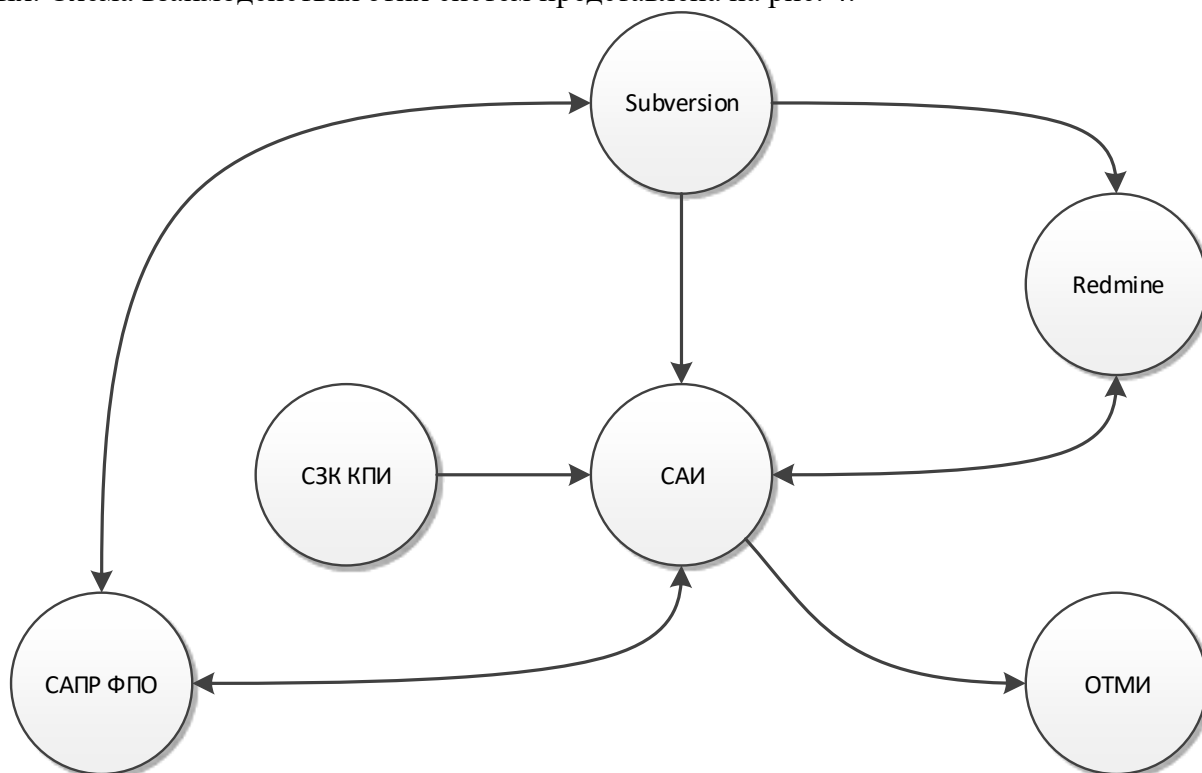


Рис. 4. Взаимодействие систем с Redmine

В течение нескольких лет проводились работы по интеграции систем в сложный разнородный комплекс поддержки разработки бортового программного обеспечения (Таблица 1).

Таблица 1.

Работы при внедрении

| Наименование | Количество |
|--|------------|
| Тематик затронуто в ходе работ | 54 |
| Задач по исправлению ошибок | > 5 000 |
| В задачах задействовано исполнителей | 550 |
| Проведено испытаний на стендах МОКБ с использованием разрабатываемых средств | > 8 500 |
| Написано самостоятельных программ | 7 |
| Разработано модулей к Redmine | 9 |
| Проведено НИР | 2 |

Заключение

Внедрение информационных технологий в виде системы управления проектами Redmine в устоявшиеся рабочие процессы позволило достигнуть следующих результатов:

- а. Количество ошибок, повторно выявляемых на испытательных стендах, сократилось на 20 %
- б. Среднее время поиска ошибок уменьшилось с 2х дней до 10 минут
- в. Информация об выявленных ошибках и задачах сотрудников рассылается по email и доступна для поиска через web-интерфейс

Список литературы

[1]. *Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина. Астрофизическая обсерватория «Спектр-Р»* <http://www.laspaces.ru/projects/astrophysics/spectrum-r/> [Дата доступа 1.08.2017]

[2]. *Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина. Геостационарная гидрометеорологическая космическая система «Электро-Л № 2»* <http://www.laspaces.ru/projects/information-systems/elektro-2/> [Дата доступа 1.08.2017]

[3]. М.Ю. Щелькалин, *Труды МАИ* **88** (2016): <http://www.mai.ru/publications/index.php?ID=70707> [Дата доступа 1.08.2017]

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ

ЭТНОПОЛИТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА И УНИВЕРСУМ

Р. Ф. Полищук

Физический ин-т им. П. Н. Лебедева РАН, Москва

rpol@asc.rssi.ru

Здесь мир рассматривается как самоорганизующаяся информационная система. Дано определение жизни как процесса упорядочения с вытеснением энтропии. Упомянуто впервые введенное автором световое 2+2 расщепление мира событий (диадный формализм, 1971), упомянута динамическая теория информации Чернавского и высказана гипотеза потенциала Юкавы для гравитации и электромагнетизма, но с постоянными порядка радиуса Вселенной.

Here the conception of the world and life as a self-organizing systems is given. Dyad formalism as 2+2 dissection of events world is proposed. Mathematical war models of Vladimir Arnold and model for dynamical information process of Dmitry Chernavsky are presented.

Как писал Гильберт [1], актуальной бесконечности в природе не существует. Но в теории Эйнштейна Вселенная расширяется бесконечно. Мы предлагаем здесь гипотезу потенциала Юкавы для гравитации и электромагнетизма, но с постоянным расстоянием в экспоненте порядка радиуса наблюдаемой Вселенной, что её по сути оконечивает.

Во вселенной с массой 10^80 нуклонов (это 10^{56} грамм, поскольку масса нуклона, то есть протона и нейтрона, примерно 10^{-24} грамма) степень сложности (скажем, число сочетаний элементов) будет даже не 2 в степени 10 в степени 80, а больше, чем 10 в степени 80 в степени 10 в степени 80. Это следует из так называемой формулы Стирлинга для числа перестановок данного числа элементов: рост потенциальной сложности системы сильно обгоняет рост числа образующих его элементов. Так, из неживых атомов образуются в том числе живые организмы со сменой поколений и переписыванием генетической информации. Жизнь здесь можно определить как *динамическую физическую систему, определяемую потоком упорядочения (негэнтропии), обеспечивающим самокоррекцию наследственного кода при условии притока свободной энергии* [2, 3].

Поскольку собственным значением квантового оператора скорости (а в квантовой механике первичны операторы, действующие на функцию состояния вселенной и её части, а всякая физическая величина есть собственное значение соответствующего оператора) является только плюс-минус скорость света, первичны в анализе природы так называемые безмассовые частицы, движущиеся со скоростью света, то есть первичны световые образы. Взаимодействие световых частиц изменяет знак их 3-импульсов, так что каждая частица на самом деле испытывает световое дрожание, воспринимаемое, как состояние покоя. Для светового состояния частицы пространство двухмерно: продольное измерение обращается в нуль в силу предельного лоренцева сокращения длин в системе отсчёта воображаемого светового наблюдателя. Таким образом, первичны не одномерное время и трёхмерное пространство, не 1+3 расщепление 4-мерного мира нуль-мерных событий, но 2+2 расщепление, возникающее для воображаемого светового наблюдателя (мы предложили приуроченный к 2+2 расщеплению *диадный формализм* [4] в 1971 году, на два года раньше знаменитого формализма Геро-ча, Хелда и Пенроуза [5], всем известного как GHP-formalism).

Вся современная материя возникла при Большом взрыве, превратившем в материю «вакуум» планковской плотности (около 5 на 10 в степени 93 граммов в кубическом сантиметре). Большой взрыв был релятивистской фазовой перестройкой физического вакуума. Потенциальная сложность системы из n элементов имеет порядок n^n , и жизнь возникает и существует на пределе сложности физических систем, поддерживаясь упомянутой выше сменой поколений, перезаписывающих генетическую информацию. Человек – космическое существо, естественно рождённое космосом по закону космоса. А свобода гнездится в раз-

вилках, бифуркациях, исключающих предзаданность лапласовского детерминизма механической системы, когда задание данных Коши (например, параметров мгновенного состояния Вселенной: 3-метрики пространства и её ростков во времени) однозначно определяет всю прошлую и будущую эволюцию данной системы (например, Вселенной).

После возникновения человека становление его сознания в биосфере неизбежно проходит мифологические стадии гилозоизма (раз мы – живые, то и весь мир – живой), анимизма (раз животные одушевлены, то и всё одушевлено, хотя даже живые растения – не одушевлены), панпсихизма (раз человек не только жив, но и одухотворён, то всё одухотворено) и стадию научного реализма: мышление с его пониманием и целеполаганием есть дополнительный способ экономии затрат – мысль состоящего из молекул человека благодаря пониманию и целеполаганию инициирует его разумные действия.

В социуме иногда возникает массовая единая реакция людей, как у солдат с отчуждением их воли в пользу командира, лидера. Но творческие усилия требуют не людей-солдат, как на войне, а людей-мыслителей, как в науке. Если сила коллектива в количестве его членов, то сила отдельной личности в её индивидуальности и таланте. Силовые и творческие функции социума требуют разной системы организации выполняющих эти функции деятелей.

Живые организмы образуют пищевую пирамиду, иерархию поедания и уничтожения (в социуме – подчинения вместо невыгодного первобытного каннибализма). В этой связи рассмотрим простую модель войны (Ланкастера). В этой модели борьбы двух противников (двух армий) состояние системы описывается точкой (x, y) положительного квадранта плоскости. Координаты этой точки – численности противостоящих армий. Модель имеет простой вид: $dx/dt = -by, dy/dt = -ax$. Здесь a – мощность оружия армии x , b – армии y . Предполагается, что каждый солдат армии x убивает в единицу времени a солдат армии y , а солдат армии y – b солдат армии x . Слева стоит скорость убыли числа солдат, справа она же, пропорциональная числу солдат армии противника. Эта модель допускает точное решение (с квадратичной связью нужной численности солдат с мощностью вооружения противника):

$$axdx = bydy, ax^2 - by^2 = const$$

Эволюция численностей армий идёт вдоль гиперболы, задаваемой последним уравнением. Каждая гипербола заканчивается на оси абсцисс или ординат при полном уничтожении солдат противника ценой гибели части своих солдат. Семейства гипербол разделены сепаратрисой $\sqrt{ax} = \sqrt{by}$. Это проходящая через начало координат прямая линия.

Теперь рассмотрим простую модель эволюции численностей u_i для N наборов противоборствующих носителей информации (в первобытном обществе каменного века это были различные племена, сегодня – различные страны на поверхности Земли с координатами x, y). Имеем уравнения Чернавского (жил: 1926-2016, работал в ФИАНе) [8]:

$$\partial u_i / \partial t = (1/\tau_i)u_i - \sum_{i \neq j} b_{ij}u_i u_j - a_i u_i^2 + D_i (\partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2) u_i$$

Здесь τ_i – характерное время автокаталитического воспроизводства носителя соответствующей установки, далее идут члены с коэффициентами внешней и внутренней конфронтации и член с коэффициентом диффузии и двумерным лапласианом, отвечающий распространению носителей своей информации (элементов) по двумерной территории. Если коэффициенты внутренней конфронтации меньше внешней (иначе стране, будь то Россия или США, с ростом в них внутренней социальной напряжённости, грозит распад, как это у нас уже было в 1991 году, а США сейчас, возможно, понемногу приближаются к этому) развитие системы проходит несколько стадий. Вначале в силу неустойчивости симметричного состояния образуются области (кластеры), в которых преобладают элементы определённого типа, разные для разных областей. Антагонистическое взаимодействие происходит лишь на фронтах раздела между кластерами, и побеждает тот, который перед этим захватил больший ареал обитания. Процесс заканчивается, когда наибольший кластер займёт всё доступное пространство. Аттрактором (притягивающим множеством в пространстве состояний динамической системы) эволюции здесь является авторитарная система. Для неё общее выше личного, и конкуренция возникает между различными кластерами (союзами государств). Параметром порядка является удельное количество жизненных ресурсов, которое здесь меньше некоторого критического значения. Если же ресурсов больше этого значения, то аттрактором явля-

ется система либеральная, где личное выше общего и конкуренция имеет место уже между индивидами. Россия без третьей мировой войны подкопила свои ресурсы и перешла из чисто авторитарного состояния в смешанное.

Рассматриваемая выше модель может использоваться в биологии, лингвистике, социологии и истории. Добавление в уравнения Чернавского членов с коэффициентами внутренней и внешней консолидации (если взять $A_i - a_i$ вместо $-a_i$ и $B_{ij} - b_{ij}$ вместо $-b_{ij}$) даёт предлагаемое (впервые и здесь) обобщение указанных выше уравнений Чернавского. Если пределом эволюции системы государств является рождение единой империи, то предлагаемое нами обобщение может описывать также распад империй.

Можно попытаться применить модель к событиям, скажем, европейской истории. Под событиями следует понимать возникновение одних государств и исчезновение других. Например, для учёта неоднородности пространства можно использовать географическую карту Европы. Горы и большие реки являются препятствиями для миграции людей. Крупные города можно рассматривать как центры притяжения. В качестве начальных условий естественно выбрать случайное распределение носителей информации по суше Европы. Данная модель этнополитической динамики была реализована в виде компьютерной программы в работе [6]. После 300 тактов возникла картина Европы и севера Африки как массы мелких территорий, занимаемых отдельными племенами. После 4 000 тактов работы программы возникла карта, похожая на политическую карту современной Европы. Рассматривались и карты мира с распадом России и без оного при уменьшении конфронтации внутри её народа, состоящего из многих этносов. Такая модель обязательно должна содержать так называемый перемешивающий слой, диктующий появление хаотически рождаемых стадий эволюции. Тем не менее модель позволяет делать глобальный прогноз отдалённого будущего. Например, ясно, что с развитием техники и транспортных связей физические препятствия перестают играть главенствующую роль: пространство становится более однородным, а мир – всё более глобальным. Может быть, появится в отдалённой перспективе единый язык (уже сегодня английский – язык международного общения, какой была среди научного сообщества латынь в Средние века). Как говорил Дмитрий Сергеевич Чернавский [8], нельзя однозначно предсказать, будет ли путь к этому единению кровавым или мирным. Мир был и остаётся самообновляющейся и самоорганизующейся открытой системой.

Список литературы

1. Д. Гильберт. Избранные труды. Томы 1, 2. М.: Факториал, 1998.
2. R. F. Polishchuk, in *Fundamentals of Life* (Eds. G. Palyi, C. Zucchi and L. Caglioti) Elsevier and Accademia Nazionale di Scienze, Lettere e Arti (Modena), Paris, 2002, P. 141-151.
3. N. M. Chernavskaya, D. S. Chernavsky and R. F. Polishchuk. Origin of the Biological Chirality, in *Progress in Biological Chirality* (Eds. G. Palyi, C. Zucchi and L. Caglioti) Elsevier, London, UK, 2004, P. 257-259.
4. Р. Ф. Полищук Кандидатская диссертация. ГАИШ МГУ, 1971. Диадные компоненты тензора кривизны. Полищук Р. Ф. Вестн. Моск. ун-та. «Физ., Астрон», 1972, т. 13, с. 612-613. Полищук Р. Ф. Двухмерные площадки в общей теории относительности. Вестн. Моск. ун-та. «Физ., Астрон.», т. 1, с. 307.
5. Полищук Р. Ф. Изотропные пфаффовы системы пространства-времени с кручением. ДАН СССР, 1974, т. 217, С. 1037-1040.
6. R. P. Geroch, A. Held, R. Penrose, A space-time calculus based on pairs of null directions, *J. Math. Phys.*, vol. 14, P. 874 (1973).
7. Исаак Ньютон. Математические начала натуральной философии (1637): ЛКИ, 2008.
8. В. И. Арнольд. «Жёсткие» и «мягкие» математические модели. М.: МЦНМО, 2000.
9. Д. С. Чернавский. Синергетика и информация (динамическая теория информации). М.: Едиториал УРСС, 2004 (Синергетика от прошлого к будущему).

ПОЧЕМУ ИМПЕРИИ ВОЗНИКАЮТ И РАСПАДАЮТСЯ

Р. Ф. Полищук

Физический ин-т им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Ленинский пр. 53
rpol@asc.rssi.ru

Рождение и распад империй определяется факторами внешней и внутренней конфронтации между социальными кластерами. Здесь мы предлагаем обобщение уравнений Чернавского введением кроме коэффициентов внутренней и внешней конфронтации также коэффициентов консолидации в предположении также зависимости всех коэффициентов от координат времени и пространства. Также мы обсуждаем риски системы многоступенчатого государственного управления.

The birth and decay of empires determines by factors of inner and external confrontation and consolidation between social clusters. Here we propose the generalization of the Chernavsky equation by introducing of the consolidation coefficients and functional dependence of all coefficients from space-time coordinates. Also we discuss the risks of the many-graduated system of state direction.

В нашей предыдущей статье «Этнополитическая динамика и универсум» в данном сборнике мы приводили уравнения моего безвременно ушедшего друга Дмитрия Сергеевича Чернавского (1926-2016) [1], где мы впервые кроме коэффициентов конфронтации ввели коэффициенты консолидации. Это обобщение само по себе выглядит тривиальным, поскольку эквивалентно просто изменению постоянных коэффициентов конфронтации в уравнениях Чернавского. Но, во-первых, может изменяться условие применимости указанных уравнений Чернавского, который предполагал, что внутренняя конфронтация в социуме меньше внешней, а, во-вторых, мы предполагаем возможность различной зависимости коэффициентов консолидации и конфронтации от координат времени и пространства. Ведь ясно, что характер социальной динамики системы государств (а ещё с различными климатическими условиями) различен. При этом введённые нами коэффициенты внешней и внутренней консолидации иначе, вообще говоря, зависят от координат пространства-времени, чем коэффициенты внешней и внутренней (эффект тесноты) конфронтации.

Теперь мы записывает уравнения Чернавского следующим образом:

$$\partial u_i / \partial t = u_i / \tau_i(t, x, y) - \sum_{i \neq j} b_{ij}(t, x, y) u_i u_j - a_i(t, x, y) u_i^2 + D_i(t, x, y) (\partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2) u_i$$

Здесь u_i - число (точнее, средняя концентрация населения) государства i -го типа из общего количества N этих типов, которое может изменяться со временем t . Коэффициент τ_i - характерное время автокаталитического воспроизводства (авторепродукции) государств.

Каждое государство (кластер) считаем носителем информации (идеологии, общей в среднем политической установки) определённого типа. D_i - коэффициенты диффузии, определяющие изменения занимаемой гражданами соответствующего государства территории. Величина $l = \sqrt{D\tau}$ для каждого государства есть так называемая длина диффузии. Пространственные координаты x, y можно измерять в длинах диффузии и считать безразмерными. Область пространства (поверхность Земли с указанными безразмерными координатами пространства) считаем много большей длин диффузии - иначе начинают работать коэффициенты тесноты a_i и внешней конфронтации b_{ij} с другими кластерами. Эти последние теперь считаем разностями между коэффициентами конфронтации и консолидации.

При отсутствии внешней (конкуренции или просто войны с другими кластерами) и внутренней конфронтации рост (или убыль при отрицательной авторепродукции) населения экспоненциальный (смертность может уменьшить рост до нуля или привести к убыли насе-

ления), а положительная диффузия, расширение кластера приводит к его росту и без учёта авторепродукции и конфронтации кластеров.

Почему коэффициенты уравнения Чернавского квадратичны по величинам кластеров? Это видно из уравнения или в знаменитой модели хищник-жертва Лотка-Вольтерра [2] для двух кластеров (карасей и щук или трудящихся и бандитов) численностей X, Y :

$$\partial X / \partial t = aX - cXY$$

$$\partial Y / \partial t = -bX + dXY$$

Ясно, что вероятность взаимодействия карасей и щук можно в первом приближении считать пропорциональной количеству тех и других. И каждый акт взаимодействия уменьшает популяцию карасей и увеличивает популяцию щук (или степень их жирности или размера). В случае социума (скажем, капиталистической страны) в грубом приближении можно говорить о соотношении количеств трудящихся и бандитов или просто людей бедных и богатых в безразмерных координатах количества их доходов, измеренных в единицах прожиточного минимума.

В данной жёсткой математической модели численность карасей и щук (или пролетариев и капиталистов или просто трудящихся и бандитов капиталистической страны, грубо считая, что они все на одно лицо – каждый в своём классе) изменяется периодически. Учёт конкуренции карасей за пищу и щук за карасей требует добавки малых членов в правых частях данной пары уравнений. В мягкой структурно устойчивой модели борьбы за существование карасей и щук (или законопослушных граждан и бандитов) имеем три разных случая. В одном возникает только одно структурно устойчивое состояние равновесия рыб или социальных кластеров. В другом (та же модель, но с обращением времени) стационарное состояние уже неустойчиво, и система идёт вразнос (число бандитов то резко растёт, то убывает почти до нуля – они настолько ограбили трудящихся, что грабить больше нечего: см. [2], с. 16). Модель перестаёт быть применимой, и изменяется закон эволюции: происходит насильственный слом социальной системы. В России это произошло век тому назад.

В третьем случае в системе с неустойчивым стационарным состоянием устанавливается периодический режим, когда численности карасей и щук в пруду, трудящихся и бандитов или радикалов и консерваторов в социуме периодически изменяются. Возможны и сценарии с несколькими периодическими режимами. Всё зависит от конкретной структуры малой деформации исходной модели Лотка-Вольтерра. Важно понимать, что нельзя ограничиваться жёсткими моделями, а в мягких моделях можно установить, какую именно дополнительную информацию о кластерах необходимо получить для моделирования и планирования того или иного исхода эволюции системы кластеров.

Процесс развития системы более двух кластеров (областей) делится на несколько стадий [1]. Вначале в силу неустойчивости симметричного состояния системы кластеров образуются кластеры, в которых преобладают элементы (скажем, национальные особенности) определённого типа, различные для различных областей. Характерное время данного этапа примерно пропорционально числу кластеров и по порядку величины равно времени развития неустойчивости, зависящему известным образом от числа кластеров и меры их внутренней конкуренции. На следующей стадии расширяющиеся кластеры занимают всё пространство (например, все континенты и моря нашей планеты). При этом выпуклая граница территории кластера больше способствует её дальнейшему увеличению, чем вогнутая, а кластеры, полностью окружённые территорией другого кластера, исчезают (исчезли же, например, Казанское и Астраханское ханства, окружённые территорией растущей России). Образуется структура типа паркета с почти плоскими (без учёта географии) границами толщиной порядка длины диффузии, где преобладает смесь элементов разных кластеров. Теперь антагонистические взаимодействия могут происходить лишь на границах кластеров. В конце процесса один кластер захватывает всё доступное пространство (возникает империя). При наличии геогра-

фических препятствий паркет не возникает. А неравномерное развитие подпространств общего пространства (или частей империи) приводит к изменению параметров конфронтации, и пространство может снова распасться на систему кластеров с новыми коэффициентами системы уравнений Чернавского.

Теперь коснёмся опасности многоступенчатого управления техническими системами или жёстко организованными системами социальными [2]. Пусть производство продукта x управляется руководителем, принимающим решение о скорости производства: $\partial x / \partial t = y$. Пусть руководитель второго ранга z принимает решение о скорости производства продукта через управление руководителем первого ранга y : $\partial y / \partial t = z$. Этот процесс можно продолжить до генерального руководителя ранга n : $\partial^n x / \partial t^n = -k(x - X)$, где $k > 0$, а X – желаемый уровень производства указанного продукта. Генеральный руководитель будет влиять на руководителя предыдущего уровня в положительную сторону, если уровень производства недостаточен, и в отрицательную в случае перепроизводства продукта x . Устойчивость желаемого стационарного состояния ($x = X, y = z = \dots = 0$) определяется тем, положительны или отрицательны вещественные части корней характеристического уравнения $\lambda^n + k = 0$. Эти корни – точки комплексной плоскости, числа комплексного переменного λ . Они образуют вершины правильного n -угольника. При $n = 1$ корень $\lambda = -k$ лежит в устойчивой полуплоскости комплексной плоскости. При $n = 2$ корни $\lambda_{1,2} = \pm i\sqrt{k}$ лежат на границе устойчивости. При $n > 3$ некоторые вершины лежат всегда в правой полуплоскости $\text{Re } \lambda > 0$. Поэтому решения, пропорциональные $\exp(\lambda t)$, неустойчивы. Настоящую устойчивость обеспечивает только одноступенчатое решение. Как пишет В. И. Арнольд (1937-2010), «длительное и, по-видимому, устойчивое функционирование системы многоступенчатого управления в СССР объяснялось, вероятно, неисполнением директивных указаний и существованием «теневой» системы заинтересовывания управляющих различных рангов в интересах дела. Без такой реальной заинтересованности (которая в современных условиях уже необязательно обеспечивается коррупцией) многоступенчатое управление всегда ведёт к разрухе».

Что тут можно добавить? Выскажу собственное предположение. Необходимо многоступенчатое управление превратить в аналог одноступенчатого. Высший руководитель не должен подменять собою функции руководителей низших, давая им достаточную свободу действий, но жёстко требуя выполнения приказа и достижения цели, которая должна быть одна для всех исполнителей. То же касается руководителей всех рангов.

Список литературы

1. Д. С. Чернавский. Синергетика и информация (динамическая теория информации). М.: Едиториал УРСС, 2004.
2. В. И. Арнольд. «Жёсткие» и «мягкие» математические модели. М.: МЦНМО, 2000.

НА ПУТИ К ТЕОРИИ ВСЕГО:
ОБОБЩЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ТЯГОТЕНИЯ НЬЮТОНА

Р. Ф. Полищук

ФГБУН Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН
119991, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 53, ФИАН
e-mail: rpol@asc.rssi.ru

После Большого Взрыва 13,7 миллиарда лет тому назад единое физическое взаимодействие распалось на сильное, электро-слабое и гравитационное. Первое описывается потенциалом Юкавы, электромагнитное и гравитационное – потенциалами Кулона и Ньютона с законами обратных квадратов сил взаимодействия. Здесь предлагается гипотеза такого обобщения двух последних потенциалов по типу потенциала Юкавы (пропорционально $(-1/r)\exp(-r/r_0)$, где $r_0 = 10^{28}$ см), чтобы оно не противоречило как наблюдательной космологии, так и идее Гильберта об отсутствии актуальной бесконечности (бесконечно больших и бесконечно малых интервалов пространства и времени) в природе: ведь в опыте даны только сверхбольшие и сверхмалые конечные величины. А сближение различных типов физических взаимодействий должно приблизить создание их единой теории. Также дано определение жизни как потока упорядочения (негэнтропии), обеспечиваемого самокоррекцией наследственного кода при условии притока свободной энергии.

Here the generalization of the Newtonian gravity-gradient potential is proposed as value in directly proportional to $(-1/r)\exp(-r/r_0)$ where $r_0 \approx 10^{28}$ cm. Also the next definition of life is given: life is a negentropy current providing self-correction by the genetic code and supporting itself by free energy affluent.

1. Становление научной картины мира. Единство мира означает наличие единого смыслового стержня бытия и единой науки о мире, *физики* в её первоначальном самом широком смысле слова: греческое слово *ta physika* произошло от слова *physis*, что означает *природа* и то, как она устроена, каков механизм её самоорганизации (какова природа устройства мира). В этом смысле природа, физика эмоций есть психология, природа, физика социума есть социология, и так далее. Но Единое (намеченное Платоном и развитое Плотиним) как трансцендентное безличное первоначало всего сущего и мыслимого бесплодно в своём единстве и обретает смысл только как *единое многого*, которое в свою очередь может мыслиться только в том или ином своём единстве. Понятие как форма мышления что-то выделяет из множества предметов согласно наличию определённого их признака, что-то определяет, ставит пределы, как бы заключает нечто в определённые скобки. Но заключённое в скобки обретает смысл только с мысленным выходом за пределы скобок (например, *тождество* имеет смысл только как *не-различие*, как *отличное от различия*, что означает смысловое втягивание понятия *различие* в понятие *тождество*): *каждое понятие имеет предел применимости* и требует выхода за свой предел. В этом смысле истина как *тождество идеально и реально преобладающей деятельности человека* (так нам её определял советский философ Генрих Степанович Батищев (1932-1990) в философском кружке физического факультета МГУ в начале 1960-х годов) по самой своей природе *процессивна*.

В начальной истории становления научной картины мира упомянем только Фалеса (625-547 до новой эры), Платона (428-348 до н. э.) и Демокрита (род. 460 до н. э.). Фалес постулировал: *вода* есть единая *первостихия* всей природы, единая сущность всего многообразия предметов и явлений мира (вспомним: океаны, айсберги, снежинки, облака – это всё вода). Это первая физическая картина мира. Сегодня в квантовой теории поля мир рассматривается как единый физический вакуум (в переводе с латинского *vacuum* означает *пустота*) и кванты его возбуждения. Сам вакуум есть минимальное энергетическое состояние физической системы (в том числе Вселенной). Все элементарные частицы в теории струн рассмат-

риваются как различные кванты возбуждения вакуума, различные резонансные моды колебания струны. В этом смысле все элементарные частицы – различные состояния одной из них. Поэтому взаимопревращение частиц в ядерных реакциях вещь естественная.

Платон постулировал: *идеи* – это первичные вечные и неизменные умопостигаемые прообразы всех предметов и явлений изменчивого мира. А все вещи – только вторичные образы идей, только их подобия. Мир идей при этом имеет вершину – *идею блага*. Нематериальная душа созерцала этот мир идей до соединения с телом, а после этого соединения что-то высокое утратила и процессом познания мира вспоминает и воссоздаёт утраченный первообраз мирового бытия, по ступеням всё выше и выше движимая Эросом-Любовью к идее утраченного высшего безначального Начала. В платонизме схвачена стадийность становления сознания: гилозоизм, анимизм, панпсихизм.

В гилозоизме (от греческих слов *hyle* – материя и *zoe* – жизнь) вся материя мира одушевлена, весь мир – живой организм со всеми живыми его частями – горами, океанами, деревьями, Солнцем и звёздами. И этот мир управляем с помощью магических обрядов и заклинаний, управляем силой сознания. Искусство магии приписывалось колдунам и магам в эпоху господства первобытных структур сознания. Анимизм (от латинского *animus* – душа, дух) исходит из признания существования душ и духов. Здесь живёт поэзия. Вспомним Ф. И. Тютчева (1803-1873):

Не то, что мните вы, природа:
Не слепок, не бездушный лик –
В ней есть душа, в ней есть свобода,
В ней есть любовь, в ней есть язык.

Приведу и своё стихотворение со стихийным одушевлением природы (2002):

Ну вот и ты, жестокая весна
Взошла на трон языческой природы.
Зима алмазная тобой оскорблена,
И грязные твои разлились воды.
Скорей спеши, ведь столь недолог век
Сладкоголосой песни соловьиной.
Звонящим льдом твой обернётся бег,
И всё замрёт под снежною лавиной.

Правота Тютчева в том, что и человек – природа, а ошибка в том, что человек – структурно устойчивое явление природы как фокус природных сил, а не её океаническая стихия, которую он глобально одушевляет и в этом смысле очеловечивает.

Панпсихизм (от *пан* и греческого *psyche* – душа) развивает идею одушевлённости природы от гилозоизма и анимизма до идеи её одухотворённости, до понимания психической реальности как подлинной сущности мирового бытия. Скажем, трава и дерево – живые, но им не больно, когда их вырывают из земли и расчлениают. А вот животным бывает больно. Но они не поднялись от уровня инстинктов до понимания и формулировки законов физики, с помощью которых *homo sapiens* создаёт неорганическое тело цивилизации, строя атомные электростанции и осваивая космос: разум с его пониманием и предвидением переходит от целевыбирания к целеполаганию, к созданию новых возможностей, которых до него не было, размораживает потенциальные возможности изменения вещей, рождает дополнительные возможности адаптации человека к действительности. При этом он не изменяет законов природы, а использует их как наиболее природнейшее существо.

Демокрит возвращает нас от идеализма с его приматом идей как атрибутов физической реальности над самой этой реальностью как субстанцией (от латинского слова *substantia*, *сущность, то, что лежит в основе*) к физике с её приматом собственно физической реальности. Он постулировал: *существуют только атомы и пустота*. По-гречески *а-томос*

означает *не-делимый*. В геометрии любой отрезок делим до бесконечности, давая в пределе нульмерную точку. Движение точки рождает линию, движение линии рождает поверхность, движение поверхности рождает объём, движение многомерного объёма рождает объём на единицу большей размерности, и так до бесконечного набора бесконечномерных объёмов математики. Демокрит постулировал наличие предела бесконечному делению и был прав: бесконечность создаётся воображаемой незаконной бесконечной экстраполяцией *и так далее до бесконечности* с ошибкой в слове *так*: на самом деле всегда достигается конечный предел, за которым приходится действовать в практическом деле и в работе мысли и воображения *не так*. Эта бесконечная *таковость* обедняет реальный мир, который заставляет каждый раз перестраивать обобщением весь построенный ранее образ мироздания.

Для объяснения существования души Демокрит придумал особо тонкие атомы. Но современная физика нашла новый способ соединения единого и многого, считая различные элементарные частицы различными состояниями одной частицы-струны (или *браны* как многомерного обобщения одномерной струны). А конструктивный запрет бесконечной делимости привёл к дискретизации картины мира. Возникли *континуальная математика* Платона и *дискретная математика* Демокрита. Немецкий математик Карл Гаусс (1777-1855) установил принципиальное различие становящейся потенциальной бесконечности конструктивной математики и ставшей, актуальной бесконечности как абстракции, существующей только в воображении.

2. Математика как наука о бесконечном. Как заметил Гегель (1770-1831), *кому конечное слишком претит, тот бесследно истлеет внутри себя*. Но бесконечное человеку притягательнее конечного. Поэтому скажем немного о бесконечных величинах. Немецкий математик Карл Вейерштрасс (1815-1897) назвал математику *наукой о бесконечном*. Процессивность научной истины не обходится без понятия бесконечности как важнейшего продукта умозрения. Одним из основных понятий математики является бесконечный ряд *натуральных чисел*. Согласно аксиомам Пеано натуральных чисел 1 есть первое натуральное число, и для каждого натурального числа есть ровно одно следующее натуральное число. Заметим, что у Пифагора, жившего две с половиной тысячи лет тому назад, *мир есть число*. При этом 1 у него – не число, но некая реальность, к которой остальные числа приобщаются через их отношение с единицей. Как известно, мощность множества всех подмножеств из N элементов равна 2^N (ведь добавление нового элемента удваивает число всех подмножеств). Заметим, что $2^N > N$ для конечного и бесконечного N . Мощность множества всех подмножеств натуральных чисел имеет мощность континуума. Таково множество точек воображаемой числовой оси в геометрии. В физике имеется строящаяся из постоянных Планка, Ньютона и скорости света минимальная *планковская длина* (порядка 10 в степени минус 33 сантиметра), за пределами которой понятие расстояния теряет физический смысл. Мощность счётно-бесконечного ряда натуральных чисел называется «алеф-нуль». Далее 2 в степени «алеф-нуль» даёт «алеф-1», и далее возникает бесконечный ряд растущих бесконечностей. Но наш физический мир конечен, и бесконечные «алефы» математики моделируют соотношения его сверхбольших конечных величин. Для развития понятия числа (кстати, и вся наука есть *развивающееся понятие*) определим несократимую дробь p/q как бесконечное множество эквивалентных пар чисел (pn, qn) при произвольном n . Теперь докажем, что диагональ единичного квадрата – не дробь. Действительно, квадрат этой гипотенузы равнобедренного прямоугольного треугольника равен сумме квадратов катетов, то есть равен 2 . Следовательно, если это квадрат дроби p/q , то $p^2 = 2q^2$, то есть число p чётное, $p=2m$. Но тогда $q^2 = 2m^2$, то есть и q чётно, что противоречит несократимости дроби. Возникает новое иррациональное число $\sqrt{2}$ как бесконечное множество дробей, квадрат которых меньше двух (как так называемое *сечение Дедекинда* множества дробей). Поскольку в природе (а не в умозрении) актуальной бесконечности нет, в ней нет и иррациональных чисел.

Иррациональных чисел, больше, чем чисел рациональных (дробей), которые можно пересчитать в бесконечной таблице «числитель-знаменатель». Вместе они образуют вещественные числа. Пары вещественных чисел образуют плоскость комплексных чисел, четвёрки образуют кватернионы. Мнимая единица определяется как оператор поворота действительной единицы (единичного вектора вещественной оси) на прямой угол. Поворот на два прямых угла даёт число (-1). Далее можно строить кватернионы и октонионы, а дальнейшим обобщением понятия числа является матрица.

От понятия числовой оси перейдём к геометрии кривых линий и поверхностей. Мгновенное состояние Вселенной можно считать искривлённой 3-поверхностью в 4-мерном пространстве-времени. Эту гиперповерхность можно сколь угодно точно аппроксимировать скелетной геометрией тетраэдров, каждый из которых внутри плоский и определяется шестёркой его рёбер, то есть точкой 6-пространства. Построим счётно-бесконечномерное пространство, размерность которого равна числу рёбер всех тетраэдров. Тогда эволюцию 3-пространства можно описать действием бесконечномерной матрицы на бесконечномерный вектор мгновенного состояния Вселенной (это её так называемая *геометродинамическая координата*), содержащий бесконечно много информации. Но тут вмешивается квантовый принцип неопределённости: произведение неопределённости задания координаты на неопределённость задания импульса, указывающего, куда скакнёт Вселенная в следующий момент времени, строго больше конечной размерной величины (половины приведённой постоянной Планка). Но мы мысленно задали абсолютно точно мгновенное состояние Вселенной, что влечёт полную неопределённость её импульса. Поскольку здесь теперь абсолютно невозможно предсказать состояние Вселенной в следующий момент времени, время просто исчезает. Можно считать, что эволюция мира есть смена пространственных кадров с планковской частотой $1,855 \cdot 10^{43}$ раз в секунду.

Прежде чем перейти к развитию картины мира, коснёмся проблемы сложности описания физических систем. Количество сложных структур ограничено сверху количеством возможных перестановок образующих эти структуры N элементов. Число этих перестановок для больших систем описывается формулой Стирлинга (1730 год):

$$N! \equiv 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot N \approx (2\pi N)^{1/2} (N/e)^N, \quad (1)$$

$$N \rightarrow +\infty, e = 2,71828\dots, \pi = 3,14159\dots$$

Мы видим, что степень сложности растёт гораздо быстрее экспоненты. В наблюдаемой Вселенной массой около 10^{56} граммов число элементарных частиц (масса электрона 10^{-27} г, масса нуклона в 2 000 раз больше) заведомо меньше, чем «гугол» (10 в степени 100). Здесь ключ к предельно редким, но структурно устойчивым вспышкам биосферы с её сложнейшей структурой и с ещё более редкой ноосферной частью в виде живых разумных существ, переписывающих биологическую и социокультурную информацию при смене поколений. При всём том человек – космическое творение, естественно созданное эволюцией самоорганизующегося космоса.

Определение жизни [1]: *жизнь есть поток упорядочения (негэнтропии), обеспечиваемый самокоррекцией наследственного кода при условии притока свободной энергии.*

Обобщением понятия факториала является известная гамма-функция. Приведём формулу объёма единичной сферы произвольной размерности:

$$S_1^N = 2\pi^{(N+1)/2} / \Gamma((N+1)/2) \quad (2)$$

Отсюда получаем длину, площадь и объёмы первых девяти по размерности сфер:

$$2\pi, 4\pi, 2\pi^2, (8/3)\pi^2, \pi^3, (16/15)\pi^3, (1/3)\pi^4, (32/105)\pi^4, \pi^5/60 \quad (3)$$

Мы видим, что эта последовательность вначале растёт, далее убывает и имеет максимум $(16/15)\pi^3$ для размерности 6.

3. Развитие научной картины мира. Построение первой научной картины мира началось с книги Исаака Ньютона «Математические начала натуральной философии» (Лондон, 1687).

Оно началось с абсолютизации понятий времени и пространства [2]. «*Абсолютное, истинное математическое время* само по себе и самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно, и иначе называется длительностью». «*Абсолютное пространство* по самой своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остаётся всегда одинаковым и неподвижным». Затем был сформулирован закон всемирного тяготения: «*Тяготение существует ко всем телам и пропорционально массе каждого из них. Тяготение к отдельным равным частицам тел обратно пропорционально квадратам расстояний мест до частиц*». Ниже мы предложим своё обобщение этого закона обратных квадратов. Релятивистское обобщение механики Ньютона дал Эйнштейн [3]: «Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определённой скоростью, независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом». У Ньютона «*количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объёму её*». У Эйнштейна «масса тела есть мера содержащейся в нём энергии», и «если теория соответствует фактам, то излучение переносит инерцию между излучающими и поглощающими телами» (здесь речь идёт об излучении солей радия). Универсальность тяготения (масса тела или частицы излучения есть её гравитационный заряд) и пространственно-временных параметров физических систем позволила Эйнштейну отождествить гравитацию с искривлением геометрии пространства-времени как многообразия нульмерных точек-событий (событие есть точка пространства, взятая в один момент времени, история частицы вещества – мировая линия или трубка в мире событий).

Кривизна пространства-времени описывается тензором Римана, дающим кривизну вдоль каждого 2-направления. Например, сумма углов треугольника, образованного тройкой горизонтальных лучей лазера на поверхности Земли, больше двух прямых углов, а для вертикального треугольника – меньше: риманова геометрия всегда рядом с нами. Общая теория относительности Эйнштейна (1915) приравняла тензор кривизны Эйнштейна для пространства-времени (симметричная 4×4 матрица функций мировой точки) тензору энергии-импульса материи (в общем случае это диагональная матрица с плотностью материи и давлениями внутри материальной среды по трём взаимно ортогональным осям). Если геометривать плотность не только массы, но и спина материальных источников, то получим 16 уравнений Эйнштейна-Картана (1922). Если кривизна отвечает за сумму углов треугольника и отношение длины окружности к радиусу, то кручение Картана отвечает за то, что вместо движения по окружностям получим движение по винтовым линиям закрученного пространства-времени. Поскольку коэффициент при тензоре кручения меньше коэффициента при тензоре прогибающей пространство-время материи, кручение мира событий менее заметно, чем его кривизна. Математика как часть физики строится на математических идеализациях, связанных с идеализациями физическими. Если мировые точки заменить струнами планковской длины, то в уравнениях Эйнштейна появятся струнные добавки [4]. Кроме локальной кривизны пространства-времени существуют и глобальные характеристики мира событий, который можно рассматривать как четырёхмерную искривлённую плёнку в многомерном плоском мире Минковского лоренцевой сигнатуры $(- + + \dots +)$. В принципе можно рассматривать любую воображаемую топологию 4-мира, например, гиперболоида с временной осью симметрии – ортогональные оси сечения будут пространственными 3-сферами, сжатие которых со временем сменяется расширением, что моделирует наблюдаемое расширение Вселенной по закону Хаббла: скорость взаимного удаления всех галактик пропорциональна расстояниям между ними. Экзотическая топология допускает так называемые кротовые норы и прочие неоднозначные многообразия событий. Но вспомним эвристику фейнмановского интеграла по путям эволюции физической системы из одного состояния в другое: складываются все возможные эволюции, что даёт одну наиболее вероятную, отвечающую экстремуму действия (интеграла по пространству от плотности лагранжиана). К примеру, сложим все пути, ведущие из одной точки в другую. Взаимная компенсация всех путей даёт в итоге кратчайший (в пространстве, и максимальный – в пространстве-времени) путь как наиболее вероятный: так самоорганизующаяся природа сама нащупывает свою структуру и эволюцию. При этом при-

рода выбирает не только экстремальный путь в пространстве с заданной топологией, но и простейшую односвязную топологию: многосвязная топология предполагает внешнее наложение связей и ограничений. А что касается машин времени с замкнутыми линиями времени, то они запрещены законом неубывания энтропии. Отметим далее, что собственным значением квантового оператора скорости является только плюс-минус скорость света. Строго говоря, это не скорость, поскольку для воображаемого светового наблюдателя вместо 1+3 расщепления мира событий на единичную скорость наблюдателя вдоль единичного вектора его локального времени и на ортогональное мгновенное 3-пространство имеем 2+2 расщепление из-за предельного до нуля лоренцева сокращения продольного измерения пространства. Мы предложили свой *диадный формализм* для 2+2 расщепления в 1971 году [5] на 2 года раньше аналогичного формализма Героча, Хелда и Пенроуза [6], широко известного как GHP-formalism. Каждая частица рождается в световом состоянии с 4-импульсом $(h/2\pi\omega, \pm h/2\pi\omega, 0, 0)$ нулевой длины. Мы поставили здесь знак плюс-минус перед её 3-импульсом: он возникает из-за систематического взаимодействия частицы с полем бозонов Хиггса, давая в среднем нулевой 3-импульс. Таким образом, каждая элементарная частица на самом деле испытывает световое дрожание, воспринимаемое как её неподвижное в среднем состоянии.

При Большом Взрыве 13,7 миллиарда лет тому назад единое физическое взаимодействие разделилось на сильное, слабое, электромагнитное и гравитационное. Сильное взаимодействие склеивает тройки кварков внутри нуклонов (протонов и нейтронов) с помощью их обмена глюонами как переносчиками взаимодействия. Потенциал Юкавы этого взаимодействия пропорционален $-r^{-1} \exp(-r/r_0)$, где расстояние $r_0 = 10^{-13}$ см. Слабое взаимодействие вызвано обменом W^\pm и Z^0 бозонами между частицами, электромагнитное – обменом виртуальными фотонами спина 1, гравитационное – обменом виртуальными гравитонами спина 2. Потенциалы электромагнитного и гравитационного взаимодействий считаются пропорциональными $1/r$. При этом два электрона в примерно 10^{41} раз сильнее взаимодействуют электрически, чем гравитационно. Мы здесь высказываем гипотезу: *потенциал гравитационного взаимодействия имеет вид потенциала Юкавы с $r_0 \approx 10^{28}$ см*. Аналогичную коррекцию следует сделать и для теории электромагнетизма. Это расстояние на 41 порядок больше постоянного расстояния потенциала сильного взаимодействия и равно примерно радиусу горизонта событий видимой части Вселенной. На этом расстоянии скорость удаления во все стороны галактик от нашей Галактики равна скорости света, и это расстояние отвечает горизонту событий для её массы порядка 10^{56} грамм (мы здесь не касаемся вопроса тёмной материи, которой в 5 раз больше видимой, и тёмной энергии, которой больше видимой в 14 раз).

Смысл нашей гипотезы в следующем. Во-первых, она не противоречит наблюдениям. Во-вторых, она по форме уподобляет гравитацию сильному взаимодействию, что отвечает попыткам объединения всех физических взаимодействий. В-третьих, она фактически заменяет актуальную бесконечность пространственного протяжения Вселенной большой конечной величиной. В этой связи упомянем рассуждение Давида Гильберта [7]: «Мы должны отчётливо уяснить себе, что «бесконечное» лишено наглядного – а без детального анализа и вообще какого бы то ни было – смысла. Ведь существуют лишь конечные вещи. Не существует ни бесконечной скорости, ни бесконечно быстро распространяющейся силы или действия. К тому же действие по природе своей даже дискретно и существует только квантами. Не существует ничего континуального, что могло бы быть бесконечно делимо. Даже свет, как и действие, обладает атомистической структурой. Да и сама наша Вселенная, по моему глубокому убеждению, имеет лишь конечную протяжённость, и когда-нибудь астрономы смогут нам сказать, сколько километров мировое пространство имеет в длину, высоту и ширину... бесконечность... представляет собой чудовищную абстракцию, которая реализуется лишь путём сознательного, а то и подсознательного применения аксиоматического метода. Эта трактовка бесконечного, обоснованная мной подробными исследованиями, решает ряд принципиальных вопросов; она, в частности, делает беспредметными кантовские антиномии, связанные с пространством и с безграничной делимостью, а стало быть, и снимает возникающие в связи с этим трудности... бесконечное не реализуется нигде; оно не присутствует в природе, а без специальных мер предосторожности оно не допустимо и в качестве основы

нашего мышления. Уже в этом я усматриваю некий важный параллелизм природы и мышления, основополагающую согласованность между опытом и теорией».

Механика Ньютона и классическая теория Эйнштейна подчиняются принципу *лапласовского детерминизма*: задание данных Коши (метрики и её ростков в фиксированный момент времени) полностью определяет всю прошлую и всю будущую эволюцию физической системы. Бифуркации и квантовая механика размывает этот детерминизм. Квантовая теория гравитации ещё не создана. Но квантовая теория пространства-времени требует увеличить его размерность до 10-ти. Дополнительные 6 вещественных компактных измерений (3 комплексных) планковского масштаба образуют так называемые *многообразия Калаби-Яу* с комплексной метрикой Кэли.

Уравнения Эйнштейна можно записать аналогично уравнениям Максвелла, но уже не для вектор-потенциала A , а для тетрадного поля (4x4-матрицы) $e_{a\mu}$ (здесь первый индекс лоренцев, второй – координатный) с введением автоматически сохраняющихся тетрадных токов (ведь кодифференциал – оператор нильпотентный), что решает проблему сохранения источников в общей теории относительности, неудовлетворительно решённую Эйнштейном, работавшим на уровне метрики $g_{\mu\nu} = e_{\mu}^a e_{a\nu}$, а не тетрады $e_{a\mu}$ [8]:

$$\begin{aligned}\delta dA &\equiv -\nabla^{\mu}(\partial_{\mu}A_{\nu} - \partial_{\nu}A_{\mu})dx^{\nu} = 4\pi J_{\nu}dx^{\nu} \\ \delta J &= -\nabla^{\mu}J_{\mu} = 0 \\ \delta de_a &= 8\pi S_a \\ S_a &= S_{a\mu}dx^{\mu} = [(8\pi G/c^4)(T_{a\mu} - \frac{1}{2}e_{a\mu}T) - \nabla^2 e_{a\mu} + R_{a\mu} + \partial_{\mu}\nabla^{\nu}e_{a\nu}]dx^{\mu} \\ \delta S_a &= -\nabla^{\mu}S_{a\mu} = 0\end{aligned}\tag{4}$$

Говоря словами, *кодифференциал дифференциала вектор-потенциала равен току, а кодифференциал дифференциала тетрады равен тетрадному току.*

Теперь «островная» метрика Шварцшильда как решение уравнений Эйнштейна, которые следует модифицировать (не только с учётом поправок на кручение Картана и теорию струн, которые опускаем), принимает следующий вид (ниже $r_0 \approx 10^{28}$ см):

$$ds^2 = -[1 - 2(M/r)\exp(-r/r_0)]dt^2 + [1 - 2(M/r)\exp(-r/r_0)]^{-1}dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta \cdot d\varphi^2)\tag{5}$$

Будущая единая теория покажет, насколько жизнеспособна предложенная здесь гипотеза.

Список литературы

- [1] R. F. Polishchuk. In: *Fundamentals of Life* (Eds. G. Palyi, C. Zucchi and L. Caglioti) Elsevier and Accademia Nazionale di Scienze. Lettere ed Arti (Modena). Paris, 2002, p. 141-151.
- [2] И. Ньютон. Математические начала натуральной философии (Лондон. 1687). М.: Издательство ЛКИ, 2008.
- [3] А. Эйнштейн. Собрание научных трудов в четырёх томах. Том 1. М.: Наука, 1965.
- [4] М. Грин, Дж. Шварц, Э. Виттен. Теория суперструн в двух томах. Том 1. М.: Мир, 1990.
- [5] Р. Ф. Полищук. Кандидатская диссертация. ГАИШ, МГУ, 1971. Диадный подход к общей теории относительности. ДАН СССР, **209**, 76-79 (1973).
- [6] R. Geroch, A. Held, R. Penrose: A Space-time calculus based on pairs of null directions. *J. Math. Phys.* **14**, 874 (1973).
- [7] Д. Гильберт. Избранные труды в двух томах. Том 1. Познание природы и логика (1930). С. 457-465, М.: Издательство «Факториал», 1998.
- [8] R. F. Polishchuk. Tetrad currents in General Relativity. *Gravitation and Cosmology.* **2(3)**, 123-129 (1997).

**ОТ ТЕОДИЦЕИ К НАУЧНОМУ РЕАЛИЗМУ.
К 10-ЛЕТИЮ «ОБРАЩЕНИЯ ГИНЗБУРГА-АЛФЁРОВА»
ПРОТИВ КЛЕРИКАЛИЗАЦИИ РОССИИ****Р. Ф. Полищук**Москва, 119991, Ленинский пр., 53, ФИАН
rpol@asc.rssi.ru

Нынче исполнилось 10 лет со времени обращения 10-ти российских академиков к президенту страны против её клерикализации, известного как «обращение Гинзбурга-Алфёрова», и 5 лет со времени обращения президента России (22 мая 2012 года) к российским учёным, где в частности было сказано: научному сообществу предстоит очиститься от всяческой скверны лженауки и фальсификаций в своих рядах: «Это также в числе приоритетов РАН». Но мы видим, как закономерности собственно материального производства продолжают проникать в духовное производство нового знания и тем самым его разрушают. Это проявляется и в том, что РАН не удалось предотвратить признание ВАКом теологии как научной дисциплины, что укрепляет позиции сторонников клерикализации страны. Поэтому продолжим спор со сторонниками клерикализации, включая одного священника из числа бывших физиков (протоиерея Кирилла Копейкина из Санкт-Петербурга).

Единственно верной мировоззренческой установкой человека является диалектический материализм. Так полагал, например, один из творцов квантовой механики Владимир Александрович Фок (1898-1974), и в этом уверено большинство учёных (разные люди имеют разный биологический и познавательный возраст). Единственной истиной о мире и человеке в мире является научная картина мира. Наука есть развивающееся в единый корпус знания понятие. Каждое понятие имеет предел применимости, поэтому научная истина процессивна. К научному знанию человек приходит через мифологические стадии становления сознания: гилозоизм (мир живой), анимизм (мир одушевлён), панпсихизм (мир одухотворён) и научный реализм. Миф – необходимая категория мысли и жизни, её подлинная и максимально конкретная реальность [1, с. 397], укоренённая в нашем сознании. Но хотя мифы никогда не исчезнут, последнее слово – за фактами, из которых всегда исходит наука.

Сознание ведёт к мысли, мысль – к слову, слово – к философии и к научной и прочей литературе. Следуя С. С. Аверинцеву [2, с. 17], «обратимся на минуту от истории слова к истории мысли... Вся мысль египтян, вавилонян и иудеев в своих предельных достижениях не философия, ибо предмет этой мысли не «бытие», а жизнь, не «сущность», а существование, и оперирует она не «категориями», а нерасчленёнными символами человеческого самоощущения-в-мире, всем своим складом исключая технико-методическую «правильность» собственно философии. В отличие от них греки, если позволительно так выразиться, извлекли из жизненного потока явлений неподвижно-самотождественную «сущность» (будь то «вода» Фалеса или «число» Пифагора, «атом» Демокрита или «идея» Платона) и начали с этой «сущностью» интеллектуально манипулировать, положив тем самым начало философии. Они высвободили для автономного бытия теоретическое мышление, которое, разумеется, существовало и до них, но, так сказать, в химически связанном виде, всегда внутри чего-то иного. В их руках оно впервые превратилось из мышления-в-мире в мышление-о-мире».

Человек – наиприроднейшее существо. Динамика природы определяется фейнмановским интегралом по путям эволюции физической системы: сложение всех виртуальных эволюций приводит к действительной эволюции, отвечающей экстремуму действия (интегралу по пространству от плотности лагранжиана системы). Так природа самоорганизуется, не нуждаясь в Творце. Разум с его пониманием и предвидением даёт дополнительную возможность адаптации человека как части биосферы к природному окружению. Возможность появления разумного человека как части земной флоры и фауны коренится в природе эволюции сложных систем, потенциальная сложность которых, описываемая формулой Стирлинга

(1730) для числа перестановок элементов любого множества, растёт быстрее, чем число элементов в степени числа элементов. Вспомним, что по Демокриту мир есть неделимые атомы и пустота, что в теле человека количество нуклонов порядка 10 в степени 29, а во Вселенной с массой порядка 10 в степени 56-57 граммов их около 10 в степени 80-81, таинственной тёмной материи в 5 раз больше, а тёмной фоновой массы-энергии – в 14 раз больше). Сложность жизни биосферы поддерживается перезаписыванием биологической наследственной информации, передаваемой из поколения в поколение (иная информация исчезает). Ноосферная часть биосферы (человечество) поддерживается перезаписыванием социокультурной наследственной информации из поколения в поколение. Разум – естественный способ структурирования передаваемой информации: разумный человек – космическое существо, естественно рождённое космосом по закону эволюции космоса. Поэтому смысл жизни – в самой жизни, в том, чтобы просто жить по-человечески, жить со смыслом. Так и смысл огня – гореть, смысл дождя – литься из туч на землю (гравитация возникает из обмена всех масс природных тел виртуальными гравитонами), и так далее. Впрочем, греки считали, что дождь – это небесная сперма, это оплодотворение Небом тела Земли, рождающей затем свою флору с фауной. Вот и теодицея (оправдание бытия Божия) – это миф олицетворения творческой силы Объекта-Природы в образе Субъекта-Творца. С точки зрения диалектического материализма Природа едина, а не субъект или объект. Здесь антирелигиозный диамат перекликается с мировой религией буддизма. Но буддизму не хватает идеи структурной устойчивости предельно редких явлений вспышек разумной жизни в космосе: разум есть фокус природных сил, а не растворённая в каждом элементе природы (буддийской дхарме) сущность. Простым примером структурной устойчивости является пересечение в одной нульмерной точке трёх двумерных плоскостей в трёхмерном пространстве: при шевелении плоскостей точка не исчезает, хотя и нульмерна. В многомерном пространстве возможных состояний мира условия возникновения жизни (температура, гравитация, наличие сложных химических элементов, атмосферы, гидросферы и так далее) вычлениют подпространства разной меньшей размерности.

Напомним наше простое рабочее определение жизни, данное нами тогда, когда мы не нашли другого подходящего её определения. Жизнь есть поток негэнтропии (упорядочения), обеспечиваемый самокоррекцией наследственного кода при условии притока свободной энергии [3-4]. Предок человека возник несколько миллионов лет тому назад, а сам человек появился на Земле около 100 тысяч лет назад в результате длительной эволюции её биосферы. Появление разума во Вселенной – хоть и пограничное, предельно редкое, но, как было сказано, структурно устойчивое явление. По математической лемме Сарда граница имеет меру нуль, физически – малая величина больше нуля. Около каждой звезды существует экосфера как тонкий шаровой слой совместимых с жизнью температур. Например, на соседней Земле планете Венере температура около 750 К (Кельвинов), на Марсе – 216 К, на самой Земле – 183-330 К. В каждой средней галактике имеется более ста миллиардов звёзд, в Метагалактике более ста миллиардов галактик. Звёздные системы возникли в результате гравитационной конденсации вещества, рассеянного после Большого Взрыва 13,7 миллиардов лет тому назад. Планет при этом в 3-4 раз больше, чем звёзд (это всё данные наблюдательной космологии). Если массу Метагалактики мысленно сжать (перед Большим Взрывом она и была предельно сжата) до предельной планковской плотности (половина от 10 в степени 94 грамм в кубическом сантиметре), то получим 3-сферу (ведь у Метагалактики и у сфер нет границы) радиуса кривизны около 10 в степени минус 13 сантиметра (как бы «первоатом Леметра»). Массы (обезразмеренные выбором постоянного размерного множителя) как источники кривизны возможно сохраняются, но отрицательная потенциальная гравитационная энергия (гравитация отделилась от других физических взаимодействий в окрестности временной эпохи Большого Взрыва) полностью компенсирует массу-энергию Вселенной как физической системы.

Предпосылкой жизни является переработка Землёй низкоэнтропийного солнечного излучения в земное высокоэнтропийное излучение и фотосинтез как источник усложнения флоры и затем фауны. Солнце по теории эволюции звёзд пережигает свой водород в гелий около 5 миллиардов лет и будет гореть ещё примерно столько же времени. Наличие тяжёлых химических элементов наших тел доказывает, что Солнце – звезда не первого поколения (то-

гда не было столько тяжёлых химических элементов), но поколения второго или третьего (это согласуется с возрастом Вселенной). Взаимодействие организмов фауны в какой-то её части перешло в общение с помощью жестов, знаков и возникшей отсюда пиктографии, ставшей затем языком как системой общения с помощью указанных знаков. Например, буква А есть схематическое перевернутое изображение головы священного египетского быка Аписа, считавшегося земным воплощением бога Пта, почитавшимся в Мемфисе в роли создателя всего сущего. В 1710 году немецкий философ Готфрид Лейбниц (1646-1716) создал образ мира как множества обладающих психической деятельностью монад, находящихся друг с другом в отношении предустановленной гармонии. Лейбниц для этого ввёл термин теодицея как оправдание Бога-Творца всякого блага в противовес существованию тёмных сторон бытия, персонифицированных в образе дьявола как властелина ада.

Мысль Лейбница, как говорилось, перекликается с идеей буддизма, возникшего две с половиной тысячи лет тому назад в Индии как ответвление индуизма. Буддизм рассматривает мир как совокупность первичных вечно перевозникающих психофизических элементов дхарм. Если по современным представлениям человек – фокус сложного сочленения природных сил, то в буддизме психофизической сложностью наделён каждый мировой элемент, так что мир – некое всесложное, пансложное образование. Ранний буддизм исходит из ложности членения первичной реальности на субъект и объект, в том числе на Творца и творение. Возникает водораздел мировых религий, деление их на буддизм и теизм (иудаизм, христианство, ислам), абсолютизирующих творческую способность человека в образе Творца всего сущего.

Сложные системы обычно распадаются из-за неравномерного развития их частей. Распад – предпосылка новых взаимодействий и соединений на новых началах. Распался и Советский Союз (1922-1991), что вызвало растерянность в умах и бифуркацию ходов мысли: одни становятся мудрее, другие возвращаются в тылы собственного разумения. Максимумом коммунизма было свободное развитие каждого как условие свободного развития всех (максима как идеал далёк от реального развития). Теперь вернулись попы с их сказками для взрослых. Забыты великие слова: «Никто не даст нам избавленья, ни Бог, ни Царь и ни Герой!» Это всё для слабых духом осталось в прошлом. Духовную капитуляцию они выдают за свою духовную победу. Да, в жизни есть святое – подвиги наших родителей, отдающих нам всё, подвиги наших воинов, охраняющих нашу мирную жизнь. Но это накладывает на нас как на людей-мыслителей моральную ответственность перед людьми-солдатами всех иных жизненных фронтов: ведь именно благодаря им мы можем основное своё время и свои усилия уделять прежде всего научным занятиям.

Для Баха и Бетховена музыка была разговором с Богом как символом безначального Начала и высшего Блага. Сегодня высшее благо хочет приватизировать Церковь как социальный институт, пытающийся выйти из тылов общества на передний план. Несостоявшиеся физики (вроде петербургского протоиерея Кирилла Копейкина) становятся священниками, выдавая своё впадение в интеллектуальную инфантильность за возвышение от понимания «книги природы» к пониманию Библии как книги Слова, которое было в Начале. Этим новым ретроградом не хватает интеллектуальной честности признать ограниченность собственной мировоззренческой установки. Это только антидогматичная самокритичная наука с её открытостью к развитию движется обобщением подхода к миру и понимания места человека в мире. Религия же опирается на догматы, принимаемые за несокрушимые, хотя догматы различных религий друг с другом несовместимы и уже потому сокрушимы. Конечно, кто-то должен защищать людей юного познавательного возраста, чтобы они имели возможность возмужать духом и понять, что сказка – ложь, да в ней намёк, добрым молодцам урок. Но наука – это не начальная или средняя школа, но героический штурм тайн Природы на границе познанного и ещё непознанного. Научный разум по самой своей природе трансцендирует собственные границы с опорой на факты и логику.

Чтобы оправдать свою интеллектуальную капитуляцию, протоиерей Кирилл Копейкин заявляет: «Никто не знает, что такое разум». Но по Канту (Соч., М., 1964, т. 3, с. 340), «всякое наше знание начинается с чувств, переходит затем к рассудку и заканчивается в разуме, выше которого нет в нас ничего для обработки материала созерцаний и для подведения его

под высшее единство мышления». Рассудок ограничен содержанием, порождаемым чувственным познанием, разум ищет безусловные основания за пределами конечного рассудка, строит разного рода модели фрагментов действительности и мира в целом. Здесь – путь. А утверждение о непознаваемости сути разума – нежелание и неспособность сделать первый шаг и начать мыслить.

Для анти-интеллектуала Кирилла Копейкина Бог находится на высшем уровне бытия, на котором находятся диктуемые им законы природы как таковые. Психологически это понятно. У Льва Толстого в «Войне и мире» на вопрос о причине движения паровоза позитивист говорит, что его движет выходящий из трубы дым, а мужик краток и выразителен: «Чёрт его движет!» Психологически ответ полный, а позитивисту надо идти дальше до описания работы парового котла и того, как парообразование толкает поршни и вращает колёса. Протоиерей встаёт на позицию мужика, чтобы психологически ужиться с собственным уходом из физики в религию.

Законы природы – вещь физике известная: Большой Взрыв Вселенной сопровождался распадом единого физического взаимодействия на сильные, электрослабые и гравитационные. Первые отвечают за обмен кварков глюонами с образованием нуклонов, электрические – за обмен электрических зарядов виртуальными векторными фотонами спина 1, гравитационные – за обмен масс тензорными гравитонами спина 2. Почему пара электронов на десятки порядков сильнее взаимодействует электрически, чем гравитационно, станет известно с созданием единой теории взаимодействий.

Для Кирилла Копейкина «доказательства любви не должно быть». Но доказательство допустимо, хоть и необязательно. В основе полового влечения лежит базовый инстинкт продолжения рода: каждый из нас возник в момент зачатия в лоне матери. Мы все – современное семимиллиардное (с лишним) состояние условной «начальной пары Адам и Ева» (в этом смысле они практически вечны; здесь также – проблема антропогенеза и генезиса биосферы). Сама биосфера – неотъемлемая часть космоса, структурно устойчиво возникающая на некоторых планетах (их в мире около 10 в степени 23). Но конечно, анатомия любви и чувство влюблённости – вещи разные.

Для Кирилла Копейкина задача физики – познать Бога через Его творение. Увы, Бог доказательно существует только в головах теистов. А кроме теистов есть буддисты, исходящие из ложности первичного деления Природы на Творца и творение. Мировоззренческие установки следует не столько отрицать, сколько обобщать. Наука обобщает весь спектр религиозных и прочих установок человечества и прокладывает дорогу к единой для всех развивающейся дальше научной картине мира.

По Кириллу Копейкину в научную картину мира не удаётся включить появление личности. Личность – социальный и психологический образ человека как целостности, атрибут человеческого индивида как субъекта общественных и прочих отношений и сознательной деятельности, форма самосознания человека. Человек как универсальное существо с личностным внутренним ядром – это своего рода целый мир (тем и интересен), сочетающий социальные и индивидуальные многофакторные начала и имеющий различные ценностные ориентации. Сложность личности и её определения не означает принципиальной непознаваемости её сущности: по плодам её о ней и судим.

О взглядах Кирилла Копейкина мы судим по его интервью Михаилу Сизову для газеты «Эском-Вера». Первый напоминает, что согласно апостолу Павлу «в мире будущего века знание устранился, и останется только Любовь». А пока мы не увидим Бога лицом к лицу, нужны и богословие, и физика. Но, во-первых, чувства и разум развиваются по разным координатам и делают человека не одномерным существом. Во-вторых, Бога увидеть невозможно в принципе, поскольку он – только символ, предмет веры, но не субстанция. Согласно «Розыску о раскольнической брынской вере» (Москва, 1762) Дмитрия Ростовского, по толкованию Златоуста, «то токмо вера есть, еже очима не видится, а сердцем веруется; вера извещение вещей невидимых». «Егда бо сподобимся быти в царствии небесном (аще кого Бог сподобит) и узрим тамо Бога: тогда престанет быти вера, понеже уже лицом к лицу узрим того, егоже веровахом». Тертуллиан (160-220, Карфаген) в духе эмпиризма и стихийного агности-

цизма полагал наличие пропасти между верой (как неким экзистенциальным императивом бытия человека) и абстрактным теоретическим разумом (как необоснованной претензией уловить принципиально неуловимую суть бытия): «Сын божий распят; нам не стыдно, ибо полагалось бы стыдиться. И умер Сын божий; это вполне достоверно, ибо ни с чем несообразно. И после погребения он воскрес; это несомненно, ибо невозможно» [5]. Для Тертуллиана жизнь – не постижимый разумом парадокс. Для него всё сущее есть «тело», стало быть и «Бог – тело, которое, впрочем, есть Дух». Но всё иррациональное в конце концов получает рациональное объяснение: дух, а точнее, разум, это не «что», но «как», закон жизни биосферы в полярной точке её естественного самоусложнения. На уровне атомов человек как был, так и остался их совокупностью. Но именно разум построил теорию сложности как ключ к разгадке механизма антропогенеза как нового качества существования материи в фокусе её естественных природных сил. Именно разум открыл, например, закон сохранения массы-энергии замкнутой физической материи (ведь она – собственное значение гамильтониана как оператора эволюции системы во времени, а гамильтониан очевидным образом сам с собою коммутирует) и несохранения энтропии: энтропия растёт, но из-за притока солнечной негэнтропии она на Земле локально вытесняется, и рождается биосфера.

Согласно Кириллу Копейкину, не существует материалистической интерпретации волновой функции. Но простая математическая интерпретация есть. Волновая функция – вектор бесконечномерного гильбертова пространства. Предположим скелетную геометрию мгновенного состояния Вселенной как гиперповерхности в пространстве-времени. Она аппроксимируется сколь угодно точно тетраэдрами, определяемыми их шестёрками сторон, то есть точками 6-мерного пространства. Возьмём точку счётно-бесконечномерного пространства, размерность которого равно числу всех сторон всех тетраэдров. Она и будет аппроксимацией волновой функции. Действие бесконечномерной матрицы (обобщение понятия числа) на полученный бесконечномерный вектор будет описывать эволюцию Вселенной сколь угодно точно.

Согласно протоиерею Копейкину, «объекты скорее походят на нечто психическое, чем на физическое». Ну и что? Физика в широком смысле слова («фюсис» означает «природа») есть единственная наука. Ключ к пониманию физики (природы) психики в теории сложности: живое естественно возникает из неживого, в живом в конце концов естественно возникает психическое. Бытие членится на ряд уровней без непосредственной редукции одного уровня к другому: биология не есть прикладная химия, психология не есть прикладная биология. На уровне Демокрита «мир есть атомы и пустота», и в кусочке живой ткани тела через любой сверхсильный микроскоп мы увидим только отдельные частицы, состоящие из химических элементов таблицы Менделеева. И никакого витализма не обнаружим.

Кирилл Копейкин цитирует Алоиза Венцеля: «Метафизика современной физики: мир элементарных частиц похож на мир элементарных духов», и далее именует их «элементарными логосами» (заметим: в духе буддизма). Разве это не просто игра в слова? У всякой частицы есть заряд, масса, спин (при этом в теории суперструн все частицы – различные состояния одной из них). А дух – это не «что», но «как», невещественная характеристика осознания чего-то. Далее цитируется Антоний Сурожский: «Единственный подлинный материализм – это христианство». Не лучше ли рассматривать весь спектр мировоззренческих установок человечества (античный политеизм, христианство, ислам, чань-буддизм, дзен-буддизм и так далее) за всю его историю? Владыка Антоний верит, что в литургии Бог соединяется с хлебом и вином и тем возвышает их материю. Блажен, кто верует. Но тут нет ни грана единой для всех научной истины – просто не до неё. Если и есть здесь какая-то проблема, то это проблема виртуальной реальности чуда, отсутствующего в действительности. Как сказал Бальзак, ужасен удел человечества – всякое счастье происходит от неведения.

Нельзя также согласиться с утверждением Кирилла Копейкина, что «молчание Вселенной» опровергает само-возникновение разумной жизни. Появление разумной жизни – предельно редкое, но структурно устойчивое явление, требующее сочетания ряда условий. Если ближайшая планета с разумной жизнью находится от нас всего лишь в сотне световых лет, то даже при посылке туда сигнала достаточной мощности ответ не придёт ранее, чем через 200 лет. Не лучше ли найти нашей энергетике более насыщенные приложения? Естественнее

предположить, что чем дальше мы будем углубляться в космос, тем большую чуждость его нам будем познавать и тем больше будем любить Землю, частью которой являемся.

Можно считать интересным высказывание апостола Павла: «Всё являемое есть свет» (Еф. 5, 13). Но вкладываемый апостолом и физикой смысл слов различен. Возможно, для апостола зло – просто меньшая мера добра. А в физике собственным значением квантового оператора скорости является только плюс-минус скорость света. Поэтому все частицы рождаются в световом состоянии. При этом из-за систематического взаимодействия с полем бозонов Хиггса 3-импульсы частиц как правило меняют свой знак, рождая световое дрожание частицы в определённом месте со средней ненулевой массой покоя.

Мир протоиерей Кирилл называет поэмой Бога. С этим можно согласиться, если добавить, что и сам Бог – творение человека, чающего уловить величие мироздания. Человек жаждет познать глубокую истину бытия. Но по творцу квантовой механики Нильсу Бору (1885-1962) глубокая истина – это такая истина, отрицание которой – тоже глубокая истина. Например, «жизнь прекрасна» и «жизнь трагична». Так что поэму жизни приходится дополнять её прозой, которая по-своему и величественна, и ужасна.

Голословные утверждения Кирилла Копейкина, что мир – это психическое Творца, что мысль и мир рождаются из ничего, что мир существует в сознании Бога, что наука с космической силой свидетельствует о богосыновстве человека, и так далее – это комментировать трудно: это годится больше для эссе, чем для научной работы. Но когда он говорит, что мы находимся в замкнутой системе, и только мысленно выходим за пределы системы в силу надмирности разума, то это просто неверно. Конечно, умозрение далеко превосходит зрение физическое, но исключительно практика человеческой жизни рождает дальнзоркость умозрения. Лучше расширить представление о реальном жёстко сколоченном мире, чем дорисовывать ограниченный образ реальности произвольными беспочвенными фантазиями.

Разговоры о Боге были и будут. Не случайно сам Эйнштейн, как цитирует его Кирилл Копейкин, говорил: «Я хочу знать, как Бог создавал мир, хочу постичь Его мысли». Но Эйнштейн не верил в Бога как конкретную личность, наказывающую или поощряющую человека. Он говорил также, что Бог не играет в кости. Но на его языке Бог только и делает, что играет в кости: ведь мы живём в стохастическом мире. Когда Ньютон (1643-1727) создал первую научную картину мира (1687), превратив мир в своего рода мёртвую механическую машину, Пьер Лаплас (1749-1827) пришёл к выводу, что задание данных Коши (1789-1857) (функций мгновенного состояния физической системы и их ростков со временем) полностью задаёт всю прошлую и будущую эволюцию этой системы. Поэтому Лаплас на известный вопрос Наполеона (1769-1821), где место Бога в его системе мира, ответил, что он в указанной гипотезе не нуждается. Но лапласовский детерминизм делает людей по сути невменяемыми и безответственными существами, раз всё заранее предопределено. Но здесь вмешиваются серии бифуркаций эволюции, и в точках новой бифуркации будущее человека существенно зависит от его свободного выбора. А что касается неживой природы, то она сама «не знает» своей эволюции в деталях. Даже монета «не знает», какой стороной она выпадет, и даже в принципе невозможно точно предсказать погоду на месяц вперёд: природа словно сама систематически «бросает монету» или «играет в кости». Детерминированы только вероятности событий, но не их реализации.

В конце своего интервью Михаилу Сизову протоиерей Кирилл Копейкин уверяет, что вопрос о природе сознания не разрешим вне богословского контекста, что понятие личности возникает только в контексте библейского откровения. Но увы, его собственный богословский контекст не позволил ему высказать ни одной новой идеи, хоть немного увеличивающей уже имеющееся научное знание. Религия терпима только в том случае, когда она не спорит с наукой. Очевидно также, что не единой наукой жив человек. Знание о бытии не заменяет собственно бытия.

В заключение стоит снова сказать о признании теологии (богословия) научной дисциплиной. Теология (согласно советским энциклопедиям) – совокупность религиозных доктрин о сущности и действиях Бога, построенная в формах идеалистического умозрения на основе текстов, принимаемых как божественное откровение. Но более половины человечества не

принимает Бога и Его откровения. Что, они чего-то недодумали? Нет, их мировоззренческая позиция находится с позицией теистов в отношении не субординации (где что-то выше другого), но координации (где альтернатива весьма серьёзна). Здесь вера выше разума. Но истина для всех одна. Например, в католицизме благодать идёт от Бога-Отца к Богу-Сыну и от Бога-Сына к Богу-Отцу (догмат филиокве, то есть и от Сына). А в православии благодать идёт только от Бога-Отца к Богу-Сыну, но не обратно. Почему? Потому что аттракторы эволюции Европы и евразийской России с её огромными территориями вечной мерзлоты разные: либеральный аттрактор (с его принципом личное выше общего) для Европы и авторитарный для России (где общее выше личного; а параметр порядка – удельное количество жизненных ресурсов социума в расчёте на индивида). Это доказывает, что разные религии формируют несовместимые друг с другом догматы. А вот научные законы гравитации, электромагнетизма и так далее для всех едины.

Теология авторитарна и, как пишет С. С. Аверинцев, отлична от всякой автономной мысли, включая философию. В чём оправдание этой авторитарности? В том, что всё начинается с догматических запретов для малограмотных людей, тогда как грамотные люди сами всё понимают и видят допустимые границы действия и правомочности различных законов и догматов. Православная естественная теология переносит акцент на мистико-аскетический «опыт». А протестантская теология иногда тяготела к отказу от понятия естественная теология. Позже эти попытки стимулировались влиянием экзистенциализма и попытками избежать противоречия с результатами новых естественно-научных исследований. Догматическое содержание теологии понимается как вечное, абсолютное и не подлежащее какому бы то ни было историческому изменению. Как пишет Аверинцев [6], современный кризис теологии существенно глубже, чем какой-либо из предшествовавших кризисов; под вопрос поставлены не только тезисы теологии, оспаривавшиеся вольнодумством и атеизмом былых эпох, но и казавшиеся вечными предпосылки в общественном сознании и в общественной психологии. Теология невозможна вне социальной организации типа христианской церкви и иудаистской или мусульманской общины, понятие «слова божия» теряет смысл вне понятия «народа божия» как адресата «слова» ... Буржуазный прогресс стимулировал подчёркивание практической бесполезности теологического умозрения».

В марте 2007 года в Свято-Даниловском монастыре была заявлена возможность перехода [России] из режима светского государства в режим государства конфессионального (по примеру Израиля, Таиланда, Мавритании, Иордании). При этом целью Русской доктрины заявлялся не снос нынешнего хаосократического государства, а его смыслократическое преобразование. Но Россия с её множеством различных этносов потому и расширилась от Московского княжества до Тихого океана, что не унижала инородцев, но превращала их со временем в своих союзников и браталась с ними, неся им новый уровень просвещения и цивилизации.

Ясно, что попытки поднять авторитет теологии до уровня научной дисциплины внутренне противоречивы и вредят интеллектуальному здоровью нашего народа.

Список литературы

1. А. Ф. Лосев. Из ранних произведений. М.: Правда, 1990.
2. С. С. Аверинцев. Риторика и истоки европейской литературной традиции. М.: Школа «Языки русской культуры», 1996, с. 17.
3. R. F. Polishchuk. In: *Fundamentals of Life* (Eds. G. Palyi, C. Zucchi and L. Caglioti) Elsevier and Accademia Nazionale di Scienze, Lettere ed Arti (Modena), Paris, 2002, p. 141-151.
4. N. M. Chernavskaya, D. S. Chernavsky and R. F. Polishchuk. *Origin of the Biological Chirality*. In: *Progress in Biological Chirality* (Eds. G. Palyi, C. Zucchi and L. Caglioti) Elsevier, Oxford OX5 1GB, UK, 2004, p. 257-259.
5. *Философский энциклопедический словарь*. М.: Советская энциклопедия, 1983, Тертуллиан Квинт Септимий Флоренс, с. 681-682.
6. С. С. Аверинцев. *Теология*. *Философский энциклопедический словарь*, М.: Советская энциклопедия, 1983, с. 675-676.

СКРИНИНГОВАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗДОРОВЬЯ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ БИОИМПЕДАНСНОГО АНАЛИЗАС.П. Щелькалина¹, П. М. Крючков², В.А. Колесников³, Д.В. Николаев³¹ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1²ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, д. 14³НТЦ «МЕДАСС», 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 7 стр. 1а

e-mail:svetlanath@gmail.com

Процессы централизации и децентрализации кровообращения наблюдаются после еды, физической активности, с изменением температуры окружающей среды. Они могут привести к ошибкам измерения параметров состава тела биоимпеданса.

Целью этой работы было оценить устойчивость сопротивления на частоте 5 кГц во время теста с коротким наклоном. Использовали значения сопротивления при 5 кГц, измеренные 5 различными эквивалентными электрическими цепями, выполненными из полисегментарного ВИА. Была разработана формула для расчета значений внеклеточной жидкости в соответствии с наиболее стабильной эквивалентной схемой.

Ключевые слова: биоимпеданс, состав тела, термометрия, внеклеточная жидкость

Processes of centralization and decentralization of blood circulation are observed after eating, physical activity, with a change in the ambient temperature. They can lead to measurement errors of the bioimpedance body composition parameters.

The purpose of this work was to estimate the stability of the resistance at 5 kHz during the short tilt test. There were used the resistance values at 5 kHz measured by 5 different equivalent electrical circuits made from polysegmental BIA. A formula was developed for calculating the extracellular fluid values according to the most stable equivalent circuit.

Key words: bioimpedance, body composition, thermometry, extracellular fluid

1. Введение. Успешное применение технологии биоимпедансного анализа состава тела человека (БИА) в диетологии и спортивной медицине основано на том, что при соблюдении ряда требований к процедуре исследования и подготовки испытуемого погрешности оценок компонент состава тела невелики и удовлетворяют потребности медицинских работников в точности постановки диагноза и проведении контроля эффективности лечебных процедур.

Метод биоимпедансного анализа состава тела не является прямым: на входе он использует данные роста, общей массы организма и трёх сопротивлений, на выходе – расчётные значения масс и объёмов нескольких видов биологических тканей организма, оценки скорости метаболических процессов. Верификации расчётных формул посвящены многочисленные исследования, результаты которых были опубликованы в 1990–2000 годах и отражены в обзорной работе U.G. Kyle и соавт. [1,2].

Ряд параметров БИА, таких, как внеклеточная и общая жидкость организма, фазовый угол, тощая и скелетно-мышечная масса и др., при нарушении протокола исследования могут быть вычислены не точно.

Для получения достоверных данных БИА необходимо выполнение ряда требований к процедуре исследования и подготовки пациента.

Идеальное время для проведения биоимпедансных измерений – утром до завтрака, натощак. Во избежание получения несопоставимых результатов не следует допускать к обследованию пациентов сразу после спортивной тренировки, интенсивной физической работы, физиотерапевтических процедур, приёма гормональных и диуретических средств, алкогольных напитков и в течение 2,5–3 часов после приёма пищи. Исследование не проводят при выраженных отёках конечностей (возникающих, например, при травме). При наличии металлических имплантатов в костях правых конечностей исследование проводят на левой стороне тела (если левые конечности сохранены) по схеме рука-стопа. Одежда пациента должна быть сухой. На время исследования необходимо удалить металлические предметы

(например, цепочку или браслет на руке или ноге). Металлическую цепочку на шее можно поднять до уровня подбородка. Ушные серьги и кольца на руках не мешают исследованию, так как находятся вне зоны прохождения измерительного тока.

В момент измерений пациент должен находиться на кушетке в положении лёжа на спине. Угол между плечом и вертикальной осью туловища должен составлять 45° , предплечье – располагаться параллельно вертикальной оси туловища, ноги – на ширине плеч. Если при этом не обеспечивается полное отсутствие касания кожи ног, а также рук и туловища, то участки касания следует изолировать сложенной в несколько раз сухой хлопчатобумажной тканью.

Несоблюдение этих правил может привести к возникновению погрешностей измерения компонентов состава тела.

Рассмотрим механизмы возникновения специфических для биоимпедансного анализа видов погрешностей, лежащих в основе некоторых ограничений на использование метода. Наиболее высокие значения погрешностей отмечаются при состояниях, сопровождаемых межрегиональными перераспределениями значительных объёмов крови. Например, после приёма пищи погрешность обусловлена централизацией кровообращения и кровенаполнения, после физической нагрузки – децентрализацией. Рассмотрим, как более простой и не связанный с изменением массы тела, случай, когда измерения проводятся до и после физической нагрузки на нижние конечности. После физической работы в сосудах ног на некоторое время происходит задержка крови, и за счёт этого снижается кровенаполнение туловища. Соответственно, сопротивление ног снижается, а туловища – возрастает.

На рис. 1. на фоне контура тела человека изображены эквивалентные схемы сопротивления трёх основных проводящих регионов: руки, туловища и ноги. Значение активного сопротивления R при измерении по схеме кисть-стопа определяется суммой последовательно соединённых сопротивлений этих регионов: $R_{\text{рук}}$, $R_{\text{тул}}$ и $R_{\text{ног}}$. Все три указанных региона имеют существенно различающиеся площади поперечного сечения. Средние площади поперечного сечения туловища, руки и ноги соотносятся как $20 : 1 : 2$. Поскольку сопротивление обратно пропорционально площади поперечного сечения, можно считать, что соотношение сопротивлений единицы длины туловища, руки и ноги выражается пропорцией $1 : 20 : 10$.

Отток крови из туловища в ноги ведёт к некоторому увеличению электрического сопротивления туловища $\Delta R_{\text{тул}}$. Если бы объём крови, оттекающий из туловища, поступил только в одну из ног, её сопротивление снизилось бы на $10\Delta R_{\text{тул}}$. При равномерном распределении оттекающей крови в обе ноги снижение сопротивления в каждой из ног составит $5\Delta R_{\text{тул}}$. В результате значение суммы сопротивлений всех трёх измеряемых регионов – руки, туловища и ноги – изменится на величину:

$$\Delta R_{\text{тул}} - 5\Delta R_{\text{тул}} = -4\Delta R_{\text{тул}}, \quad (1)$$

т. е. снизится на $4\Delta R_{\text{тул}}$. Общее снижение активного сопротивления, измеряемого от кисти до стопы, приведёт к мнимому снижению рассчитанных значений жировой массы и повышению безжировой массы.

Соответственно, в условиях централизации кровообращения и кровенаполнения, например, при активизации пищеварительного процесса, погрешности расчёта жировой и безжировой массы будут иметь противоположный характер: будет наблюдаться мнимое увеличение жировой массы и уменьшение безжировой массы.

Кроме отведения кисть-стопа в биоимпедансном анализе используются и другие способы измерений, наиболее известным из которых следует назвать полисегментный, с подключением пар измерительных и токовых электродов на обе кисти и обе стопы пациента. Алгоритм измерений полисегментного метода в простейшем случае включает шесть измерений, как показано на рисунке 2.

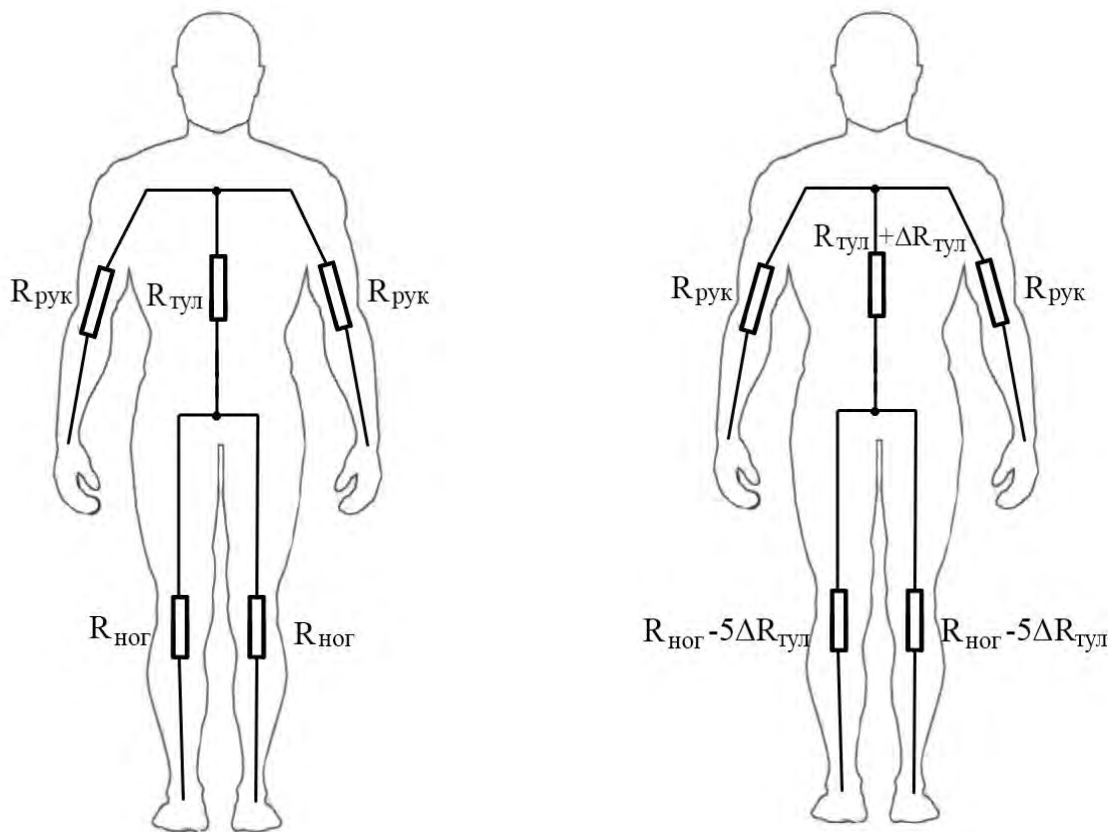


Рис. 1. Эквивалентные схемы сопротивления рук, туловища и ноги до (слева) и после (справа) оттока крови из туловища в ноги

Для измерения импеданса одной из конечностей к её дистальному отделу (на кисть или стопу) подключают два электрода – токовый и измерительный. Вторую пару токового и измерительного электродов подключают к дистальным отделам двух смежных конечностей. Так, путём последовательных коммутаций восьми электродов на конечностях, получают значения всех четырёх импедансом конечностей. Значение импеданса туловища принято получать либо перекрёстным способом (токовые электроды задействуются по одной из диагоналей, например, правая рука – левая нога, соответственно, измерительные электроды задействуются на другой диагонали, левая рука – правая нога), либо параллельным, задействуя токовые электроды на конечностях с одной из сторон тела (например, на правой), а измерительные на другой.

Результаты экспериментальных исследований показали, что значения импеданса туловища при перекрёстных и параллельных измерениях отличаются незначительно, в пределах 0,5% для обычных людей, без существенных отклонений в развитии и заболеваний [3].

Возможность в полисегментном исследовании определять значения импеданса туловища и конечностей открывает перспективы для построения других конфигураций частей тела, отличных от последовательного соединения руки, туловища и ноги, на основе которых погрешности, связанные с перераспределением жидкости, будут менее выражены.

Многими авторами было показано, что на основе показателей биоимпеданса можно оценить количество жидкости в теле человека [4-6]. Формулы для оценки количества жидкости и жира в теле зависят от возраста и пола [7, 8].

Также установлено, что на низких частотах переменный ток не может проникнуть в клетку вследствие ёмкостных свойств мембраны [9-12]. Это означает, что на низких частотах импеданс тела может служить мерой для оценки внеклеточной жидкости. На более высоких

частотах ёмкостное сопротивление клеточной мембраны уменьшается и, в конце концов, исчезает. Т.о., импеданс тела на очень высокой частоте может служить мерой общей жидкости организма [13,14].

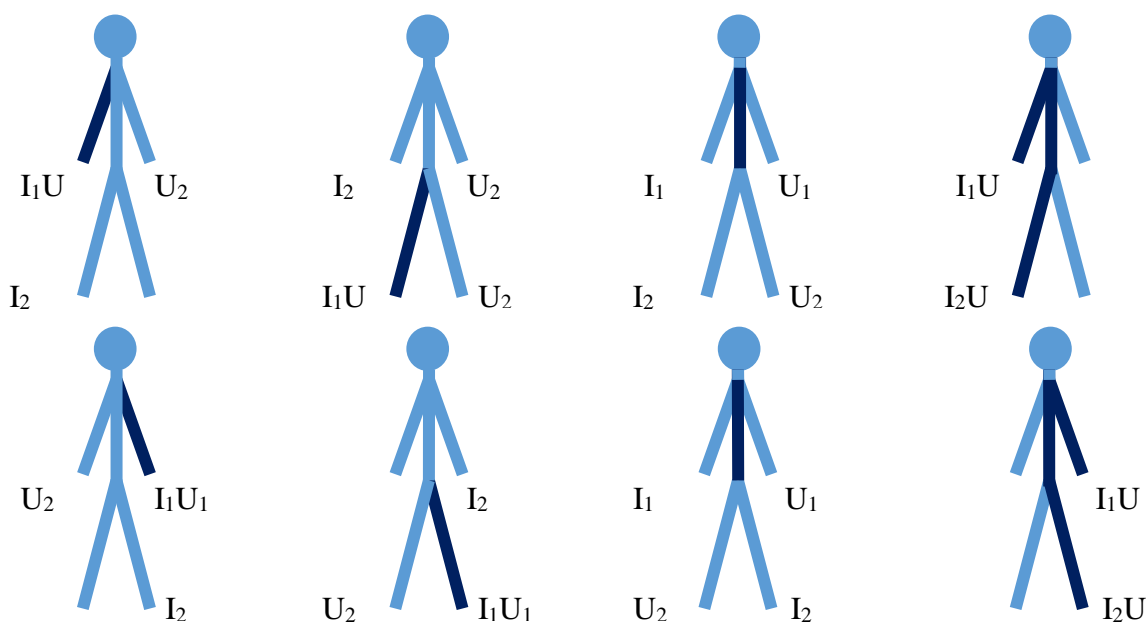


Рис. 2. Алгоритм коммутации электродной системы на кистях и стопах для полисегментного исследования и интегрального исследования (в правом столбце). Темным цветом выделены регионы, импедансные оценки которых производятся при каждой из изображённых коммутаций электродов.

Для изучения связи между водой организма и показателя импеданса Р. Deurenberg и соавторы в 1995 году использовали данные 139 здоровых добровольцев. Показатели биоимпеданса регистрировали по схеме последовательного соединения туловища с одноименными рукой и ногой. В качестве золотого стандарта изменения общей жидкости организма и внеклеточной жидкости использовались методы разведения. В рамках этой работы была разработана следующая формула расчета количества внеклеточной жидкости (ВКЖ):

$$ВКЖ = 0,189 * \frac{Рост^3}{R5} + 0,0675 * \text{Масса тела} - 0,02 * \text{Возраст} + 2,53 \quad (2)$$

Разработанная формул расчёта количества жидкости была подтверждена на группе из 40 здоровых добровольцев. Точность этой формулы оказалась достаточно высока: ошибка определения количества жидкости составила 1 кг (5%) [15]

Использование результатов полисегментных измерений позволяет оценить возможность избежать в какой-то мере погрешностей при перераспределениях жидкостей между туловищем и конечностями. Для этого в качестве базового значения импеданса, на основе которого, с привлечением антропометрических параметров, могут проводиться расчёты компонент состава тела, берутся не последовательное соединение импедансов руки, туловища и ноги (как принято в интегральном отведении, схема А рисунка 3), а как показано на схемах Б, В, Г, и Д рисунка 3:

- параллельное соединение туловища и двух правых или левых конечностей (схема Б),
- параллельное соединение всех конечностей и туловища (схема В),
- последовательное соединение туловища с параллельно соединенными четырьмя конечностями (схема Г),
- последовательное сопротивление туловища с параллельными сопротивлениями двух ног и двух рук конечностей (схема Д).

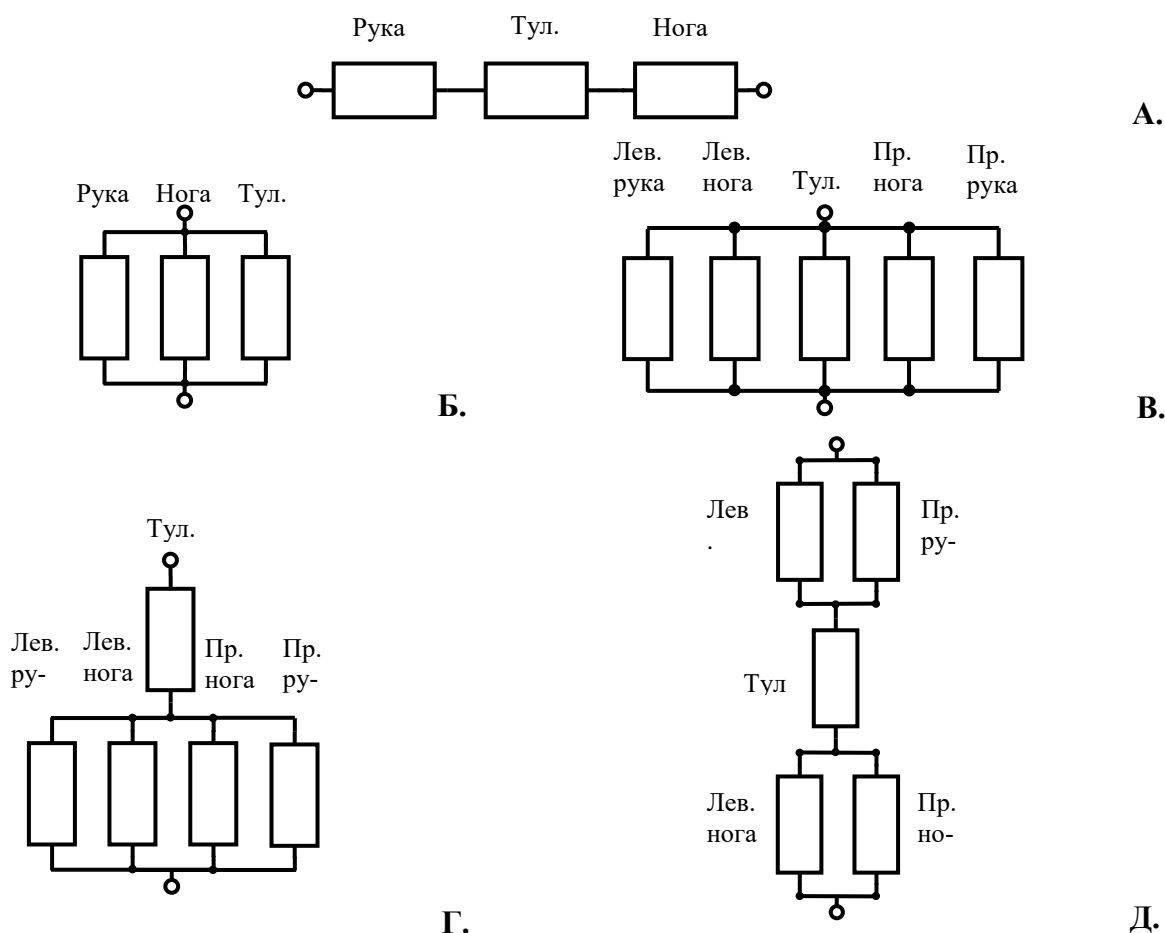


Рис. 3. Схемы соединений сегментов тела при проведении биоимпедансных исследований.

А – последовательное соединение туловища с одноименными рукой и ногой,

Б – параллельное соединение туловища с одноименными рукой и ногой,

В – параллельное соединение туловища с обеими руками и ногами,

Г – последовательное соединение туловища с параллельно соединенными обеими руками и ногами,

Д – последовательное соединение туловища с параллельным соединением двух рук и параллельным соединением двух ног.

Целью данной работы была оценка устойчивости активного сопротивления на частоте 5 кГц, измеренного по разным эквивалентным электрическим схемам, к ортостатической нагрузке, спровоцированной поворотом ортостола, и разработка формулы для расчёта значений внеклеточной жидкости организма человека по наиболее устойчивой эквивалентной схеме.

2. Материал и методы. Полному ортостатическому обследованию подверглись 40 здоровых, несклонных к обморокам добровольцев мужского и женского пола в диапазоне возрастов от 21 до 65 лет. Каждым добровольцем был подписан протокол информированного согласия на проведение ортостатического обследования.

Регистрация импеданса производилась на модифицированном приборе ABC-02 МЕ-ДАСС программой ABC01-0454 на частотах зондирующего тока 5 и 50 кГц. Испытуемого укладывали на ортостол и подключали электродную систему на две кисти и две стопы. Испытуемому с помощью одноразовой простыни устраняли контакт между ногами до паха и рука и туловищем подмышками. Фиксацию испытуемого к столу производили при помощи стретч-пленки (рис. 4.). Сеанс регистрации проводили непрерывно в течении 11-ти минут в следующей последовательности положения тела: 3 минуты в покое в горизонтальном положении, 3 минуты в вертикализованном положении (под углом 70° к полу) и 5 минут в горизонтальном положении, как показано на рисунке 5.



Рис. 4. Фиксация испытуемого на поворотном столе и подключение к биоимпедансному анализатору с полисегментной электродной системой



Рис. 5. Временная схема проведения ортостатического эксперимента.

Обработка результатов эксперимента включала визуализацию кривых активного и реактивного сопротивления частей тела и отведения кисть-стопа (схема А) (рис. 6) для выявления артефактов. Единичные артефакты удалялись из записи.

На основе очищенных от артефактов записей для каждого измерительного отсчёта вычислялись значения активных сопротивлений на частоте 5 кГц для коммутационных схем Б, В, Г и Д по формулам (3)-(6):

$$R_B = \frac{1}{\frac{k_p^2}{R_{п,р}} + \frac{k_n^2}{R_{п,н}} + \frac{k_\tau^2}{R_\tau}} \quad (3)$$

$$R_B = \frac{1}{\frac{k_p^2}{R_{п,р}} + \frac{k_n^2}{R_{п,н}} + \frac{k_\tau^2}{R_\tau} + \frac{k_p^2}{R_{л,р}} + \frac{k_n^2}{R_{л,н}}} \quad (4)$$

$$R_\Gamma = R_\tau + \frac{1}{\frac{1}{R_{п,р}} + \frac{1}{R_{п,н}} + \frac{1}{R_{л,р}} + \frac{1}{R_{л,н}}} \quad (5)$$

$$R_D = R_\tau + \frac{1}{\frac{1}{R_{п,р}} + \frac{1}{R_{л,р}}} + \frac{1}{\frac{1}{R_{п,н}} + \frac{1}{R_{л,н}}} \quad (6)$$

где k_p, k_n, k_τ – коэффициенты, зависящие от роста и характеризующие длины проводников [16]. Рассчитанные значения также визуализировались. Вычислялись и визуализировались

относительные процентные изменения значений R_5 для каждой части тела и каждой эквивалентной электрической схемы (рис. 9).

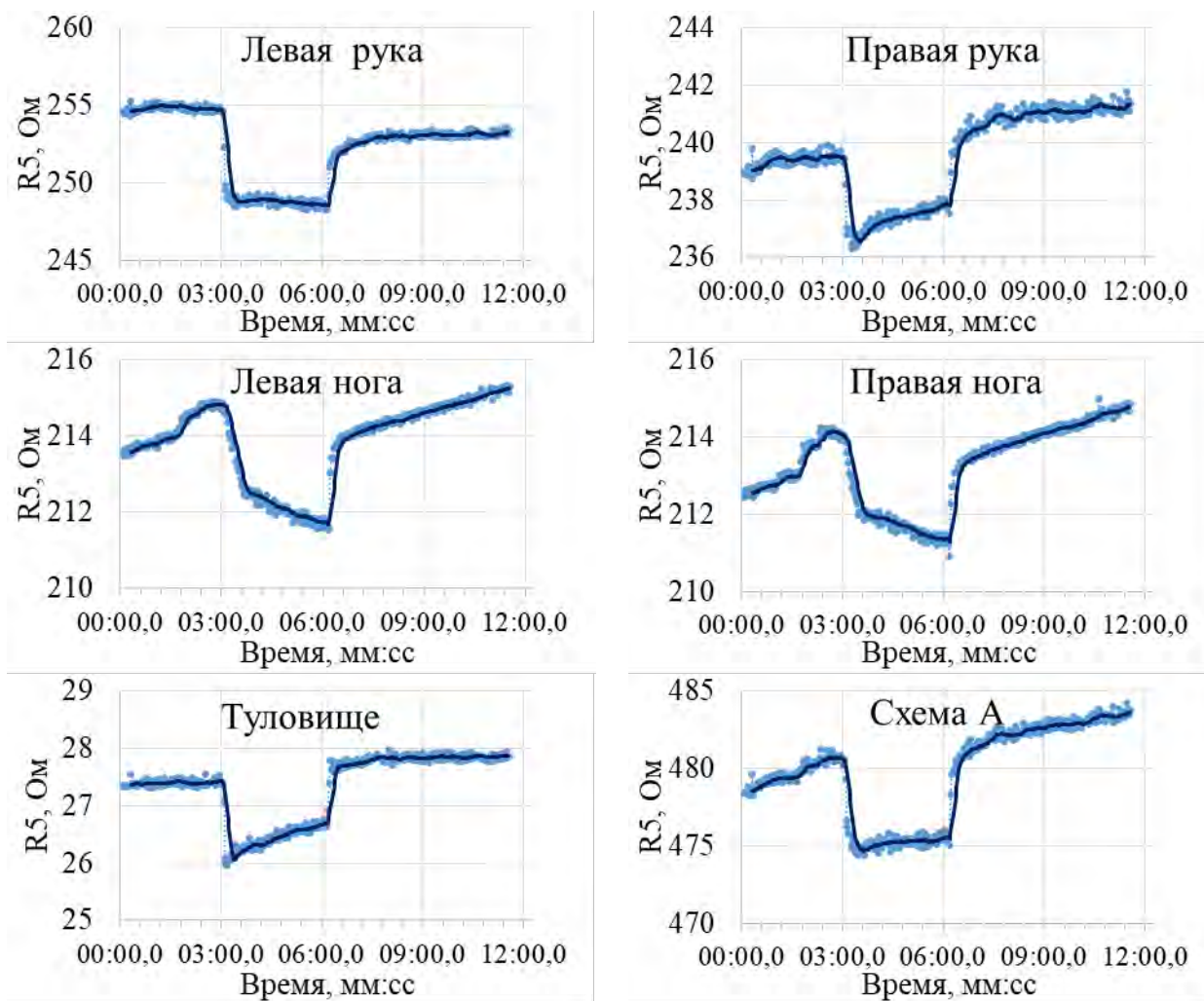


Рис. 6. Пример графиков изменений значений активного сопротивления на частоте 5 кГц для всех конечностей, туловища и интегрального отведения кисть-стопа

При проведении экспериментальных работ наблюдались артефакты двигательной активности испытуемых, которые нередко искажали графики сопротивления в начале и в конце исследования. Для исключения этих артефактов было принято решение ограничиться фоновыми значениями до первого поворота длительностью 1 минуту и после второго поворота -1 минуту. Вид минимизированных по длительности графиков показан на рисунке 7. Сравнение устойчивости значений активного сопротивления на частоте 5 кГц к ортостатическим воздействиям проводилось по минимизированным графикам.

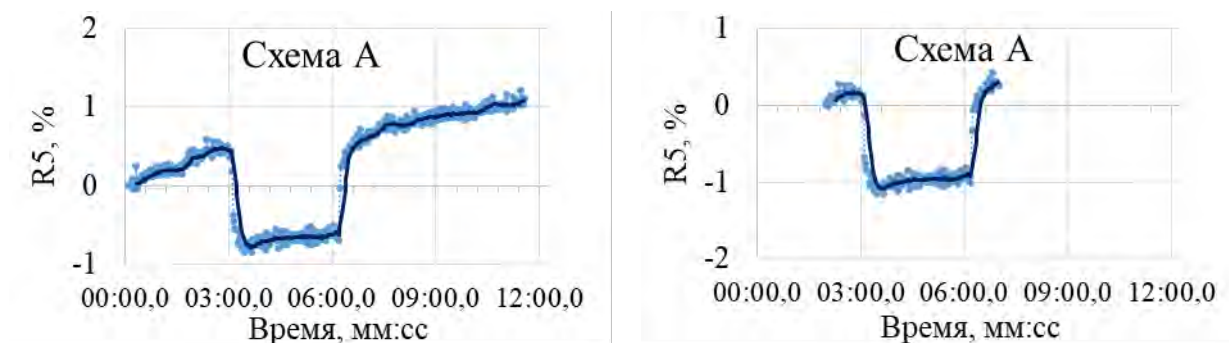


Рис. 7. Пример графиков изменений активного сопротивления на частоте 5 кГц при минимизированной длительности фоновых измерений (эквивалентная схема А).

Для анализа в каждом исследовании выбирались элементы, соответствующие переднему и заднему фронту изменения сопротивления на частоте 5 кГц. Пример нахождения переднего фронта при смене положения тела испытуемого с горизонтального на вертикальное можно наблюдать на рисунке 8. Оценивались максимальные относительные изменения значения R5 в время поворота ортостола (передний и задний фронт графиков) и максимальные изменения за 5 минут (со 2-ой минуты) (рис. 8).

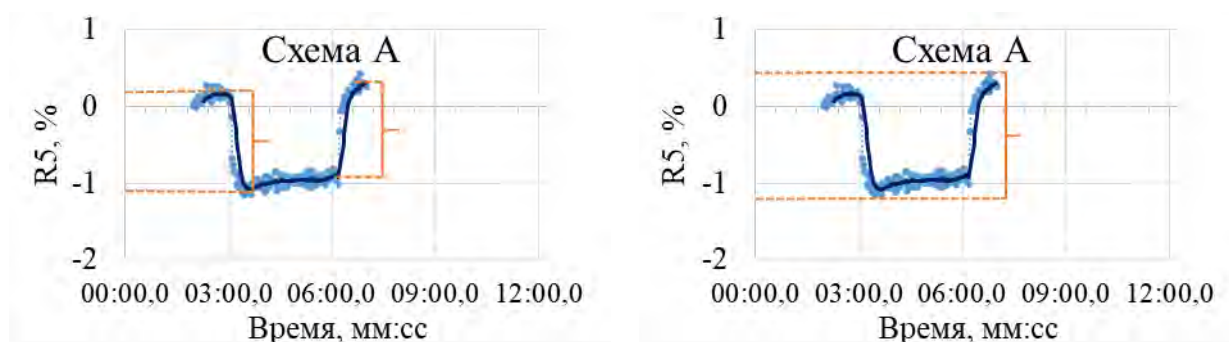


Рис. 8. Нахождение значений относительных изменений активного сопротивления интегрального отведения (эквивалентная схема А) по переднему и заднему фронту (слева) графика на частоте 5 кГц (справа)

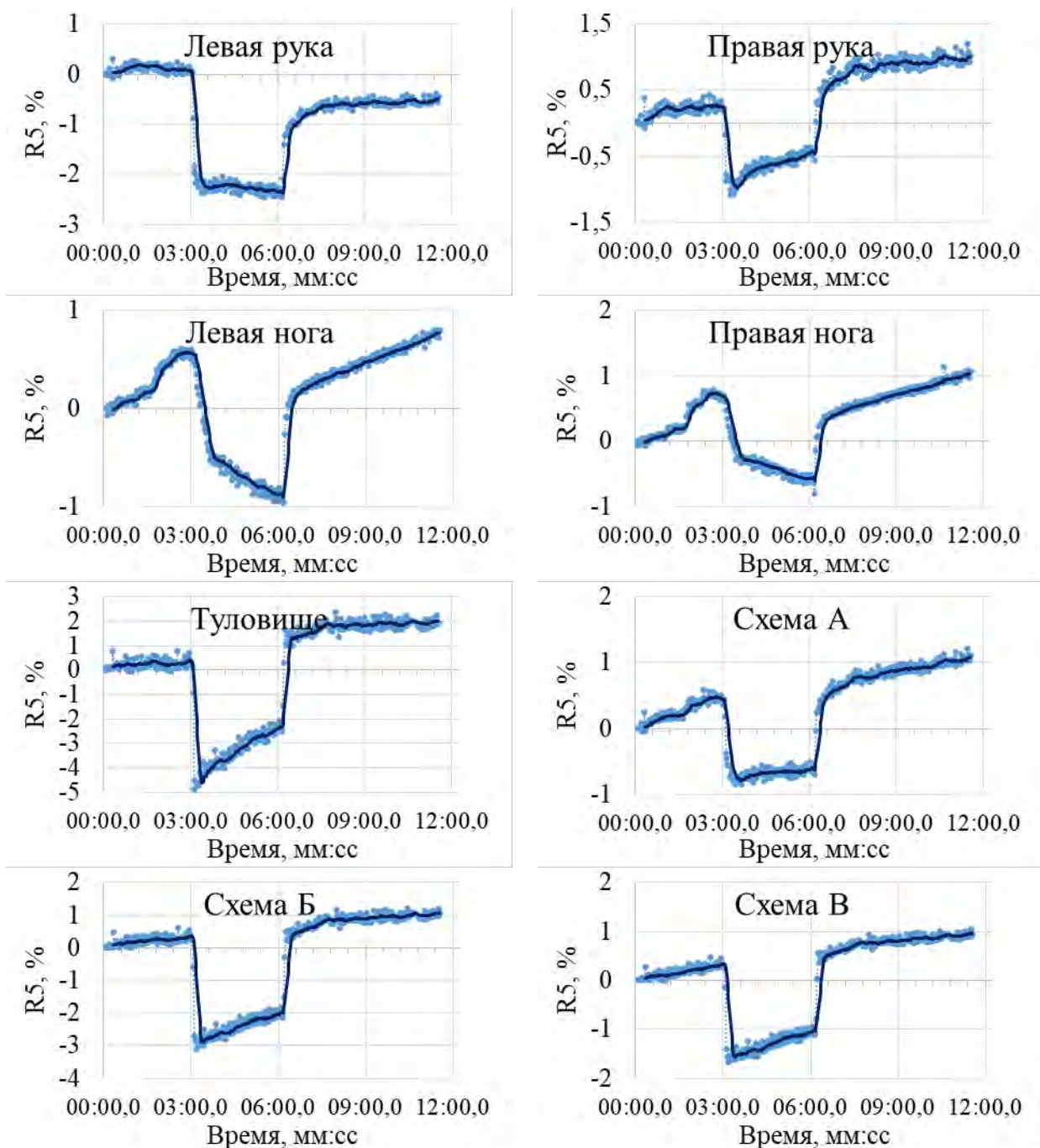
Полученные для каждой эквивалентной схемы значения сравнивались с помощью парного Т-критерия Стьюдента. Сравнения проводились отдельно для переднего, заднего фронтов и максимальных изменений с критическим уровнем значимости $p_{крит}=0,005$ с учётом поправки Бонферрони. Также было проведено сравнение значений относительных изменений переднего и заднего фронта для каждой эквивалентной схемы с критическим уровнем значимости $p_{крит}=0,05$. Для оценки связи параметров использовался коэффициент корреляции Пирсона. Для построения формулы расчета ВКЖ по наиболее устойчивой эквивалентной схеме использовался линейный регрессионный анализ. Расчёты проводились в пакетах MS Excel 2013 IBM и SPSS Statistics 21.

3. Результаты и обсуждение. На рисунке 9 показаны графики изменений активного сопротивления при различных коммутациях. Видно, что в моменты поворота ортостола возникают резкие фронты, при нахождении испытуемого в горизонтальном положении наблюдается дрейф, связанный с выравниванием наполнения венозного русла конечностей. Такой же по интенсивности (углу наклона) дрейф наблюдается и в вертикальном положении испытуемого. На фоне нативного сигнала (голубые точки) более темным цветом показаны линии сглаженного сигнала. Соотношение сигнал-шум приблизительно оценивается как 10 к 1. На графике, относящемся к сопротивлению туловища, дрейф выражен значительно слабее. На коммутациях А-Д дрейф также присутствует.

Оценивались как максимальные значения изменений за время эксперимента, так и изменения на переднем и заднем фронтах графиков. Амплитуды передних фронтов обознача-

лись индексом «1» после буквенного обозначения коммутации, задних – индексом 2, максимальное изменение – без индекса. На основе этих данных были построены усреднённые оценки амплитуд переднего, заднего фронтов и максимальных изменений за время ортостатического эксперимента (1 минута до вертикализации, 3 минуты в вертикализованном положении и 1 минута после возвращения в горизонтальное положение). На рис. 10. изображены средние значения и 95% доверительные интервалы этих изменений.

Оценки средних значений отдельно по каждому фронту не позволяют однозначно выбрать наиболее устойчивую к ортостатическим нагрузкам схему. На основе изменений переднего фронта наиболее устойчивой кажется схема Д, хотя её доверительные интервалы пересекаются с доверительными интервалами схем А, Б и Г, что можно интерпретировать как отсутствие статистически значимых различий.



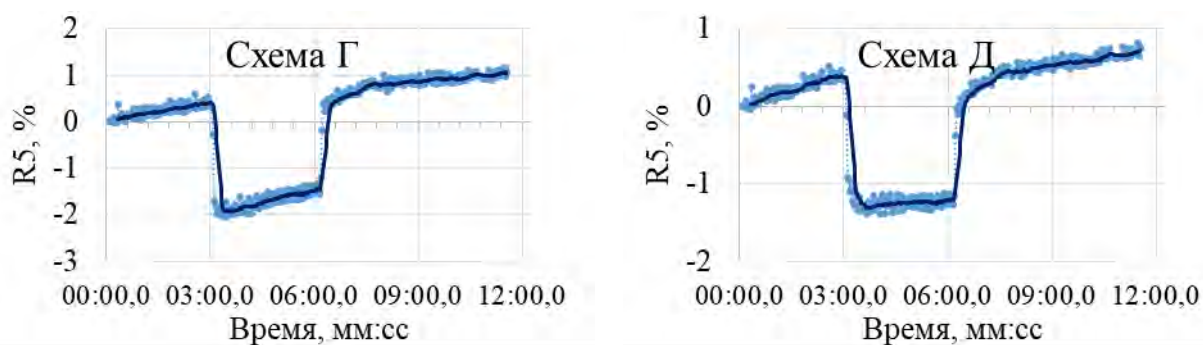


Рис. 9. Графики изменений активного сопротивления на частоте 5 кГц различных схем коммутации электродной системы на примере данных добровольца ДВН при полной записи эксперимента.

По данным заднего фронта наиболее устойчивой кажется схема Б, хотя она статистически может не отличаться от схем В и Г, т.к. их доверительные интервалы пересекаются. А по максимальным изменениям за 5 минут эксперимента схема Б даёт статистически значимо больше значения относительных изменений и проигрывает остальным четырём схемам, которые могут быть статистически не отличимы.

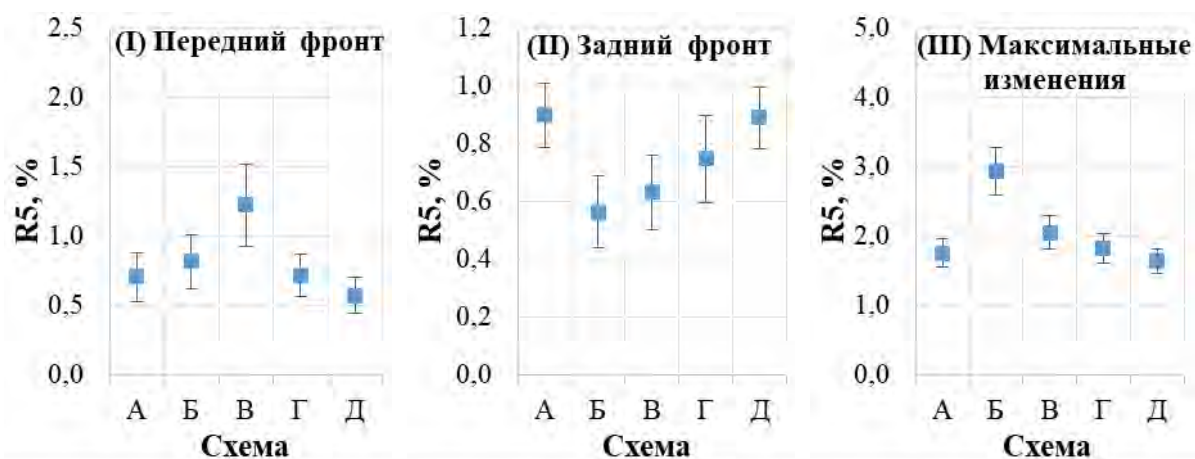


Рис. 10. Средние значения и 95% доверительные интервалы ортостатических изменений активного сопротивления при частоте тока 5 кГц разных коммутационных электрических схем, оцененные по переднему (I), заднему (II) фронтам и максимальные изменения в течении эксперимента (III).

Для выбора наиболее устойчивой схемы была применена система «голосования» на основе метода проверки гипотез о равенстве средних с помощью парного Т-критерия Стьюдента с учётом поправки Бонферрони.

Результаты всех статистических сравнений занесены в таблицу 1. в следующей последовательности:

1. сравнения по переднему фронту,
2. сравнение максимальных изменений,
3. сравнения по заднему фронту.

Для наглядности была использована следующая кодировка:

«=» - статистически значимых различий не обнаружено, схемы одинаковы, голос «воздержался»;

«<» - статистически значимых различия обнаружены, изменения при использовании схемы указанной в строке, больше, чем при использовании схемы, указанной в столбце, т.е. схема в строке хуже схемы в столбце, голос «против»;

«+» - статистически значимых различия обнаружены, изменения при использовании схемы указанной в строке, меньше, чем при использовании схемы, указанной в столбце, т.е. схема в строке лучше схемы в столбце, голос «за».

Очевидно, что схемы, показывающие различные изменения на первом и втором фронте, не могут считаться устойчивыми, поэтому такие схемы тоже получают голос «против» в диагональные ячейки.

В колонке «Балл» подсчитаны количество голосов «за» и «против». В колонке «Итог» - сумма положительных и отрицательных голосов.

Таким образом, по результатам процедуры «голосования» наиболее устойчивой схемой является схема Г. Остальные схемы по убыванию устойчивости можно расположить в следующем порядке: А, Б, В/Д.

Таблица 1.

Выбор наилучшей схемы: сравнение схем – «=» схемы одинаковы в одном тесте, «-» схема, указанная в строке, хуже схемы, указанной в столбце, «+» схема, указанная в строке, лучше схемы, указанной в столбце.

| Схема | А | Б | В | Г | Д | Балл | Итог |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|------|
| А | = | = + | + = - | = = = | = = = | 2+/2- | 0 |
| Б | = - + | - - | + - = | = - + | = - + | 4+/5- | -1 |
| В | - = + | - + = | - - | - = = | - = + | 3+/5- | -2 |
| Г | = = = | = + - | + = = | = = = | = = + | 3+/1- | +2 |
| Д | = = = | = + - | + = - | = = - | - - | 2+/4- | -2 |

Примечание:

«=» схемы одинаковы в одном тесте ($p \geq p_{\text{крит}}$),

«-» схема, указанная в строке, хуже схемы, указанной в столбце ($p < p_{\text{крит}}$),

«+» схема, указанная в строке, лучше схемы, указанной в столбце ($p < p_{\text{крит}}$).

- $p_{\text{крит}}=0,05$

- $p_{\text{крит}}=0,005$

Следующий этап: разработка формулы оценки внеклеточной жидкости организма (ВКЖ) на основе импедансных параметров схемы Г и антропометрических данных.

Ранее Р. Deurenberg и соавт. была разработана и верифицирована формула оценки ВКЖ для интегрального отведения, т.е. коммутационной схемы А (формула (2)) [15].

Схема Г позволяет получить более устойчивую оценку импедансных параметров, чем схема А. Но за счёт разницы эквивалентных электрических схем значения этой оценки может оказаться несопоставимо по величине с значениями, полученными при измерении по схеме А, оставаясь при этом тесно связанными с ними (рис. 11): оценки активного сопротивления

на частоте 5 кГц схем А и Г коррелируют с коэффициентом корреляции Пирсона $r = 0,982$ ($p=0,000$) и коэффициентом детерминации $r^2 = 0,964$. Так же сильно связаны значения $\frac{\text{Рост}^2}{R5}$ для схем А и Г: $r = 0,992$ ($p=0,000$), $r^2 = 0,984$ (рис. 11).

Поэтому адаптированную для схемы Г формулу оценки ВКЖ было решено искать в аналогичном виде:

$$\text{ВКЖ} = \beta_0 + \beta_1 * \frac{\text{Рост}^2}{R5} + \beta_2 * \text{Масса тела} + \beta_3 * \text{Возраст}. \quad (7)$$

В табл. 2. представлены результаты построения линейной регрессии ВКЖ на возраст, массу тела и отношение квадрата роста к активному сопротивлению на частоте 5 кГц, рассчитанному для схемы Г. Т.о. формула для оценки ВКЖ по более устойчивой к ортостатическим воздействиям эквивалентной электрической схеме имеет следующий вид:

$$\text{ВКЖ} = 0,034 * \frac{\text{Рост}^2}{R5} + 0,066 * \text{Масса тела} - 0,014 * \text{Возраст} + 1,689. \quad (8)$$

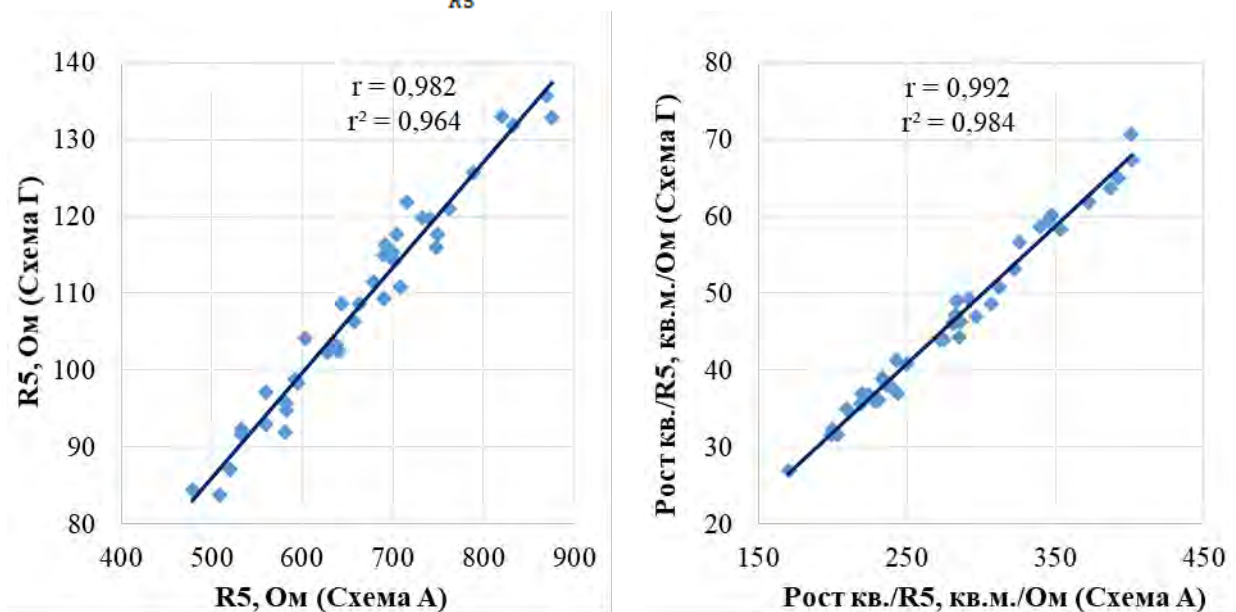


Рис. 11. Корреляции импедансных составляющих формулы ВКЖ для схем А и Г: активного сопротивления на частоте 5 кГц и его отношение с квадратом роста испытуемого.

Таблица 2.

Результаты построения регрессии ВКЖ на возраст, массу тела и отношение квадрата роста к активному сопротивлению на частоте 5 кГц, рассчитанному для схемы Г.

| Независимые переменные | Регрессионные коэффициенты | | Р-значения | 95% доверительный интервал для β |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------|------------|--|
| | β | Стандартная ошибка | | |
| Константа β_0 | 1,689 | 0,224 | 0,000 | $\pm 0,455$ |
| Возраст, лет | -0,014 | 0,003 | 0,000 | $\pm 0,007$ |
| Масса тела, кг | 0,066 | 0,006 | 0,000 | $\pm 0,011$ |
| Рост кв. /R5, кв.м/Ом (схема Г) | 0,034 | 0,001 | 0,000 | $\pm 0,003$ |

Полученная регрессионная модель имеет высокое качество. Она объясняет более 99% дисперсии ВКЖ (рис. 12): коэффициент детерминации равен 0,992.

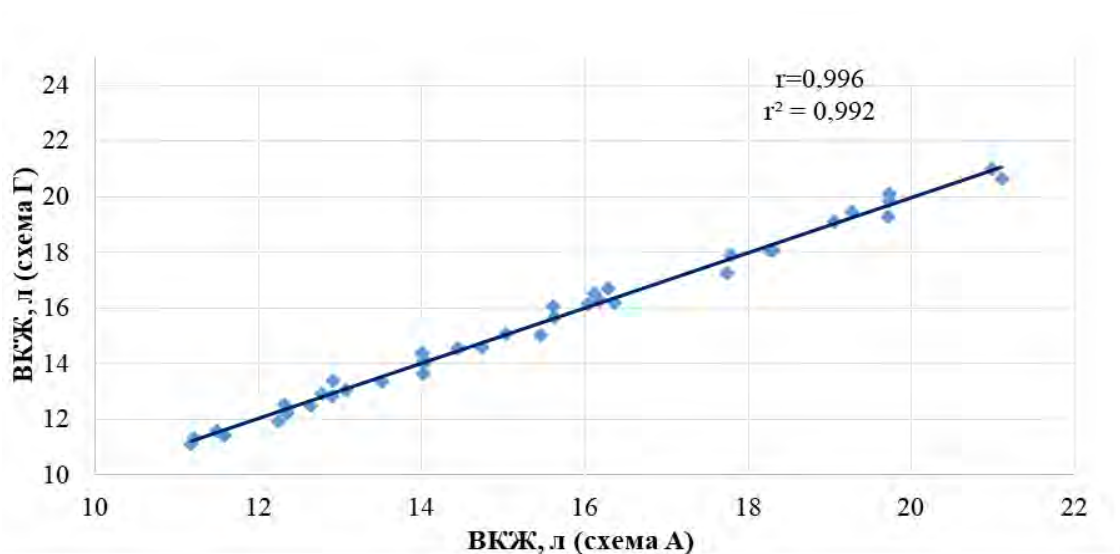


Рис. 12. Оценка качества модели: корреляция значений ВКЖ по формуле для интегрального отведения и разработанной формуле по схеме Г.

Выводы

1. Сравнение экспериментальных данных по-разному синтезированных схем коммутации частей тела показало, что наибольшей устойчивостью к ортостатическим воздействиям обладает коммутационная эквивалента электрическая схема Г.
2. Ранжирование показывает, что по критерию ортостатической устойчивости рассмотренные в работе схемы могут быть расположены в следующем порядке (по убыванию): А, Б, В/Д.
3. Получена формула расчёта внеклеточной жидкости организма по схеме коммутации Г.

Список литературы

- [1]. U.G. Kyle et al., *Clinical nutrition*. **23(5)** (2004): 1226-1243.
- [2]. U.G. Kyle et al., *Clinical nutrition*. **23(6)** (2004): 1430-1453.
- [3]. A.A. Danilov et al., *J. Phys.: Conf. Series*. **434** (2013):012001.
- [4]. H. C. Lukaski, P. P. Johnson, *American Journal of Clinical Nutrition*. **41** (1985): 363-370.
- [5]. H. C. Lukaski et al., *American Journal of Clinical Nutrition*. **41** (1985): 810-817.
- [6]. R. F. Kushner et al., *American Journal of Clinical Nutrition*. **56** (1992): 835-839.
- [7]. K. R. Segal et al., *American Journal of Clinical Nutrition*. **47** (1988): 7-14.
- [8]. P. Deurenberg et al., *International Journal of Obesity*. **15** (1991): 17-25.
- [9]. A. L. Thomasset, *Lyon Medical*. **201** (1962): 101-118.
- [10]. J. Nyboer, *Electrical Impedance Plethysmography, 2nd ed.* C. C. Thomas Publishers, Springfield, IL (1970)
- [11]. P. Jenin et al., *Aviation, Space and Environmental Medicine*. **46** (1975): 152-155.
- [12]. R. G. Settle et al., *Nutrition and Cancer*. **2** (1980): 72-80.
- [13]. P. Deurenberg, In *Body Composition Techniques and Assessment in Health and Disease*, pp. 46-56 [P. S. W. Davies and T. J. Cole, editors]. Cambridge University Press, Cambridge (1994).
- [14]. P. Deurenberg et al., *Age and Nutrition*. **5** (1994): 137-141.
- [15]. P. Deurenberg, A. Tagliabue and F. Schouten, *British Journal of Nutrition*. **73(3)** (1995): 349-358.
- [16]. *Интегральный показатель нарушения гидратации организма у больных с острыми отравлениями психотропными препаратами. Методические рекомендации.* (3), Москва (2011)

**НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕХНОЛОГИИ
БИОИМПЕДАНСНОГО ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗА**

Николаев Д.В.¹, Колесников В.А.¹, Щелькалина С.П.², Коростылев К.А.¹

¹НТЦ «МЕДАСС», 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 7 стр. 1а

²ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России,

117997, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1

e-mail: dvn@medass.ru

Предложена новая форма протокола биоимпедансного анализа состава тела (BIA). Протокол позволяет оценивать 8 параметров BIA, полученных по отдельности или в динамике, на фоне двумерных центильных меток и / или границ диапазонов нормальных значений параметров BIA.

Ключевые слова: биоимпеданс, состав тела

A new form of protocol of bioimpedance analysis of body composition (BIA) was proposed. The protocol enables to estimate 8 BIA parameters, obtained singly or in dynamics, on the background of two-dimensional centile markings and/or the ranges boundaries of normal BIA parameter values.

Key words: bioimpedance, body composition

1. Введение. За более чем 30 лет практического применения биоимпедансного анализа состава тела (BIA), формы представления данных BIA совершенствовались и развивались: протоколы неоднократно дополнялись новыми параметрами, уточнялись диапазоны нормальных значений, расширялся возрастной диапазон обследуемых, привлекались центильные оценки.

На рисунке 1 показаны основные этапы эволюции протоколов BIA.



Рис. 1. Основные этапы эволюции протоколов BIA

Протоколы экспресс-анализа, которые принято называть первичными протоколами БИА, содержат одномерные графические шкалы с выделенной областью нормальных значений. Такое представление первичной информации состава тела характерно для абсолютного большинства из, более, чем 100 моделей анализаторов состава тела, выпускаемых в настоящее время. Границы области нормальных значений по каждому параметру многократно пересматривались, в результате получения все более представительных выборок экспериментально полученных данных и локализовались для этнических популяций. Основная тенденция в конструируемых протоколах БИА – повысить насыщенность информацией графические представления для удобства и повышения скорости восприятия данных врачом [1].

Номенклатура используемых в БИА параметров существенно расширилась относительно набора параметров, имевшегося в анализаторах 80-90 годов. К показателям жировой массы (ЖМ), тощей массы, общей, вне- и внутриклеточной жидкости (ОВО, ВКЖ и КЖ, соответственно), добавились активная клеточная масса (АКМ), скелетно-мышечная масса (СММ) и минеральная масса (ММ). Кроме собственно компонент состава тела протоколы современных приборов содержат значения метаболических коррелятов: основного обмена (ОО), удельного основного обмена (УОО) и фазового угла ФУ [2]. Вид современного протокола экспресс-обследования на анализаторе АВС-02 «МЕДАСС» приведен на рис. 2.

В начале 2000-х годов во многих странах были получены результаты популяционных обследований методом БИА. Отечественные данные были получены в федеральных центрах здоровья, и выборка из 808 тысяч обследованных в 2010-2012 годах легла в основу центильных представлений параметров состава тела российской популяции [3]. Пример представления результатов БИА на фоне центильных кривых показан на рис. 3. [4] На рисунке представлены кривые 3, 10, 25, 50, центилей процентной доли жировой массы в диапазоне возрастов от 5 до 85 лет, и на их фоне – данные последовательно, с интервалом 3-4 недели, выполненных исследований 36-летней пациентки. Точка первого исследования выделена квадратной рамкой. Видно, что снижению доли жировой массы с 33 до 21 процента соответствовали изменения центильных оценок между 86 и 36 центилями.

В 1994 году в работе Riccoli и соавт. [5] была предложена альтернативная форма представления данных БИА, в дальнейшем получившая название биоимпедансного векторного анализа (БИВА). В этой методике используются данные измерений только на одной частоте – 50 кГц. В БИВА рассматривают всего два биоимпедансных параметра: активное сопротивление и реактивное сопротивление, нормированные на длину тела (ДТ). Данные каждого измерения отображаются точками на плоскости в координатах $R/ДТ$ – по горизонтали и $Xc/ДТ$ – по вертикали. Результаты сопоставляются с популяционными данными, представленными в виде системы вложенных эллипсов рассеяния. Показано, что в этой системе координат эллипсы 50, 75 и 95 центилей практически не видоизменяются в интервале возрастов от 18 до 55 лет и могут быть использованы для анализа данных взрослого населения.

На рис. 4 представлены данные различных профессиональных и клинических групп относительно эллипсов рассеяния и для некоторых из них – динамика параметров БИВА под действием различных факторов [6]. Темные точки соответствуют данным мужской популяции, светлые – женской. Среди представленных на рис. 4 примеров есть несколько результатов динамических наблюдений. Наиболее показательны примеры, в основе которых лежит значительная потеря жидкости в процессе лечения холеры, стрелками показаны направления изменения значений параметров в исследовании. Глядя на этот рисунок можно заключить, что изменения состава тела, связанные со смещением точки параллельно большей оси эллипса из первого квадранта в третий обуславливаются повышением уровня гидратации организма. В противоположном направлении – снижением гидратации (на рисунке – пример с обозначением точек ГД, пары точек, соответствующие начальному и конечному состоянию в процессе гемодиализа). Вдоль малой оси эллипсов можно наблюдать, что в четвертом квадранте оказываются точки спортсменов, альпинистов, с большим содержанием активной клеточной массы, а во втором – онкологических больных, больных с разными стадиями ВИЧ, с явными катаболическими изменениями.

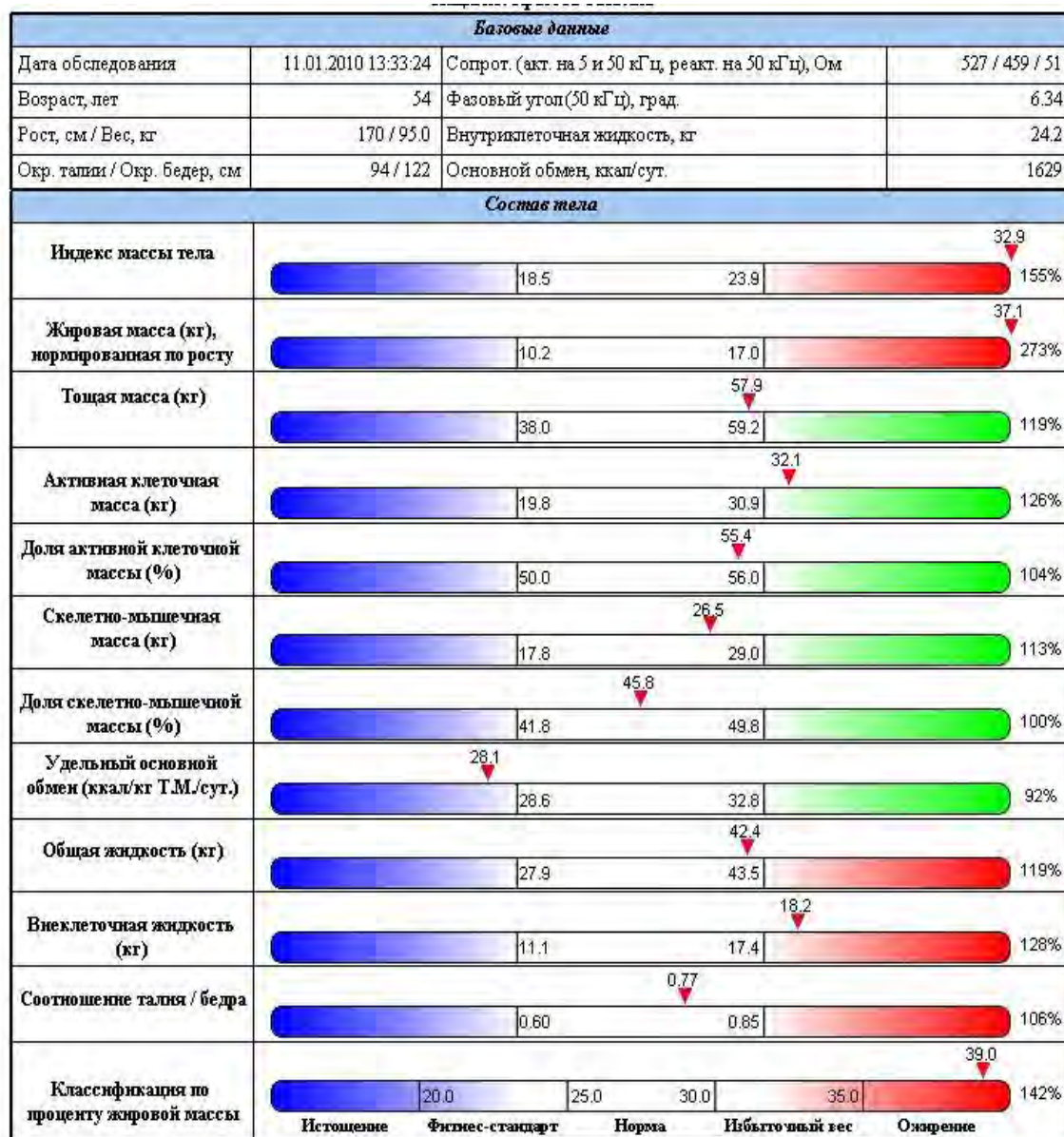


Рис. 2. Внешний вид протокола экспресс-обследования анализатора АВС-02 «МЕДАСС»

Эффективность работы врача с данными БИА зависит от возможностей единовременного графического представления, как правило, 5-7 параметров состава тела. В первичном протоколе (Рис. 2) используются 12 одномерных графических шкал, характеризующих состав тела пациента в момент исследования. Центильное представление (Рис. 3) содержит информацию о значениях одного параметра для нескольких исследований, произведенных в разное время, и допускает достаточно много градаций, в зависимости от плотности размещения центильных кривых. Способ представления данных в протоколе БИВА (Рис. 4) позволяет демонстрировать результаты двух, косвенно интерпретируемых в терминах состава тела параметров без масштаба оси времени. Визуализация данных, содержащая более двух измерений, влечет трудности построения, и, что более существенно, восприятия информации. Предлагается на одном экране и на одном листе протокола размещать четыре двумерных изображения восьми основных параметров состава тела на фоне двумерных изображений центильных кривых. Техника построения двумерных центильных кривых рассмотрена в работе [7]. На рисунке 5 помещен пример такого синтетического изображения. Были выбраны следующие пары основных биоимпедансных параметров: R и Xc, %СММ и фазовый угол, общая жидкость организма и ИМТ, активная клеточная масса и % ЖМ.

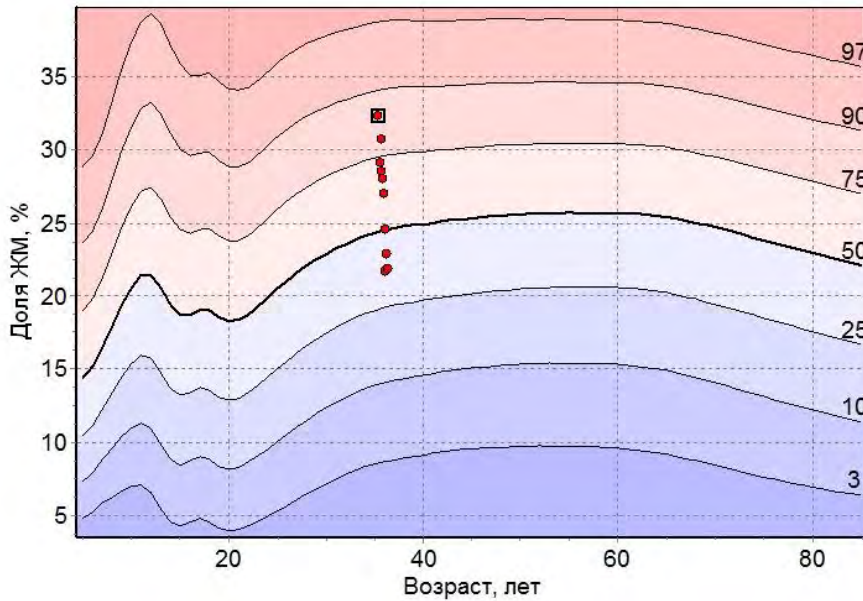


Рис. 3. Пример представления результатов БИА на фоне центильных кривых

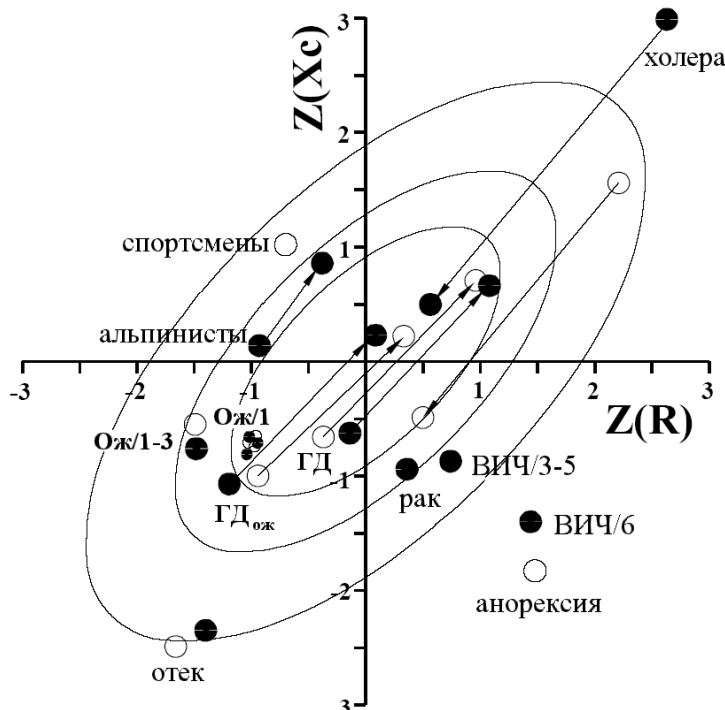


Рис. 4. Положение различных групп относительно эллипсов рассеяния и динамика параметров БИВА под действием различных факторов. Темные точки соответствуют данным мужской популяции, светлые – женской.

Центильные кривые строились для 53-55-летних женщин отечественной популяции на основе 23 507 исследований в центрах здоровья при помощи программного средства «Animation» (НТЦ «МЕДАСС», 2016). Точки данных биоимпедансного исследования пациента и соединяющие их линии показаны фиолетовым цветом. На рисунке видно, что в процессе редукции жировой массы значения параметров перемещались ближе к центральной зоне, соответствующей наиболее типичным для отечественной популяции значениям.

Видно, что двумерные центильные кривые – замкнутые, неправильной формы. Точки, образующие цепочку данных исследований пациентки образуют ломаную фиолетового цвета. В преобладающем числе случаев общее направление ломаной показывает тенденции изменений, типичные для снижения значений жировой массы у практически здорового пациента. На рис. 6 в рассмотренной выше визуализации добавлены прямоугольные границы, выделяющие зоны между 25 и 75 центилями каждого параметра. Видно, что такой инструмент представления должных значений грубее, как правило, 2-3 угла прямоугольника не попадают в зону, ограниченную границами криволинейных областей.

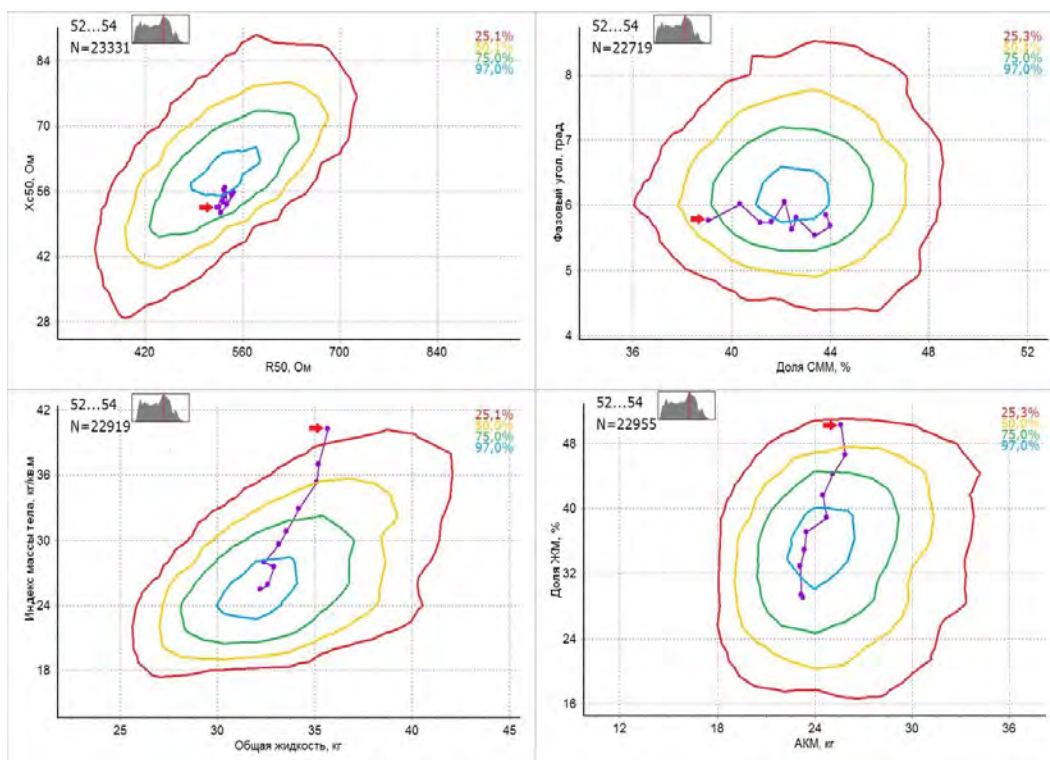


Рис. 5. Пример визуализации биоимпедансного исследования по 8 параметрам, с центильными линиями, скомпонованными в двумерные графики. Точки соответствуют процессу редукции жировой массы у пациента без зафиксированных сопутствующих заболеваний. Стрелка указывает на точку первого исследования.

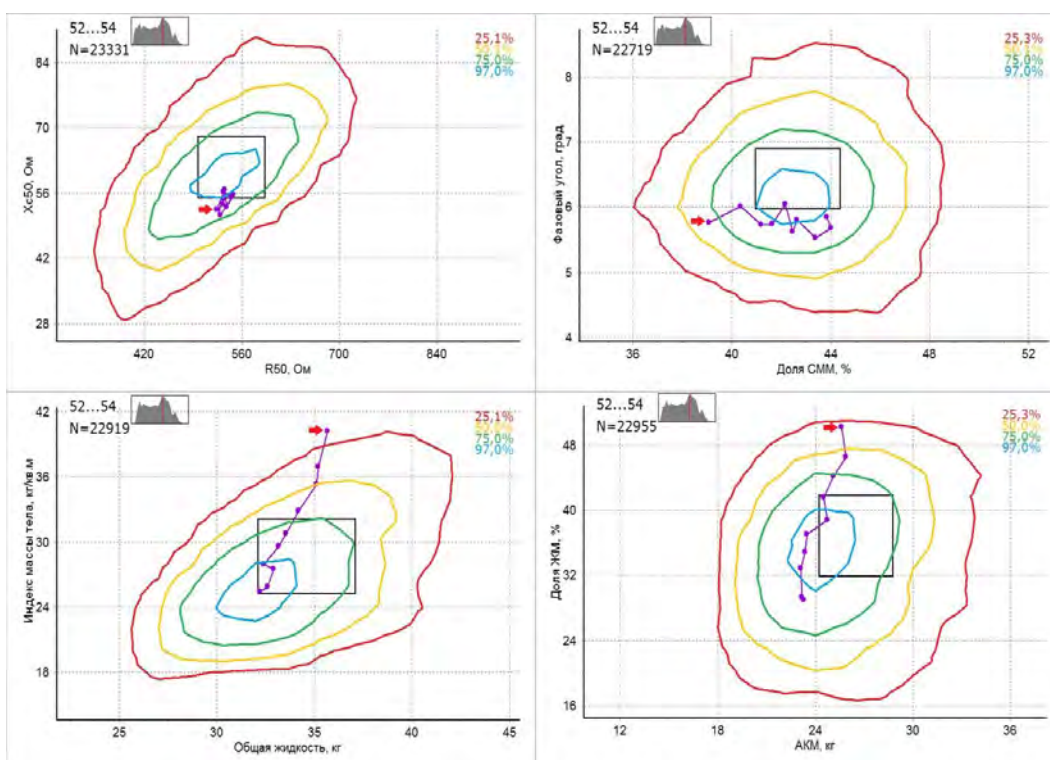


Рис. 6. Пример визуализации биоимпедансного исследования по 8 параметрам, с центильными линиями, скомпонованным в двумерные графики и прямоугольными представлениями центильных линий. Точки соответствуют процессу редукции жировой массы у пациента без зафиксированных сопутствующих заболеваний. Стрелка указывает на точку первого исследования.

Заключение

И на этапе первичной диагностики состава тела, и на всех этапах контроля эффективности лечения, визуальная информация для всесторонней и полной оценки должна быть представлена врачу в удобном для быстрого восприятия и осмысления виде. Предложенные двумерные представления позволяют анализировать четыре пары параметров БИА. Дополнительно, в тех же протоколах, могут демонстрироваться границы зон нормальных значений, соответствующие привычным протоколам экспресс-анализа БИА.

Благодарности

Работа поддержана грантом РФФИ №14-15-01085 (Рук. В.И. Стародубов)

Список литературы

- [1]. Tufte E. R., *Envisioning Information* /, Cheshire, Connecticut: Graphics Press LLC. 1990. 126.
- [2]. Николаев Д.В. и др. *Биоимпедансный анализ состава тела человека*. Наука, Москва, 2009.
- [3]. Руднев С.Г. и др., *Биоимпедансное исследование состава тела населения России*. РИО ЦНИИОИЗ, Москва (2014)
- [4]. Д.В. Николаев, С.П. Щелькалина, *Лекции по биоимпедансному анализу состава тела человека*. РИО ЦНИИОИЗ МЗ РФ, Москва (2016)
- [5]. A. Piccoli et al. *Kidney international*, **46(2)** (1994): 534-539
- [6]. A. Piccoli G. Pastori, *BIVA software. Department of medical and surgical sciences*. University of Padova, Padova, Italy. (2002).
- [7]. Николаев Д.В. и др., *Материалы Одиннадцатой международной научной школы «Наука и инновации-2016»* ISSN «SI-2016». (2016): 155-162.

ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ИННОВАЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОРКОВЫХ ФОРМАЦИЙ КОНЕЧНОГО МОЗГА ПТИЦ С РАЗЛИЧНО РАЗВИТОЙ РАССУДОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ МЕТОДОМ ФРАКТАЛОВ****Л. Н. Воронов¹, В. А. Козлов², А. М. Раматова¹**¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет имени И.Я. Яковлева»²ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», Чебоксары
e-mail: Lnvoronov@mail.ru

В статье исследуются цитоархитектонические особенности корковых формаций конечного мозга белоспинного дятла, серой вороны, белоспинного дятла и лазоревки методом выявления фрактальности и лакуарности. У серой вороны, обладающей наиболее развитой рассудочной деятельностью фрактальность и лакуарность наивысшая, у галки несколько меньше. У лазоревки и дятла белоспинного обнаружены корреляционные связи фрактальности и лакуарности, хотя они относятся к различным отрядам.

Ключевые слова: птица; мозг; корковые формации

The article examines cytoarchitectonically features of the cortical formations of finite brain white-backed woodpecker, gray crows, pigeons and blue Tits by the method of detection of fractality and lacunarity. The gray crows possess the most developed rational activity fractality and lacunarity higher, jackdaws slightly less. The azure and white-backed woodpecker discovered correlation fractal and lacunarity, although they belong to different groups.

Keywords: bird; brain; cortical formation

Птицы являются высокоспециализированной группой позвоночных, приспособившихся к полету. Будучи физиологически близки к рептилиям, птицы имеют головной мозг во многом сходный с таковым у рептилий, хотя и отличаются рядом прогрессивных черт, что обусловило более сложное и разнообразное поведение. У них головной мозг довольно крупный. Если у рептилий его масса примерно равна массе спинного мозга, то у птиц он всегда побольше. Мозговые изгибы ярко выражены. В последние годы структура конечного мозга исследована в работах (Андреева, Обухов, 1999; Богословская, Поляков, 1981; Воронов, 2003, 2005, 2006, 2007, 2008, 2016).

Укрупнение головного мозга обусловлено в первую очередь развитием переднего мозга, который по существу прикрывает все отделы головного мозга за исключением мозжечка. Проблема морфофункциональных механизмов памяти животных и человека очень важна, так как позволяет решать задачи оптимального хранения и обработки информации. Мозг птиц устроен проще, чем у млекопитающих и поэтому найти решение этой сложной проблемы вероятно удастся сначала на мозге птиц. Известно, что многие птицы запасают и прячут корм для себя на зиму, а потом их находят. Интересно выяснить, каковы структурные морфофункциональные механизмы этого процесса. Те виды птиц, что запасают корм, имеют гиппокамп больший по сравнению с близкородственными видами, таких запасов не делающих.

С функциональной точки зрения интересно отметить свидетельство важной роли гиппокампа в пространственной памяти и распознавании найдено и для млекопитающих, и для птиц (Clayton, 2009). Впервые ряд свидетельств – роли гиппокампа в пространственной навигации можно найти в обзоре Emery (2006). Удаление гиппокампа у голубей приводит в частности к ухудшению навигации во время возвращения домой. Другие свидетельства значения гиппокампа происходят из исследований запасующих пищу птиц. Запасающие пищу виды воробьинообразных имеют относительно более крупный гиппокампальный комплекс, чем родственные не запасующие пищу виды.

Корковые формации конечного мозга птиц совершенно не изучены с точки зрения фрактальной структуры. Поэтому тема нашего исследования весьма актуальна.

Цель работы: исследование цитоархитектонических особенностей корковых формаций конечного мозга белоспинного дятла, серой вороны, галки, белоспинного дятла и лазоревки методом выявления фрактальности и лакунарности.

Задачи:

1. Определить разницу и величину коэффициента фрактальности и лакунарности у в корковых формациях птиц с различной развитой рассудочной деятельностью в конечном мозге исследованных птиц.
2. Выяснить соотношение фрактальности и лакунарности в коре исследуемых птиц.
3. Проанализировать филогенетические закономерности фрактальности и лакунарности в коре исследованных птиц.

Материал и методы исследования: были сделаны фотографии корковых формаций галки, вороны серой, белоспинного дятла и лазоревки (по 3 экземпляра) на микроскопе «Микмед 5» при увеличении микроскопа - 40, фотоаппарата – 8,1. Микропрепараты фотографировали с помощью цифровой камеры «Canon Power Shot G5». Площадь контрольного поля равнялась $4,41 \times 10^{-2} \text{ мм}^2$. Подсчитывали коэффициент фрактальности и лакунарности в 12 полях зрения в различных срезах мозга. Фрактальность и лакунарность рассчитывали с помощью программы ImagJ по формулам Фрактальность Mean (M) $D = \sum D(g) [\Delta] G=1 \text{ to } \Delta \text{ for } Db$. Лакунарность подсчитывали по формуле $[\Delta] = \sum \Delta G [\Delta] G=1 \text{ to } [\Delta]$. Под фрактальностью понимают коэффициент, показывающий количество самоподобных фигур клеток в гистологическом срезе. Лакунарность – это коэффициент, показывающий самоподобные структуры межклеточного вещества.

Методика фракталов

Фрактальная геометрия всё чаще применяется для описания и анализа биологических объектов всех уровней организации, от молекулярного до экологического. Показано, что многие биологические структуры и процессы обладают свойствами фракталоподобных объектов и характеризуются фрактальной размерностью и масштабной инвариантностью, или самоподобием. Дизайн заполняющих пространство фрактальных биологических структур оптимален для выполнения функций распределения потока внешней среды в организме животного (Mandelbrot, 1983; 1990; Weibel, 1991, 1994; Goldberger, 1997; Исаева и др., 2004; Исаева, 2005). Биологические структуры геометрически сложной организации (например, клетки и их комплексы), уровень сложности и неоднородности которых не поддаётся точному описанию в рамках традиционной морфометрии, могут быть количественным образом охарактеризованы комплексом методов фрактального формализма, включающих подсчёт фрактальной размерности, или размерности Хаусдорфа-Безиковича, размерности Колмогорова (box-counting размерность), информационной размерности, оценку пространственной неоднородности, лакунарности объекта, его мультифрактального спектра и т. д. Методы нелинейной морфометрии в комплексе с традиционными морфометрическими признаками могут существенно уточнить и расширить методологию описания и классификации цитологических объектов, придать морфологическому описанию более фундаментальный биологический смысл ввиду глубокой связи нелинейных характеристик с биологической, онтогенетической, филогенетической и функциональной сложностью объекта.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты исследования представлены в виде графиков статистической обработки данных, а также кластерного и факторного анализов. Как видим параметры фрактальности и лакунарности цитоархитектоники коры у изученных птиц резко различны. Этот факт говорит о том, что эти два параметра для мозга птиц имеют резко различные значения. При этом изменчивость фрактальности и лакунарности галки меньше, чем у остальных изученных птиц.

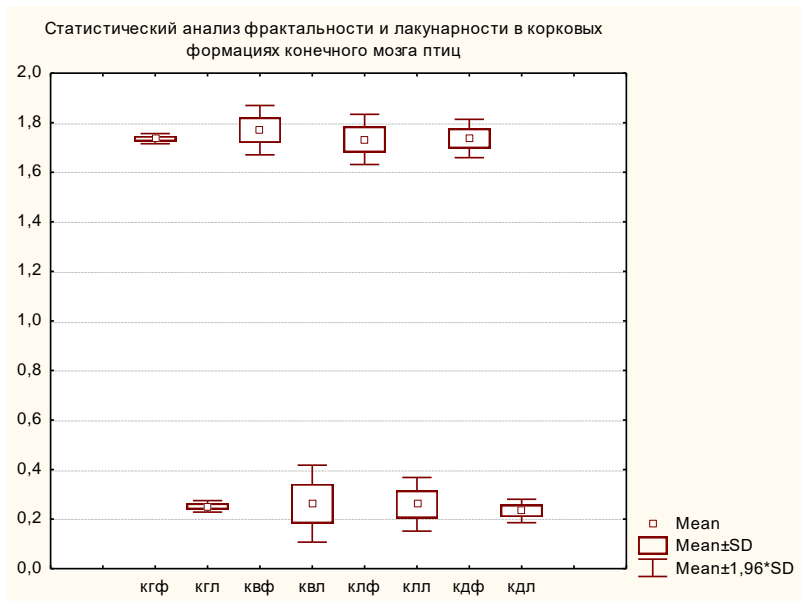


Рис. 1. Параметры фрактальности и лакунарности в корковых формациях конечного мозга птиц
Кгф – фрактальность коры галки, кгл – лакунарность коры галки. Квф - фрактальность коры вороны, квл – лакунарность коры вороны. Клф – фрактальность коры лазоревки, клл – лакунарность коры лазоревки. Кдф – фрактальность коры дятла, кдл – лакунарность коры дятла.



Рис. 2. Кластерный анализ фрактальности и лакунарности в корковых формациях конечного мозга птиц
Кгф – фрактальность коры галки, кгл – лакунарность коры галки. Квф - фрактальность коры вороны, квл – лакунарность коры вороны. Клф – фрактальность коры лазоревки, клл – лакунарность коры лазоревки. Кдф – фрактальность коры дятла, кдл – лакунарность коры дятла.

Параметры фрактальности и лакунарности изученных птиц распределены в двух кластерах. При этом в первый кластер лакунарности и фрактальности попадают данные серой вороны – птицы с высоко развитой рассудочной деятельностью.

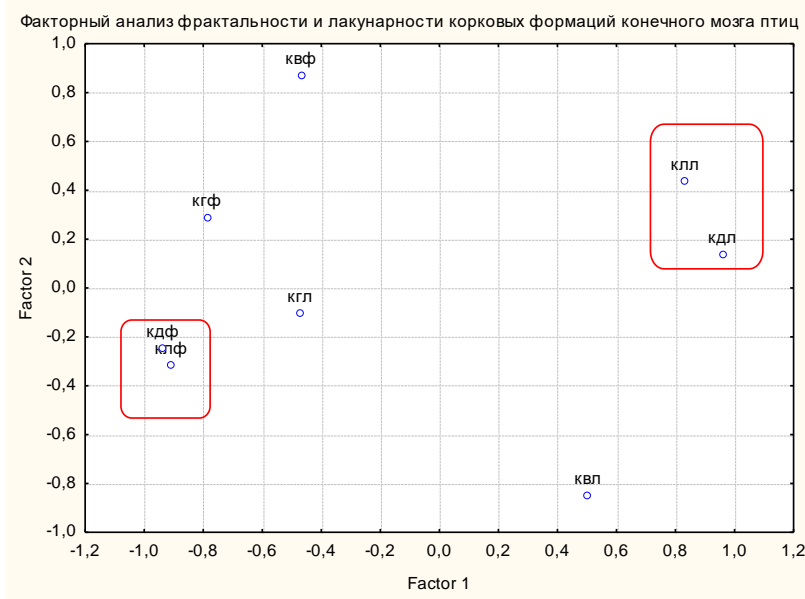


Рис. 3. Факторный анализ фрактальности и лакуарности в корковых фомарциях конечного мозга птиц
Кгф – фрактальность коры галки, кгл – лакуарность коры галки. Квф - фрактальность коры вороны, квл – лакуарность коры вороны. Клф – фрактальность коры лазоревки, клл – лакуарность коры лазоревки. Кдф – фрактальность коры дятла, кдл – лакуарность коры дятла.

Видим, корреляционное сходство фрактальности и лакуарности дятла и лазоревки. Эти виды сравнительно далеки от вороны и галки как филогенетически, так и по развитию рассудочной деятельности.

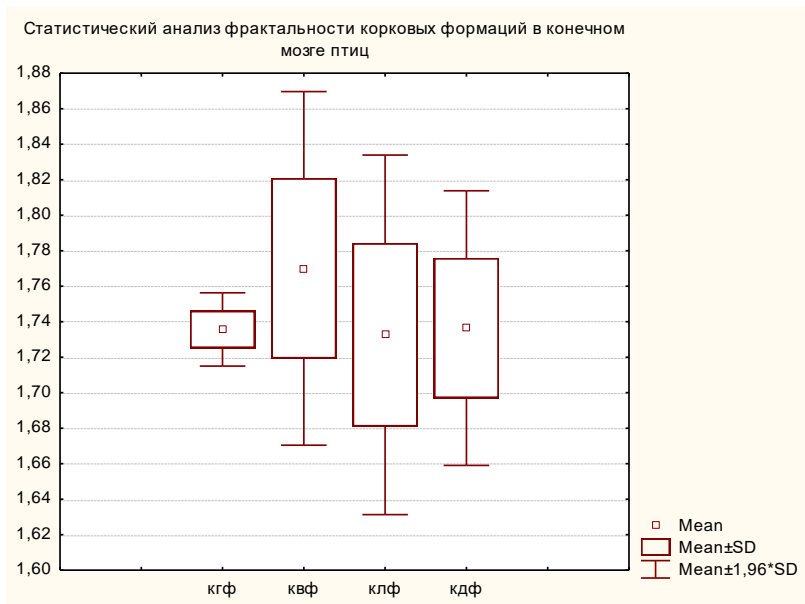


Рис. 4. Анализ фрактальности и лакуарности в корковых фомарциях конечного мозга птиц
Кгф – фрактальность коры галки. Квф - фрактальность коры вороны. Клф – фрактальность коры лазоревки. Кдф – фрактальность коры дятла.

Наибольшую фрактальность цитоархитектоники коры у вороны, а наименьшая изменчивость у галки. Этот факт нуждается в обсуждении, так как галка имеет более развитую рассудочную деятельность по сравнению с дятлом и лазоревкой.



Рис. 5. Кластерный анализ фрактальности в корковых формациях конечного мозга птиц

Кгф – фрактальность коры галки. Квф - фрактальность коры вороны. Клф – фрактальность коры лазоревки. Кдф – фрактальность коры дятла.

В первый кластер попали данные фрактальности вороны, во второй галки и третий лазоревки и дятла. Этот факт ещё раз подтверждает самую высоко развитую рассудочную деятельность у вороны, потом у галки, лазоревки и дятла белоспинного.

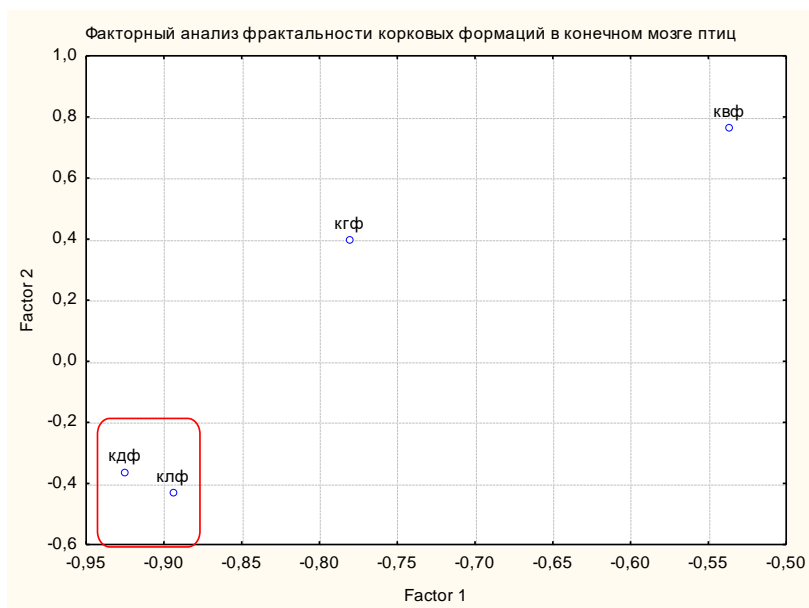


Рис. 6. Факорный анализ фрактальности в корковых формациях конечного мозга птиц

Кгф – фрактальность коры галки. Квф - фрактальность коры вороны. Клф – фрактальность коры лазоревки. Кдф – фрактальность коры дятла.

Факторный анализ демонстрирует корреляционную связь фрактальности цитоархитектоники коры дятла и лазоревки. По фактору 1 выделяется фрактальность вороны серой. Этот факт ещё раз подчёркивает близость морфотипа дятла и лазоревки по сравнению с врановыми птицами.

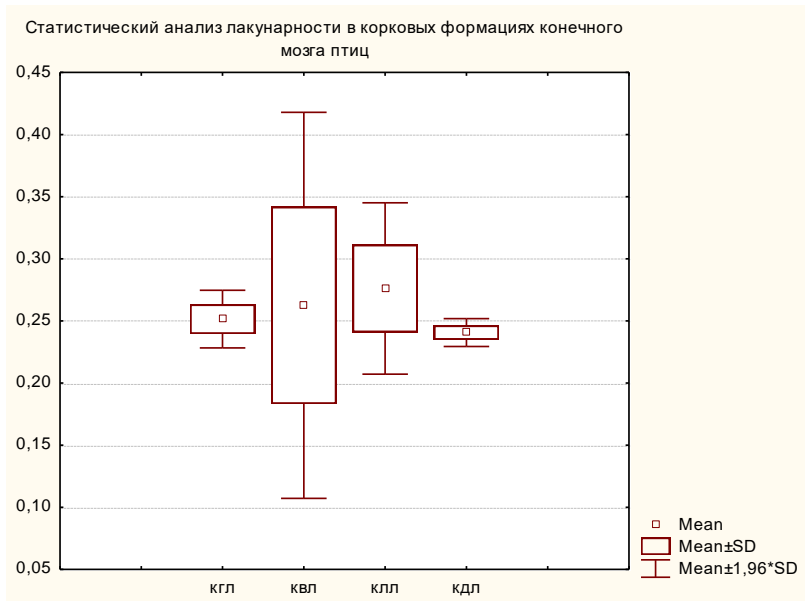


Рис. 7. Анализ лакунарности в корковых формациях конечного мозга птиц

Кгл – лакунарность коры галки, квл – лакунарность коры вороны, клл – лакунарность коры лазоревки, кдл – лакунарность коры дятла.

Наибольшая изменчивость лакунарности цитоархитектоники коры у вороны, а наименьшая у дятла. Напомним, что у вороны самая развитая рассудочная деятельность, а у дятла самая неразвитая.



Рис. 8. Кластерный анализ фрактальности в корковых формациях конечного мозга птиц

Кгл – лакунарность коры галки, квл – лакунарность коры вороны, клл – лакунарность коры лазоревки, кдл – лакунарность коры дятла.

В первый кластер попадает лакунарность цитоархитектоники вороны, во второй – лазоревки, а в третий – дятла и галки. Этот факт нуждается в осмыслении, так как морфотипы дятла и галки совпадают очень редко ввиду их экологической обособленности.

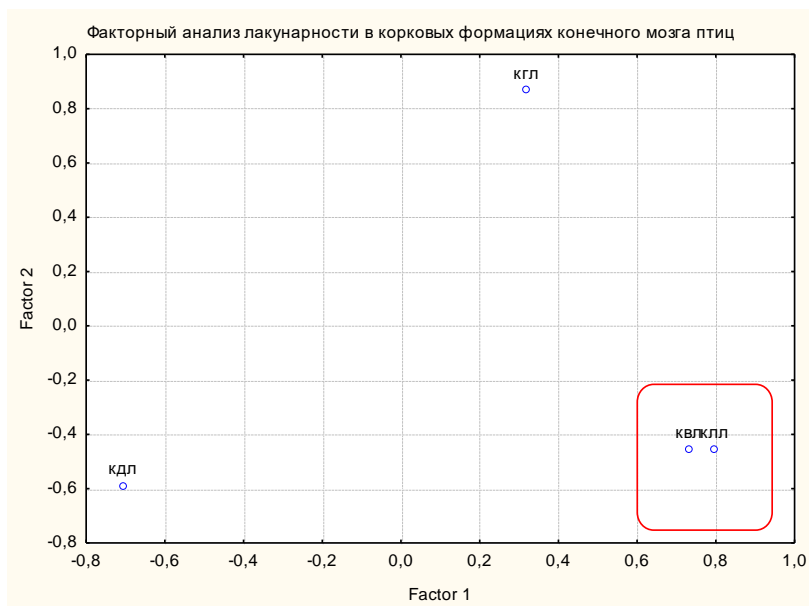


Рис. 9. Факторный анализ фрактальности в корковых формациях конечного мозга птиц

Кгл – лакуарность коры галки, квл – лакуарность коры вороны, клл – лакуарность коры лазоревки, кдл – лакуарность коры дятла.

Видны сильные корреляционные связи между лакуарностью цитоархитектоники вороны и лазоревки. Видимо этот факт нужно дополнительно осмыслить, так как и ворона и лазоревка относятся к одному отряду Воробьинообразных.

Как показал общий статистический анализ, параметры фрактальности и лакуарности цитоархитектоники коры у изученных птиц резко различны. Как показал кластерный анализ, параметры фрактальности и лакуарности изученных птиц распределены в двух основных кластерах. Проведя исследования степени фрактальности по факторному анализу, удалось установить корреляционное сходство фрактальности и лакуарности дятла и лазоревки, а также наибольшую фрактальность цитоархитектоники коры у вороны, а наименьшая изменчивость у галки.

В первый кластер попали данные фрактальности вороны, во второй галки и третий лазоревки и дятла. Факторный анализ демонстрирует корреляционную связь фрактальности цитоархитектоники коры дятла и лазоревки. По фактору 1 выделяется фрактальность вороны серой. Наибольшая изменчивость лакуарности цитоархитектоники коры у вороны, а наименьшая у дятла. В первый кластер попадает лакуарность цитоархитектоники вороны, во второй – лазоревки, а в третий – дятла и галки.

Установлены сильные корреляционные связи между лакуарностью цитоархитектоники вороны и лазоревки.

Выводы

1. Наибольшую фрактальность цитоархитектоники коры у вороны, а наименьшая изменчивость у галки.
2. Факторный анализ демонстрирует корреляционную связь фрактальности цитоархитектоники коры дятла и лазоревки. По фактору 1 выделяется фрактальность вороны серой. Факторный анализ демонстрирует корреляционную связь фрактальности цитоархитектоники коры дятла и лазоревки. По фактору 1 выделяется фрактальность вороны серой

3. В первый кластер попадает лакунарность цитоархитектоники вороны, во второй – лазоревки, а в третий – дятла и галки. Сильные корреляционные связи обнаружены между лакунарностью цитоархитектоники вороны и лазоревки.
4. Можно заключить, что у серой вороны, обладающей наиболее развитой рассудочной деятельностью фрактальность и лакунарность наивысшая, у галки несколько меньше. У лазоревки и дятла белоспинного обнаружены корреляционные связи фрактальности и лакунарности, хотя они относятся к различным отрядам и обладают средне развитой рассудочной деятельностью.

Список литературы

1. Андреева, Н. Г. Эволюционная морфология нервной системы позвоночных / Н. Г. Андреева, Д. К. Обухов. – СПб: Лань, 1999. – 384с.
2. Богословская, Л. С. Пути морфологического прогресса нервных центров у высших позвоночных / Л. С. Богословская, Г. И. Поляков. – М. : Наука, 1981. – 160 с.
3. Воронов, Л. Н. Морфофизиологические закономерности совершенствования головного мозга и других органов птиц / Л. Н. Воронов. – М. : Изд-во МГУ. 2003. – 111 с.
4. Воронов, Л. Н. Морфофункциональное совершенствование конечного мозга врановых птиц / Л. Н. Воронов, Н. В. Алексеева // Мат. VII Всерос. научн. конф. – Казань : ООО «Олитек», 2005. – С. 53-55.
5. Воронов, Л. Н. Особенности цитоархитектоники конечного мозга птиц с различно развитой рассудочной деятельностью / Л. Н. Воронов, Н. В. Алексеева // Мат. XI Междунар. орнитологической конф. – Ставрополь : СГУ, 2006. – С. 123-124.
6. Воронов, Л. Н., Самсонова, М. Л., Романова, Н. М. Сравнительный анализ особенностей морфотипов конечного мозга врановых и других птиц // Экология врановых в естественных и антропогенных ландшафтах. Материалы VIII Междунар. конф. по врановым птицам. Якорная Щель, 21–25 сент., 2007. – С. 176–178.
7. Воронов, Л. Н. Об особенностях цитоархитектоники конечного мозга у птиц / Л. Н. Воронов, Н. В. Алексеева, Н. М. Романова // Сельско-хозяйственная биология. – М., 2008. - № 4. – С. 120-125.
8. Воронов Л.Н., Константинов В.Ю., Козлов В.А. Моделирование пространственного расположения структурных компонентов в конечном мозге птиц. Материалы Одиннадцатой международной научной школы «Наука и инновации-2016 – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. – 326 с
9. Clayton N. S. Emery N. J. Do Jays Know About Other Minds and Other Times? *Neurobiology of “Umwelt”*. Berlin: Springer_Verlag. 2009. – P. 109–123.
10. Emery, N. J. Cognitive ornithology: the evolution of avian intelligence // *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Biol. Sci.* V. 361. № 1465, 2006. – P. 23-43.

ИЗУЧЕНИЕ ЦИТОАРХИТЕКТониКИ КОНЕЧНОГО МОЗГА ПТИЦ
МЕТОДОМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙЛ.Н. Воронов¹, В.С. Аbruков², В.А. Козлов²¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет имени И.Я. Яковлева»²ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», Чебоксары
e-mail: Lnvoronov@mail.ru

В статье анализируются данные структурных компонентов конечного мозга – глии, нейронов и нейроглиальных комплексов у птиц с низко-, средне- и высоко развитой рассудочной деятельностью. Установлены критические уровни значений параметров «глия-нейрон-комплекс», которые определяют переход на разные уровни рассудочной деятельности птиц.

Ключевые слова: птицы, нейроны, глия, нейроглиальный комплекс

This article analyzes the structural components of the ultimate brain – glia, neurons and neuroglial complexes in birds with low, medium and highly developed rational activities. The critical levels of the parameter values «glia-neuron complex», which determine the transition to different levels of rational activity of the birds.

Keywords: birds, neurons, glia, neuroglial complex

Введение. Класс птиц весьма обширен и разнообразен по своему составу, и разные виды находятся на разных уровнях филогенетического развития. Их мозг имеет разные типы организации, начиная от самой древней и архаичной (голубе- и курообразные) и кончая наиболее прогрессивно развитой у филогенетически молодых видов (врановые, совы, попугаи). Как известно, развитие мозга в процессе филогенеза происходило за счет совершенствования целого ряда показателей – относительного объема больших полушарий, совершенствования и увеличения относительной площади филогенетически молодых структур переднего мозга, увеличения плотности нейронов и т.д. (Богословская, Поляков 1981; Андреева, Обухов, 1999; Обухов, 1999; Воронов, 2003, 2013, 2014, 2015, 2016). Соответственно, мозг современных видов птиц характеризуется разными уровнями морфофизиологического развития, однако системные сравнительные исследования остаются пока делом будущего. Все указанные параметры полностью изучены и сопоставлены только у врановых и голубеобразных, причем установлено, что первые превосходят последних по всем показателям.

Л.В. Крушинский (1986) исследовал степень развития рассудочной деятельности у разных птиц. Он выделял 3 группы: Первая группа – вороновые. По уровню рассудочной деятельности птицы этого семейства стоят высоко. Они сравнимы с хищными млекопитающими из семейства псовых. Вторая группа – хищные птицы (пустельги, кобчики, канюки, степные орлы и осоеды), утки и куры. В целом эти птицы при первых предъявлениях экстраполяционной задачи не смогли её решить, однако при многократном предъявлении они обучались решению. Исключение составляют осоеды: некоторые особи решали задачу с первых предъявлений. Третья группа – голуби – с наиболее слаборазвитой элементарной рассудочной деятельностью. Однако и у этих птиц удаётся обнаружить некоторую способность к решению простых тестов.

Для более полной сравнительной характеристики когнитивных способностей класса птиц необходимо расширить спектр сравниваемых объектов и исследовать не только птиц с высшими и низшими (как врановые и голуби), но и промежуточными характеристиками развития мозга, группа З.А. Зориной начала исследовать когнитивные способности некоторых видов, ранее практически не использованных в лабораторных исследованиях – лазоревок (*Parus caeruleus*) и клестов-еловиков (*Loxia curvirostra*).

Эти виды имеют «средние» значения полушарного индекса (8–9), которые в 2 раза превышает «низшие» показатели (у голубей) и в 2 раза меньше максимальных значений (у врановых и попугаев). Ранее когнитивные способности клестов не были исследованы, а у си-

ниц изучали только пространственную память и способность к обучению, но не более сложные когнитивные функции. Лазоревки и клесты-еловики различны по своей биологии. Для клестов характерен низкий уровень пластичности узко специализированного кормового поведения – в природе они питаются главным образом семенами ели, хотя и используют при этом разнообразные способы питания («кормовые методы»). Резанов (2000) выделяет у клестов 35 таких «методов», у голубей – 11, у серой вороны – 75. В отличие от клестов, синицы-лазоревки относятся к группе собирателей-извлекателей. Они используют самые разнообразные способы питания («кормовые методы»): едят насекомых, пауков, реже семена и ягоды, легко переключаясь с одного на другие источники кормов и демонстрируя активное поисковое поведение (Резанов, 2000). Расширение диапазона исследуемых видов представляется актуальным и для двух ранее тестированных модельных групп («низший» и «высший» уровни развития). В этом отношении несомненный интерес представляет еще один новый объект изучения когнитивных способностей – серокрылая чайка (*Larus glaucescens*), которая имеет столь же низкий полушарный индекс, как и голуби, но отличается от них более пластичным поведением, во многом напоминающим поведение врановых. Важно отметить также, что эти виды относятся к разным отрядам и не связаны близким родством. Благодаря отмеченным особенностям, сходство в уровне когнитивных способностей (если оно будет обнаружено) можно будет объяснить сходством уровня развития мозга, а не другими факторами. Еще один способ проверить, насколько закономерна связь между когнитивными способностями группы видов и уровнем организации мозга, – сравнение способностей птиц, – обладающих высокоразвитым мозгом, но относящихся к разным линиям филогенетического развития. Высокими значениями индекса Портмана (в среднем 15) и мощным развитием филогенетически молодых структур неопаллиума характеризуются не только врановые, но и представители двух других отрядов (попугаи и совы), причем эти структуры расположены в пределах полушарий совершенно по – разному – у врановых – фронтально, у попугаев – каудально.

Материал и методы исследования. Работу выполняли в ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева» и ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова». В работе использован конечный мозг самцов взрослых особей 10 видов птиц по 5 экземпляров: 1. Птицы с высоко развитой рассудочной деятельностью (ВРРД): серая ворона (*Corvus cornix*), галка (*Corvus monedula*), грач (*Corvus frugilegus*), попугай волнистый (*Melopsittacus undulatus*); 2. птицы со средне развитой рассудочной деятельностью: (СРРД) – синица большая (*Parus major*), белоспинный дятел (*Dendrocopos leucotos*), зяблик (*Fringilla coelebs*) и 3. птиц со слабо развитой рассудочной деятельностью: кряква (*Anas platyrhynchos*), перепел (*Coturnix coturnix*) и голубь сизый (*Columba Livia*).

При выполнении работы мы руководствовались «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (приказ Минздрава СССР 755 от 12 августа 1977 г.).

Для исследования использовали следующие методы: *Гистологические*. После декаптации мозг птиц извлекали из черепа и фиксировали в 70 %-ом этаноле с последующей обработкой по стандартной методике Ниссля. Для исследования цитоархитектоники брали каждый десятый срез. Микропрепараты фотографировали с помощью цифровой камеры «Сапон Power Shot G5». Площадь контрольного поля равнялась $4,41 \times 10^{-2}$ мм². Подсчет и измерение клеток проводилось в 30 полях зрения для каждой из семи зон конечного мозга. С помощью компьютерной программы собственной разработки определялись следующие параметры: плотность распределения (количество профилей клеток в 1 мм² ткани) и площадь профильного поля (ППП) глии, нейронов и нейроглиальных комплексов (НГК). Клеточные элементы конечного мозга классифицировались следующим образом: 1) одиночная глия; 2) одиночный нейрон; 3) нейроглиальные комплексы. На микропрепаратах конечного мозга птиц исследо-

валось 7 основных полей конечного мозга птиц: Hyperpallium apicale (Ha), Hyperpallium densocellulare (Hd), Mesopallium (M), Nidopallium (N), Striatum laterale (StL), Globus pallidus (Gp), (A) Arcopallium. Определение нейронного состава конечного мозга птиц осуществлялось в соответствии с классификацией нервных клеток, окрашенных по методу Ниссля.

Метод нейронных сетей. При проведении исследований использовалась отечественная аналитическая платформа «Deductor» (Абруков, Ефремов, Кашеев, 2013), содержащая в себе средства оценки качества данных, их «очистки» от дубликатов и противоречий и «аномальных» значений, средства предварительного анализа данных (парциальная обработка, факторный и корреляционный анализы), методы интеллектуального анализа данных, включая ИНС, различные средства визуализации результатов анализа и моделирования.

Качество нейросетевой модели можно оценить по диаграмме рассеяния – разбросу значений целевой функции при обучении сети. Количественными критериями могут служить среднеквадратичное отклонение (ошибка) и процент распознаваемых связей при заданной ошибке (Славутская, Славутский, 2014).

Пример гистограммы распределения среднеквадратичной ошибки по интервалам показан в верхней части диаграммы. Сравнивая гистограммы для разных моделей, можно выбрать лучшую, т. е. модель с наиболее предпочтительным видом функций распределения (плотности распределения) ошибок. Численными критериями могут служить максимальная среднеквадратичная ошибка $\sigma_{\text{макс}}$ (в данном случае $\sigma_{\text{макс}} = 7,8\%$), и число примеров n_{σ} (в абсолютных единицах и в процентах), обладающих ошибкой в 5% (0,05) или 1% (0,01) (в данном случае $n_{0,05} = 97\%$, $n_{0,01} = 80\%$). Таким образом, качество ИНС модели и процент распознаваемых при обучении сети связей поддается традиционному статистическому описанию с доверительным интервалом и уровнем значимости.

Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 1. приведены результаты классификации того, к какому уровню рассудочной деятельности можно отнести птицу.

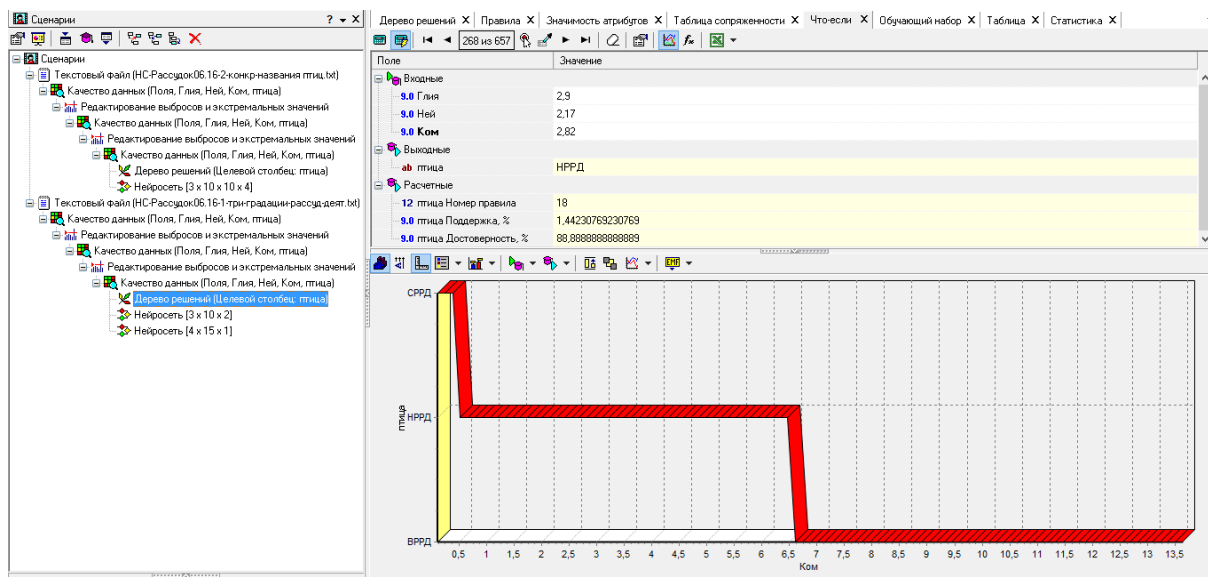


Рис. 1. Результаты классификации птиц с низко развитой рассудочной деятельностью в зависимости от показателей нейроглиальных комплексов.

В строке расчетные приведены: номер правила найденного с помощью ДР, которое классифицирует птицу, «Поддержка» – количество примеров, попавших в узел, от общего количества примеров выборки. Чем выше это значение, тем выше статистическая обоснованность результатов, поскольку классификация в данном узле проводится на большем количестве примеров; «Достоверность» – число распознанных примеров от общего числа при-

меров в данном узле. Чем выше данный показатель, тем достовернее результаты классификации. На графике (под таблицей) показана классификация уровня развития рассудочной деятельности (три уровня) в зависимости от «Ком» при значениях «Глия» = 2,9 и «Ней» = 2,17. Видно, что СРРД наблюдается при «Ком» менее 0,5; НРРД – при «Ком» между 0,5 и 6,5; ВРРД – более 6,5.

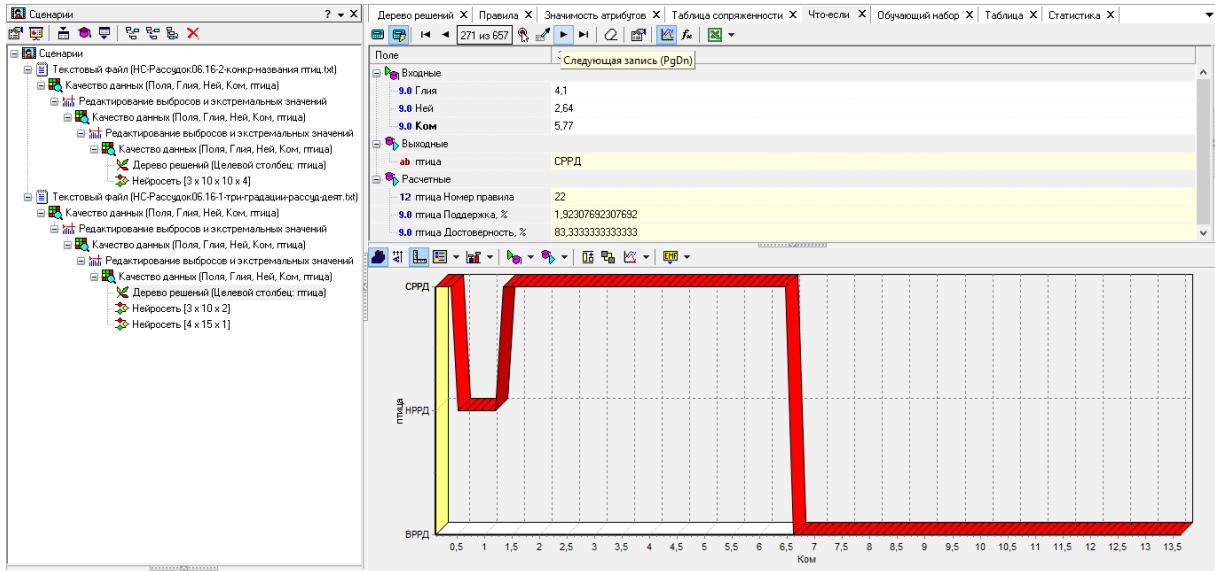


Рис. 2. Результаты классификации птиц со средне развитой рассудочной деятельностью в зависимости от показателей нейроглиальных комплексов
Примечание: 1. График рис. 2 отличается от графика рис. 1 интервалом НРРД и тем, что для СРРД имеется два интервала по «Ком».

На графике (под таблицей) показана классификация уровня развития рассудочной деятельности (три уровня) в зависимости от «Ком» при значениях «Глия» = 4,1 и «Ней» = 2,64. Видно, что СРРД наблюдается при «Ком» менее 0,5 и в интервале от 1,5 до 6,5; НРРД – при «Ком» в интервале от 0,5 до 1,5; ВРРД – более 6,5.

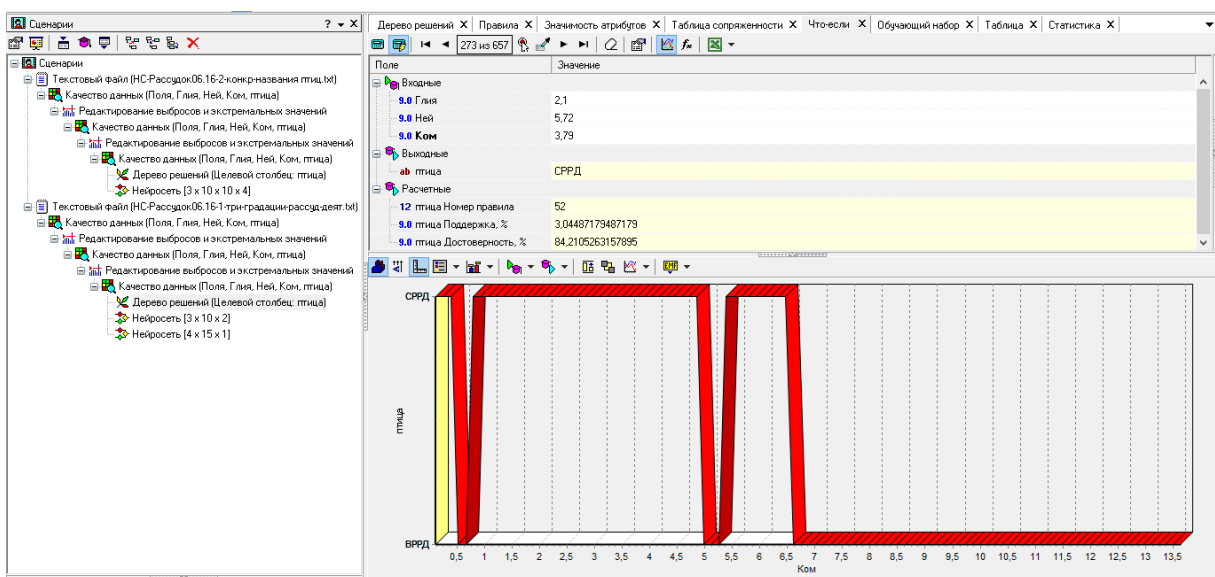


Рис. 3. Результаты классификации птиц со средне развитой рассудочной деятельностью в зависимости от разных показателей глиии и нейронов

На графике (под таблицей) показана классификация уровня развития рассудочной деятельности (три уровня) в зависимости от «Ком» при значениях «Глия» = 2,1 и «Ней» = 5,72. Видно, что СРРД наблюдается при «Ком» менее 0,5 и в интервале от 1,0 до 5,0; далее – от 5,0 до 5,5 и от 5,5 до 6,5; ВРРД – при «Ком» в интервале от 0,5 до 1,5; ВРРД – более 6,5.

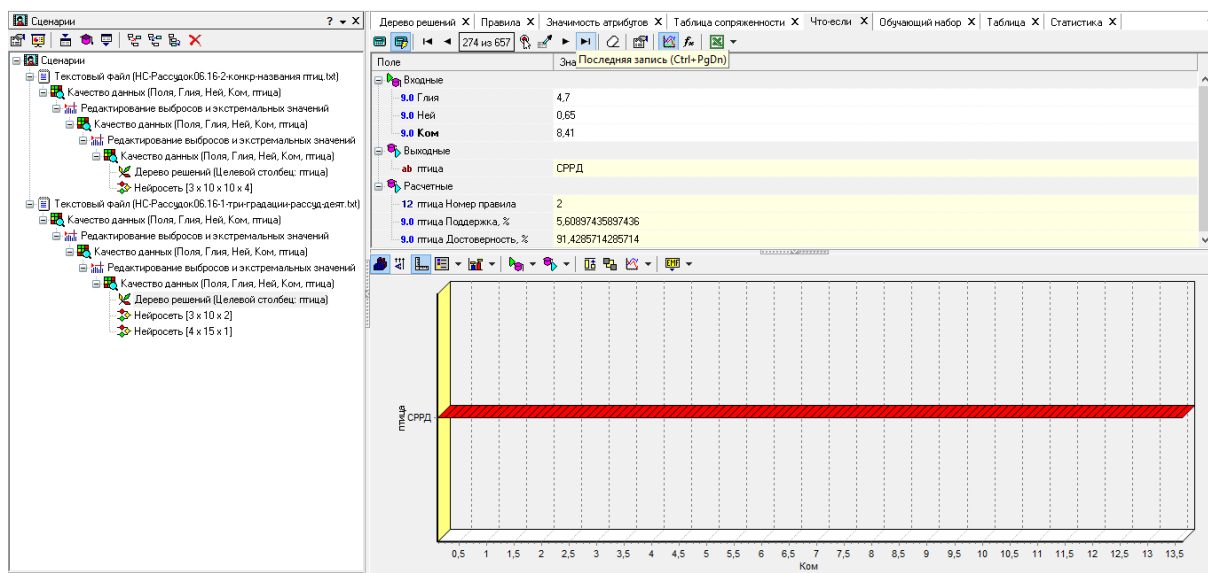


Рис. 4. Результаты классификации птиц со средне развитой рассудочной деятельностью в зависимости от разных показателей глии и нейронов

На графике (под таблицей) показана классификация уровня развития рассудочной деятельности в зависимости от «Ком» при значениях «Глия» = 4,7 и «Ней» = 0,65. Видно, что СРРД наблюдается при «Ком» на одном уровне.

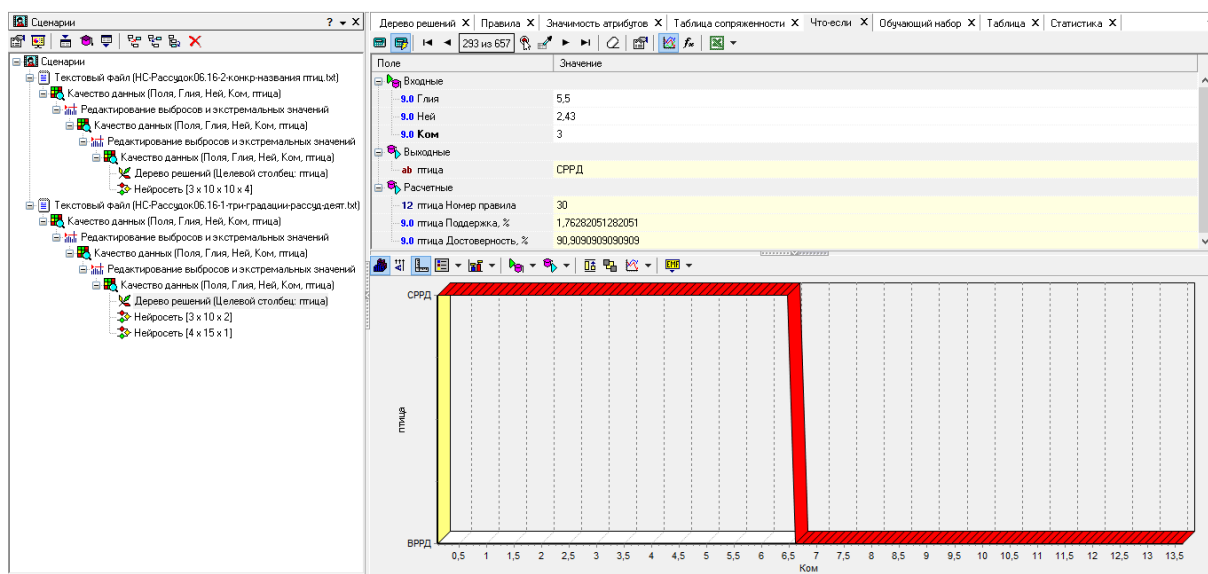


Рис. 5. Результаты классификации птиц со средне развитой рассудочной деятельностью в зависимости от разных показателей глии и нейронов

На графике (под таблицей) показана классификация уровня развития рассудочной деятельности в зависимости от «Ком» при значениях «Глия» = 5,5 и «Ней» = 2,43. Видно, что СРРД наблюдается при «Ком» менее 6,0, а ВРРД – более 6,5.

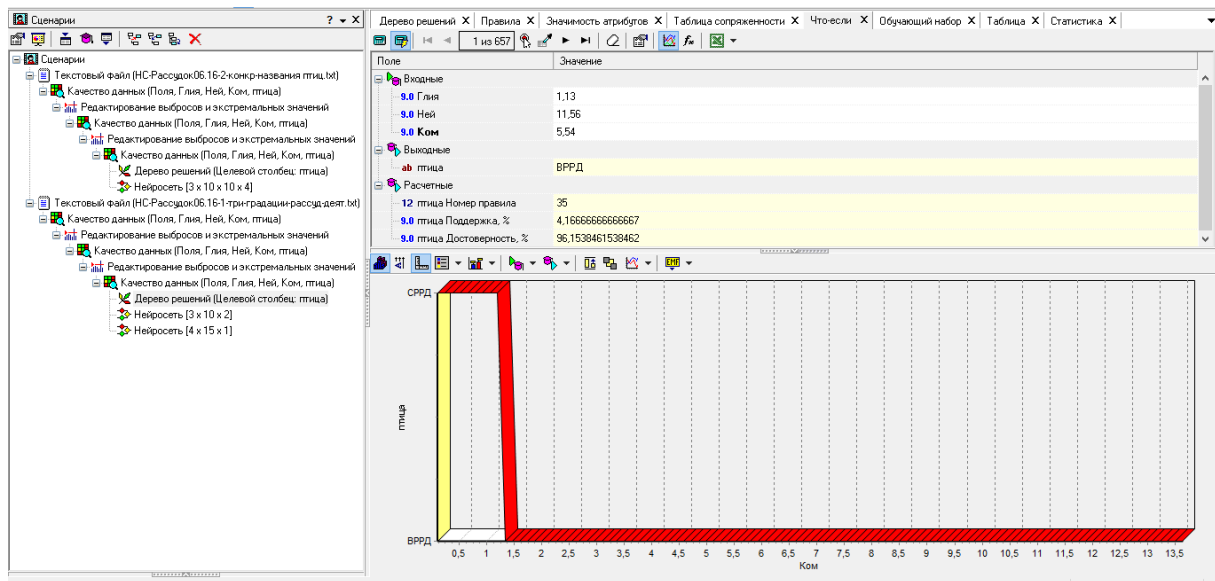


Рис. 6. Результаты классификации птиц с высоко развитой рассудочной деятельностью в зависимости от разных показателей глии и нейронов

На графике (под таблицей) показана классификация уровня развития рассудочной деятельности (два уровня) в зависимости от «Ком» при значениях «Глия» = 1,13 и «Ней» = 11,56. Видно, что СРРД наблюдается при «Ком» менее 1,0, а ВРРД – более 1,5.

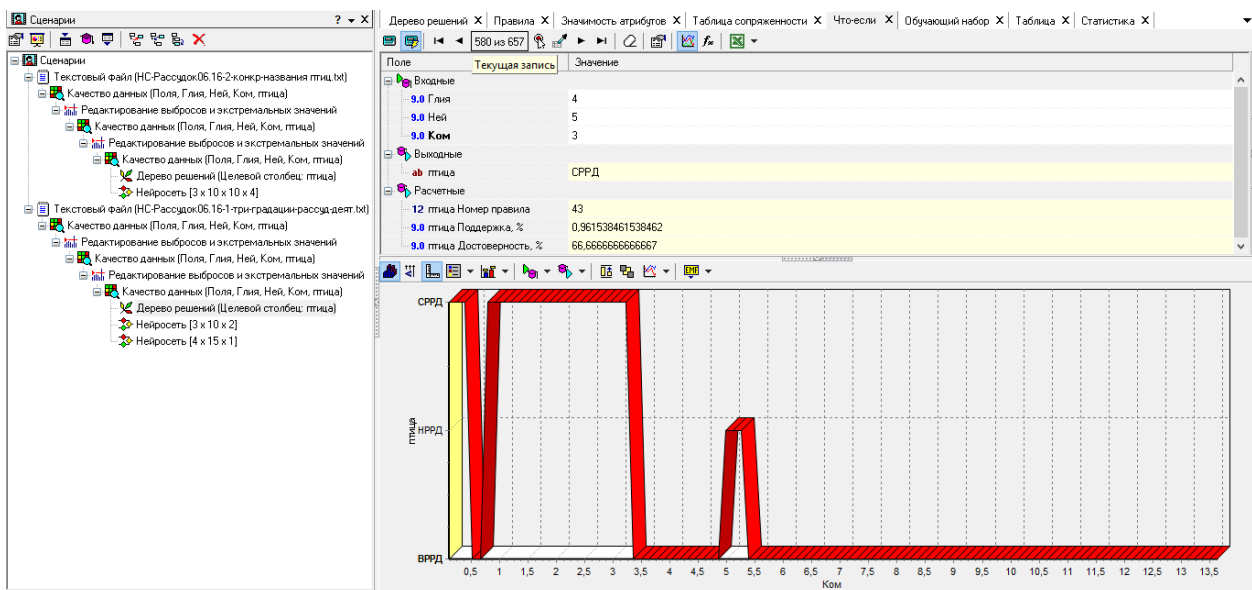


Рис. 7. Результаты классификации птиц со средне развитой рассудочной деятельностью в зависимости от разных показателей глии и нейронов

На графике (под таблицей) показана классификация уровня развития рассудочной деятельности (три уровня) в зависимости от «Ком» при значениях «Глия» = 4,0 и «Ней» = 5,0. Видно, что СРРД наблюдается при «Ком» менее 0,5 и в интервале от 0,7 до 3,5; НРРД – при «Ком» в интервале от 5,0 до 5,5; ВРРД – с интервалами от 0,5 до 3,5 и от 5,0 до 5,5.

Выводы:

1. Модель, полученная с помощью метода «дерева решений», можно применять только с дискретными функциями.

2. Установлены критические уровни значений параметров «глия-нейрон-комплекс», которые определяют переход на разные уровни рассудочной деятельности птиц.
3. Общие закономерности для различных уровней рассудочной деятельности наблюдаются для 80-90% птиц (низшей рассудочной деятельности – 161 из 173, средней рассудочной деятельности – 85 из 109 и высшей рассудочной деятельности – 99 из 120). Для 10-20% птиц – наблюдаются исключения.
4. Введение метаданных: сумма глия+нейрон или отношение глия/нейрон не улучшает качества моделей.

Список литературы

1. Абруков В.С., Ефремов Л.Г., Кошечев И.Г. Возможности создания системы поддержки принятия решений и управления вузом с помощью аналитической платформы deductor // Интеграция образования. 2013. № 1(70). С. 17–23.
2. Андреева Н.Г., Обухов Д.К. Эволюционная морфология нервной системы позвоночных. СПб.: Изд-во Лань, 1999. 384 с.
3. Богословская Л.С., Поляков Г.И. Пути морфологического прогресса нервных центров у высших позвоночных. М.: Наука, – 1981. 159 с.
4. Воронов, Л. Н. Морфофизиологические закономерности совершенствования головного мозга и других органов птиц. М. : Изд-во МГУ. 2003. 111 с.
5. Воронов Л.Н., Исаков Г.Н., Константинов В.Ю., Герасимов А.Е., Яндайкин С.С. Индексы структурных компонентов конечного мозга как индикаторы сложного поведения птиц // Русский орнитологический журнал 2013, Том 22, Экспресс-выпуск 906: 2113-2116.
6. Воронов Л.Н., Яндайкин С.С., Ландышева А.Ю. Экологоморфологические особенности конечного мозга синиц / Птицы-дуплогнездники как модельные объекты в решении проблем популяционной экологии и эволюции. Материалы международной конф. М.: Т-во научных изданий КМК. 2014. – С. 48-53.
7. Воронов Л.Н., Константинов В.Ю. Экологическая морфология конечного мозга птиц семейства вьюрковые (*Fringillidae*). Монография. – Чебоксары : Чуваш. гос. пед. ун-т, 2015. – 163 с.
8. Воронов Л.Н. Метод вычисления расстояния между классами структурных компонентов конечного мозга птиц / Л.Н. Воронов Л.Н., В.Ю. Константинов // Журн. высш. нерв. деят. 2016. Том 66, №1. С. 113-124.
9. Воронов Л.Н. Особенности строения конечного мозга у перелётных и осёдлых птиц / Л.Н. Воронов Ф.С. Алексеев, В.Ю. Константинов // Русский орнитологический журнал. 2015. Том. 24, Экспресс-выпуск 1203: С. 3745-3750.
10. Зорина З.А., Обозова Т.А. Вклад Л.В. Крушинского в изучение когнитивных способностей птиц и современное состояние этой проблемы. Формирование поведения животных в норме и патологии // К 100-летию со дня рождения Л.В. Крушинского (1911-1984). Сост. И.И. Полетаева, З.А. Зорина. – М.: Языки славянской культуры, 2013.– 528 с.
11. Крушинский Л. В. Биологические основы рассудочной деятельности. М.: Изд-во МГУ. 1986. 270 с.
12. Резанов А.Г. Кормовое поведение птиц: метод цифрового кодирования и анализ базы данных. М.: Школа, 2000. 321 с.
13. Славутская Е.В., Славутский Л.А. Нейросетевой анализ взаимосвязи вербального и невербального интеллекта младших подростков // Психологический журнал. 2014. Т. 35. №5. С. 48-56.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЕСТЕСТВЕННОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТИ СВИНЕЙ В МОДЕЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНОГО АГРОБИОГЕОЦЕНОЗА РЕГИОНА

В.Н. Еремеев¹, Р.А. Шуканов²

¹ФГБОУ ВО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана»

²ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина»

shukanovr@rambler.ru

Введение. В рамках реализации приоритетного национального проекта «Развитие агропромышленного комплекса» особое внимание уделяется необходимости привлечения инвестиций в восстановление и расширение базы высокотехнологичного и экономически безопасного животноводства с эффективным производством качественного отечественного продовольствия. Следовательно, синтез, апробирование и внедрение биогенных соединений нового поколения, обладающих экологической безопасностью и биодоступностью для живых организмов, а также научное обоснование фармакологической регуляции обменных, иммунных, ростовых процессов в организме является актуальной проблемой современной биотехнологии, ветеринарии и зоотехнии [1-4].

Цель исследований – коррекция постнатальной динамики неспецифической резистентности и роста тела у свиней комплексом кормовых добавок трепел и сувар в Чувашском Приволжье.

Материал и методы исследования. Проведена серия научно-хозяйственных опытов и лабораторных экспериментов с использованием 20 поросят-сосунов, для чего их подбирали по принципу аналогов с учетом клинико-физиологического состояния, породы, возраста, пола, живой массы по 10 животных в каждой группе.

Поросят всех групп с 2- до 59-дневного возраста выращивали вместе с подсосными свиноматками, затем после кастрации боровков первой группы (контроль) с 60- до 300-дневного возраста (продолжительность опытов) содержали на основном рационе (ОР). Животным второй группы на фоне ОР ежедневно применяли естественные кормовые добавки (КД) соответственно трепел в дозе 1,25 г/кг массы тела (м. т.) до конца исследований и сувар из расчета 25-50 мг/кг м. т. в течение каждых 20 дней с 10-дневными интервалами до 240-дневного возраста.

В ходе опытов у 5 животных из каждой группы на 2-, 15-, 60-, 240-, 300-й день жизни (соответственно периоды новорожденности, молочного типа кормления, полового созревания, физиологического созревания) изучали клинико-физиологическое состояние, гематологические, биохимические, иммунологические показатели и рост тела по общепринятым в физиологии современным тестам.

Результаты исследования и их обсуждение. Установлено, что в ходе наблюдений температура тела, чистота сердечных сокращений и дыхательных движений у свиней подопытных групп незначительно варьировали в диапазоне изменений физиологической нормы ($P > 0,05$).

Анализ динамики гематологических параметров показал, что у животных контрольной группы число эритроцитов и уровень гемоглобина в крови увеличивались от фазы новорожденности к концу фаз молочного типа кормления и полового созревания и соответственно на 44,4, 23,4 ($P < 0,001$) и 3,0, 3,9% ($P < 0,05$), а к завершению физиологического созревания на 2,4% и 2,8% ($P < 0,05$).

Другая закономерность выявлена в характере изменений количества лейкоцитов, которое к концу периодов новорожденности и молочного типа кормления возросло на 16,2

($P < 0,01$) и 0,6% соответственно ($15,0 \pm 0,13$ против $17,9 \pm 0,16$ тыс/мкл и $17,9 \pm 0,16$ против $18,0 \pm 0,16$ тыс/мкл), а затем к концу периода физиологического созревания уменьшилось до $17,3 \pm 0,24$ тыс/мкл (1,7 %; $P > 0,05$).

В соответствии с возрастной изменчивостью числа лейкоцитов находилась постнатальная активность АБОК, которая у контрольных свиней от фазы новорожденности к концу фаз молочного типа кормления и полового созревания увеличивалась на 52,3 и 26,2% ($P < 0,05 - 0,001$), а в завершению фазы физиологической зрелости, наоборот, уменьшилась на 2,4% ($P > 0,05$). Отсюда следует, что исследуемые гематологические параметры были максимальными в конце фазы новорожденности, а минимальными – физиологического созревания.

При оценке характера изменений биохимического профиля крови установлено, что уровень глюкозы у животных нарастал с разной интенсивностью от периода новорожденности к концу периодов молочного типа кормления, полового созревания и физиологического созревания соответственно на 36,8 ($P < 0,005$), 3,3 и 3,2% ($P < 0,05$).

Динамика концентрации общего белка в сыворотке крови соответствовала в целом характеру колебаний уровня глюкозы, повышение которой в исследуемые стадии постнатального онтогенеза составило 8,4, 8,7, 3,9 и 0,6 % соответственно.

Содержание альбуминов у интактных животных увеличивалось от начала периода новорожденности ($17,4 \pm 0,13$ г/л) к его завершению ($19,0 \pm 0,10$), с последующим уменьшением к концу периода молочного типа кормления ($17,8 \pm 0,49$), а затем снова повышалось к завершению периодов полового созревания ($18,7 \pm 0,49$), физиологического созревания ($18,6 \pm 0,20$ г/л) на 8,4, 6,3, 4,8 ($P < 0,05$) и 0,5% ($P > 0,05$) соответственно.

Иная закономерность имела место в возрастной изменчивости уровня общего кальция и неорганического фосфора, который достоверно повышался от конца стадии новорожденности к концу стадии молочного типа кормления соответственно на 37,0 и 46,4 % ($1,48 \pm 0,02$ против $2,35 \pm 0,38$ и $1,18 \pm 0,04$ против $2,20 \pm 0,15$ ммоль/л, $P < 0,001$) с дальнейшим понижением к концу стадии физиологического созревания на 0,9 – 15,5%.

Показано, что если активность перекисного окисления липидов (ПОЛ) от фазы новорожденности к концу фаз молочного типа кормления и полового созревания уменьшилась на 1,0 и 34,2% соответственно, а к завершению фазы физиологического созревания увеличилась на 14,2%, то активность антиоксидантной системы (АОС), наоборот, к концу фаз молочного типа кормления и полового созревания увеличилась соответственно на 17,2 и 32,9% ($P < 0,05 - 0,005$). Отсюда следует, что активность ПОЛ к концу фазы полового созревания была минимальной, а активность АОС, напротив, – максимальной.

Если концентрация пероксидазы значительно повышалась от конца периода молочного типа кормления к завершению периода полового созревания (на 33,0%), то концентрация щелочной фосфатазы – к концу периода молочного типа кормления (на 36,1%; $P < 0,005$).

Уровень кислотной емкости в онтогенетическом аспекте максимально увеличивался от начала фазы новорожденности (2-дневный возраст) к его концу (15-дневный возраст) на 26,1%, а затем снижался к концу фаз молочного типа кормления (60-дневный возраст), полового созревания (240-дневный возраст) и физиологического созревания (300-дневный возраст) соответственно на 27,7 ($P < 0,01$), 1,1 ($P > 0,05$) и 3,3% ($P < 0,05$).

Оценка иммунологического профиля крови контрольных свиней показала, что содержание γ -глобулинов снижалось от начала фазы новорожденности к ее концу на 22,7% ($P < 0,01$) и к завершению фазы молочного типа кормления на 10,3 % ($P < 0,05$). В дальнейшем оно повышалось к концу фаз полового созревания на 0,5% ($P > 0,05$) и физиологического созревания на 3,5% ($P < 0,05$).

Другая закономерность установлена в динамике концентрации иммуноглобулинов, которая заметно увеличивалась от начала периода новорожденности к его концу ($6,2 \pm 0,02$ против $15,0 \pm 0,04$ мг/мл), что составляет 58,7%. К концу периодов полового и физиологического созревания ее увеличение было на 15,1 ($P < 0,01$) и 0,7 % ($P > 0,05$) соответственно.

При анализе данных роста у животных контрольной группы в онтогенетическом разрезе выявлено, что масса тела за периоды новорожденности, молочного питания, полового и физиологического созревания соответственно увеличивалась на 60,4, 62,2, 86,5 и 26,2 %. Отсюда следует, что более интенсивный рост тела имел место в фазу полового созревания, минимальный – в период физиологического созревания.

Аналогичная закономерность имела место в динамике среднесуточного прироста живой массы, который за исследуемые периоды постнатального онтогенеза составил $223 \pm 5,78$, $240 \pm 2,56$, $452 \pm 4,76$ и $557 \pm 14,95$ г соответственно.

Характер изменений коэффициента роста в целом соответствовал динамике среднесуточного прироста массы тела.

В то же время при оценке постнатальной изменчивости гематологических, биохимических и иммунологических показателей у свиней опытной группы установлено, что их онтогенетическая специфичность была практически идентичной таковой у контрольных животных, но на более высоком метаболическом уровне. Так, количество эритроцитов и уровень гемоглобина в крови повышались от фазы новорожденности к концу фаз молочного типа кормления, полового созревания и физиологического созревания соответственно на 44,9, 23,1 ($P < 0,05 - 0,001$) и 1,2 ($P > 0,05$); 3,0 ($P > 0,05$), 5,7 и 5,4 % ($P < 0,05$).

Иная закономерность выявлена в динамике числа лейкоцитов, которое к концу периодов новорожденности и молочного типа кормления возросло на 17,2 и 3,7% ($14,9 \pm 0,16$ против $18,0 \pm 0,13$ тыс/мкл и $18,0 \pm 0,13$ против $18,7 \pm 1,23$ тыс/мкл), а затем к концу периода полового созревания уменьшилось на 6,4% с дальнейшим увеличением к завершению физиологического созревания на 1,1 % ($17,7 \pm 0,22$ тыс/мкл).

Отмечено, что если активность АБОК у свиней от фазы новорожденности к фазам молочного типа кормления и полового созревания увеличивалась на 52,5% и 25,6%, ($P < 0,01 - 0,001$), а в фазу физиологического созревания она, наоборот, уменьшилась на 4,7%. Отсюда следует, что изучаемые параметры гематологического профиля были максимальными в конце периода новорожденности, а минимальными – физиологической зрелости.

Уровень глюкозы также нарастал неравномерно от периода новорожденности к периодам молочного типа кормления, полового созревания (на 40,9, 5,6%; $P < 0,05 - 0,001$) и физиологического созревания (на 2,4%; $P > 0,05$) соответственно.

Характер изменений концентрации общего белка в целом соответствовал возрастной динамике уровня глюкозы, повышение которой в изучаемые стадии постнатального онтогенеза составило соответственно 8,1, 7,2, 10,6 ($P < 0,05$) и 0,4% ($P > 0,05$).

Уровень альбуминов у опытных животных возрастал волнообразно от начала периода новорожденности ($17,5 \pm 0,13$ г/л) к его завершению ($18,7 \pm 0,15$), затем уменьшался к концу периода молочного типа кормления ($17,6 \pm 0,78$) с дальнейшим увеличением к концу периода полового созревания ($20,4 \pm 0,22$ г/л) и вновь снижался к концу периода физиологического созревания ($20,0 \pm 0,32$ г/л) на 6,4, 5,9, 13,7 ($P < 0,05$) и 2,0 % ($P > 0,05$) соответственно.

Другая возрастная изменчивость имела место в характере колебаний уровня общего кальция и неорганического фосфора, который достоверно повышался от конца стадии новорожденности к концу стадии молочного типа кормления на 35,3 и 47,7 % ($1,50 \pm 0,02$ против $2,32 \pm 0,12$ и $1,15 \pm 0,04$ против $2,20 \pm 0,09$ ммоль/л, $P < 0,001$) соответственно.

Установлено, что если активность ПОЛ от фазы новорожденности к концу фазы молочного типа кормления увеличилась на 20,7%, а к концу фазы полового созревания уменьшилась на 49,4%, то активность АОС, наоборот, к завершению фаз молочного типа кормления и полового созревания увеличилась соответственно на 18,1 и 45,2% ($P < 0,01 - 0,001$). Отсюда следует, что активность ПОЛ к концу фазы полового созревания была наименьшей, а активность АОС, наоборот, – наибольшей.

Концентрация пероксидазы максимально повышалась от конца периода молочного ти-

па кормления к завершению периода полового созревания (на 35,2%), а концентрация щелочной фосфатазы – к концу периода молочного типа кормления на 35,7%, $P < 0,005$).

Уровень кислотной емкости в онтогенетическом аспекте существенно увеличивался от начала фазы новорожденности (2-дневный возраст) к его концу (15-дневный возраст) на 25,0%, а затем уменьшился к концу фазы молочного типа кормления (60-дневный возраст) на 26,9 % ($P < 0,01$) с последующим увеличением в фазу полового созревания на 3,5% и уменьшением к завершению фазы физиологического созревания на 0,7 % ($P > 0,05$).

Другая возрастная изменчивость имела место в динамике концентрации γ -глобулинов, которая снижалась от начала фазы новорожденности к ее концу на 23,0% ($P < 0,01$) и к завершению фазы молочного типа кормления на 9,8% ($P < 0,05$), а затем возрастала к концу фаз полового созревания на 7,7% ($P < 0,05$), физиологического созревания лишь на 0,9 ($P > 0,05$).

Выявлено, что концентрация иммуноглобулинов, которая заметно увеличивалась от начала периода новорожденности к его концу ($6,3 \pm 0,02$ против $15,0 \pm 0,07$ мг/мл), что составляет 58,0%; затем к завершению периодов полового и физиологического созревания ее увеличение было на 21,0 ($P < 0,01-0,001$) и 1,2% ($P > 0,05$) соответственно.

При анализе ростовых процессов у опытных животных в онтогенетическом разрезе выявлено, что масса тела за периоды новорожденности, молочного типа питания, полового и физиологического созревания соответственно увеличивалась на 59,2, 61,7, 88,9 и 26,6% ($P < 0,01-0,001$). Отсюда следует, что более интенсивный рост тела имел место в фазу полового созревания и менее выраженный – в период физиологической зрелости.

Такая же закономерность отмечена в возрастной изменчивость среднесуточного прироста живой массы, которая за исследуемые периоды постнатального онтогенеза составила соответственно $225,0 \pm 6,55$, $241,0 \pm 2,67$, $568,0 \pm 7,46$ и $693,0 \pm 5,85$ г.

Динамика коэффициента роста всецело соответствовала характеру изменений среднесуточного прироста массы тела.

Таким образом, установлена взаимосвязь между комплексным скармливанием свиньям кормовых добавок трепел, сувар с учетом биогеохимической специфичности Приволжья Чувашской Республики и онтогенетическими особенностями морфофизиологического состояния организма.

Список литературы

- [1] Н. В. Михайлов, А. С. Баранников Свиноводство России: новый кризис или рост?, *Животноводство России*, № 9 (2012) С. 2-4.
- [2] А. Н. Панин, Н. И. Малик, О. С. Илаев Пробиотики в животноводстве – состояние и перспективы, *Ветеринария*, № 3 (2012) С. 3-8.
- [3] А. Г. Пермяков Актуальные инновационные решения в свиноводстве, *Перспективное свиноводство: теория и практика*, № 2 (2012) С. 16–17.
- [4] Р. А. Шуканов, Г. И. Боряев, А. А. Шуканов и соавт. Эколого-экономические аспекты применения в свиноводстве кормовых добавок и биопрепаратов, *Нива Поволжья*, № 3 (40) (2016) С. 81–87.

ВЛИЯНИЕ КРАСНОГО СВЕТОДИОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОАМИНСОДЕРЖАЩИЕ СТРУКТУРЫ КОЖИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЫШЕЙ

О.А. Ефремова, Л.А. Любовцева, Ш.Я. Гамзалиева, М.Б. Семёнова

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Чебоксары
oefreмова13@rambler.ru

Интактная группа мышей (20 животных) содержалась в условиях естественного освещения. Подопытная группа (20 мышей) кроме естественного освещения в течение 7 дней облучалась монохромным светодиодным излучением с длиной волны 690 нм (красный свет) в светлое время суток (с 7:30 до 17 ч). Облучение мышей красным светодиодным светом снижало содержание биоаминов в гранулярных люминесцирующих и тучных клетках в 2 раза.

Ключевые слова: белые мыши, монохромное светодиодное излучение с длиной волны 690 нм, биологические амины, гранулярные люминесцирующие клетки, тучные клетки.

The intact group of mice (20 animals) was kept under natural lighting. The experimental group (20 mice) in addition to natural lighting within 7 days of the monochrome irradiated by led radiation with a wavelength of 690 nm (red light) in the daytime (from 7:30 to 17 h). Irradiation of mice with red led light reduced the content bioamines in granular luminescent and fat cells 2 times.

Keywords: white mouse, monochrome led radiation with a wavelength of 690 nm, biological amines, granular, luminescent, cells, fat cells.

Введение. В настоящее время применение монохромного красного света можно наблюдать как в медицинских учреждениях во время лечебных процедур [1, 6], так и для освещения помещений и декоративной подсветки, для которых всё больше используют светодиодные лампы. Известно, что когерентное излучение активно влияет на функционирование как клеточных, так и гуморальных механизмов иммунного ответа, а также на регуляторные процессы [7]. Тогда как влияние монохромного излучения, генерируемого узкополосными светодиодами, в настоящее время исследовано недостаточно, в связи с недавним началом их производства в промышленных масштабах. Тем не менее, они считаются биологически индифферентными, безопасными и широко используются в быту. В то же время, установлено, что качественно-количественный состав тучных клеток активно и закономерно меняется в ответ на изменение тканевых концентраций регуляторных аминов [3, 4], а тканевые экстранейрональная продукция биоаминов зависит от внешних воздействий и клеточной потребности [2]. Тучные клетки являются частью системы экстренного ответа на изменение тканевого биоаминного статуса, поэтому задача исследования влияния монохромного светодиодного излучения на состояние клеточных и регуляторных систем является актуальной.

Цель данной работы – выявить содержание нейроаминов в биоаминсодержащих структурах кожи при облучении мышей монохромным светодиодным излучением длиной волны 690 нм (красный цвет).

Задачи исследования:

1. Выявить морфологические и количественные изменения структур кожи при облучении мышей красными лучами спектра.

Материал и методы исследования: Материалом для исследования была кожа 40 мышесамцов массой 18 гр. Животные были разделены на 2 группы:

- 1) интактная группа (20) – животные содержались при естественном освещении;
- 2) группа – опытная (20), животные содержались в течение 7 дней при дополнительном к естественному облучении их монохромным светодиодным излучением с длиной волны 690 нм (красный свет) в светлое время суток (с 7:30 до 17 ч).

1. Для выявления катехоламин- и серотонинсодержащих структур применялся люминесцентно-гистохимический метод Фалька-Хилларпа;
2. Метод Кросса применялся для идентификации гистаминсодержащих структур;
3. Метод спектрофлуориметрии использовался для идентификации количественного выражения уровней биаминов в цитоструктурах кожи
4. Статистическую обработку цифровых данных проводили методом Уилкоксона-Манна-Уитни.

Результаты исследования.

Нами при люминесцентно-гистохимическом исследовании кожи мышей контрольной группы обнаружены биогенные амины в ГЛК, тучных клетках, а также в эпидермисе, гиподерме и в волосяных фолликулах. ГЛК в коже интактной группы мышей располагались в основном на границе сетчатого слоя дермы и гиподермы. Встречались места, где ГЛК образовывали скопления с различным числом крупных разнокалиберных гранул, и люминесцировали ярким желтоватым свечением. По литературным данным именно ГЛК имеют значение регуляторов автономных функций лимфоидных органов на клеточном уровне [5]. Тучные клетки в коже интактной группы мышей располагались в сосочковом и сетчатом слоях дермы рядом с сосудами и волосяными фолликулами по 5-6 в поле зрения. Они содержали мелкие одинаковой величины гранулы и люминесцировали желтоватым свечением.

После семидневного облучения мышей красным светом при исследовании на гистамин ГЛК располагались в сетчатом слое дермы диффузно или вокруг волосяных фолликулов. Они были мелкими и люминесцировали более тусклым желтоватым свечением по сравнению с ГЛК интактной группы. Содержание гистамина в ГЛК при облучении мышей красным светом снизилось в 2 раза по сравнению с контрольной группой мышей (табл. 1).

Тучные клетки выявлялись в дерме рядом с сосудами и волосяными фолликулами по 1-2 в поле зрения, редко по 4-5 и их гранулы люминесцировали более тусклым желтоватым свечением по сравнению с интактной группой. Многие тучные клетки были дегранулированными. Содержание в тучных клетках гистамина после облучения мышей красным светом снизилось в 2 раза по сравнению с интактной группой.

Изменения в биоаминном составе при облучении мышей красным светом были также выявлены в эпидермисе, волосяных фолликулах и в гиподерме. По сравнению с интактной группой содержание гистамина в эпидермисе снизилось в 2,3 раза, в волосяных фолликулах – в 1,8 раз и в гиподерме – в 3,6 раз.

Таблица

Интенсивность люминесценции биогенных аминов в цитоструктурах кожи (у.е.)

| Цитоструктуры | Контрольная группа | | | Опытная группа (красный свет) | | |
|---------------------|--------------------|------------|------------|-------------------------------|------------|-------------|
| | КА | СТ | Г | КА | СТ | Г |
| ГЛК дермы | 198,6±12,6 | 146,8±9,6 | 235±5,1 | 93,3±6,5** | 64,1±1,2* | 112±8,7* |
| Тучные клетки | 105,3±7,4 | 75,3±1,9 | 153,1±12,1 | 58±3,2* | 38,1±1,2* | 71,7±3,7* |
| Эпидермис | 204,7±12,3 | 118,8±11,3 | 246,2±13,6 | 80,2±7,9* | 46,8±3,1** | 106,1±3,2* |
| Волосяные фолликулы | 554,3±19,7 | 327±12,4 | 556,4±18,1 | 217±12,3* | 126,2±7,8* | 298,1±9,5** |
| Гиподерма | 304,2±16,4 | 189,7±9,8 | 326,7±19,1 | 128,2±9,7* | 75,7±3,2** | 298,1±9,5* |

Примечание: Г – гистамин, СТ – серотонин, КА – катехоламины.

ГЛК – гранулярные люминесцирующие клетки.

P≤0,05* – по сравнению с контрольной группой.

P≤0,001** – по сравнению с контрольной группой.

При исследовании методом Фалька кожи мышей, облучавшихся красным светом, выявленные в дерме ГЛК также были мелкими и люминесцировали более тусклым желтоватым свечением по сравнению с ГЛК контрольной группы. Содержание КА в ГЛК у мышей, облу-

чавшихся красным светом снизилось в 2,1 раз, а содержание серотонина – в 2,2 раза по сравнению с интактной группой.

Тучные клетки выявлялись по 2-3 в поле зрения, реже по 4-5 и многие были дегранулированными. Содержание КА в тучных клетках после облучения мышей красным светом снизилось в 1,8 раз, а серотонина – в 1,9 раз по сравнению с контрольной группой.

Содержание катехоламинов и серотонина в эпидермисе, волосяных фолликулах и гиподерме у мышей, облучавшихся красным светом снизилось в среднем в 2,5 раза.

Выводы:

1. Облучение мышей красным светодиодным светом снижает содержание биоаминов в гранулярных люминесцирующих и тучных клетках в 2 раза.
2. Облучение мышей красным светодиодным светом снижает содержание биогенных аминов во всех цитоструктурах кожи.

Список литературы

1. Белан О.С. Фотомодифицированная аутогемохимиотерапия в комплексном лечении метастазов распространенного рака легкого: дис. ... канд. мед. наук. – Ростов-на-Дону. 2009. – 186 с.
2. Козлов В.А. Локализация и состояние тканевых транзиттерных систем в норме и эксперименте. Монография. – Москва, 2006. – 124 с.
3. Козлов В.А., Бусова О.С. Миграция тучных клеток в почке // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. – 2010. – № 1. – С. 40–45.
4. Козлов В.А., Бусова О.С. Тучноклеточная популяция почки и почечной капсулы. Монография. – Москва, 2009. – 104 с.
5. Любовцева Л.А., Ефремова О.А., Голубцова Н.Н., Руссов А.В., Шамитова Е.Н., Леонова Л.К., Любовцева Е.В. Свойства гранулярных люминесцирующих клеток // Международный журнал по иммунореабилитации. – 2009. – Т. 11, № 1. – С. 25-26.
6. Шейко Е.А., Златник Е.Ю., Загора Г.И. Монохроматическое излучение красного спектра как фактор стимулирующий естественные механизмы гибели опухолевых клеток *in vitro* // Лазерная медицина, 2008. – Т. 12, №1. – С. 15–18.
7. Эбботт, Ллойд, Дэвис: Квантовые аспекты функционирования биологических структур. – ИД Интеллект, 2014. 320 с.

УДК: 577.112.7

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АМИЛОИДА

В.А. Козлов, С.П. Сапожников, А.В. Голенков, А.И. Фуфаева, О.В. Николаева,
В.Ю. Александрова, Ю.В. Петрова

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», Чебоксары
e-mail: pooh12@yandex.ru

В обзоре рассмотрены методы исследования физико-химических свойств, химической и трехмерной структуры амилоида.

Ключевые слова: амилоид, аминокислотная последовательность, трехмерная организация методы изучения

The review considers methods of research of physical-chemical properties, the chemical and three-dimensional structure of amyloid.

Key words: amyloid, amino acid sequence, three-dimensional organization of the study methods

1. Введение. Амилоидная болезнь, не так давно считавшаяся осложнением хронических воспалительных процессов и основой некоторых редких наследственных заболеваний, как оказалось распространена более широко. Образование амилоида является пусковым механизмом патогенеза таких заболеваний, как: сахарный диабет второго типа, болезни Альцгеймера, Гентингтона и Паркинсона, глаукома, боковой амиотрофический склероз [25, 29], – сопровождает процесс старения, по крайней мере, у долгожителей [8]. Как оказалось, амилоиды, возможно, являются частью врожденной иммунной защиты [33], а бактерии и дрожжи используют его как структурный элемент биопленок. Установлено, что амилоид и прионы являются родственными структурами, представляющими собой одноосевые кристаллы – нанотрубки, образующиеся путем самосборки из пептидов предшественников. Как таковые они являются супрамолекулярными объектами, имеющими собственные физикохимические свойства, отличающие их от белков.

В связи с вышеуказанными находками, исследовательский фронт (research front) изучения амилоида и амилоидных болезней продолжает расширяться. Между тем, в нашей стране представления широкой научной и врачебной общественности об амилоидогенезе и амилоидных болезнях продолжает оставаться на уровне сорокалетней давности и большей частью представляет собой реликт мифологического мышления, чем естественно-научного мировоззрения.

Целью данного обзора литературы является систематизация знаний о современных методах изучения амилоида и амилоидных болезней и достигнутых с помощью этих методов результатах.

Методы исследования амилоида, его физико-химических свойств, атомно-молекулярного и трехмерного (3D) строения могут быть подразделены на клинические (позитронно-эмиссионная томография) и экспериментальные. Последние представлены классической гистологией (световая, люминесцентная и электронная микроскопия), биохимическими методами исследования (сиквенс аминокислотных последовательностей), физическими методами исследования – рентгеноструктурный анализ (РСА) и рентгеновская микрокристаллография, ядерно-магнитнорезонансный анализ, плазмонный резонанс, атомносиловая микроскопия. Кроме того, делаются попытки экспериментального моделирования амилоидной болезни как на животных генетических моделях, так и путем моделирования индуцированного амилоидоза. Вопросы моделирования амилоидной болезни нами рассмотрены ранее [4, 21], кроме того, нами разработано несколько собственных оригинальных методов моделирования системного амилоидоза на молодых мышах [1, 3, 6, 20].

Клинические методы лабораторной диагностики амилоидной болезни. Основным методом диагностики амилоидозов в клинике остается гистологическое окрашивание тканей пораженного органа, полученных в результате биопсии или аутопсии, с помощью конго красного. Это метод является золотым стандартом исследования амилоидозов [36].

Поскольку конго связывается с амилоидом количественно, ранее он использовался для прижизненной диагностики амилоидозов. Методика была снова на извлечении конго амилоидом из плазмы крови. Данный метод прекратили использовать, поскольку внутривенное введение раствора конго вызывало анафилактические реакции.

При болезни Альцгеймера для диагностики тяжести поражения головного мозга с успехом используется позитронно-эмиссионная томография головного мозга. Метод основан на накоплении препарата, содержащего радиоактивную метку в клетках головного мозга. Уменьшение накопления радиоактивной метки свидетельствует об уменьшении числа активных клеток, соответственно, чем меньше излучается γ -квантов, образующихся в результате аннигиляции позитрон-электронной пары, тем значительнее поражение головного мозга амилоидом.

Исследование атомно-молекулярного строения амилоида. С момента первого описания сальной болезни строение амилоида продолжало оставаться загадкой вплоть до недавнего времени. Но именно супрамолекулярная структура амилоида – спираль диаметром 10-20 нм, содержащая заполненную молекулами воды полость диаметром 11,8 нм – послужила причиной дать название этому веществу, поскольку участки органа, пораженного амилоидозом, после предварительной обработки концентрированной серной кислотой окрашиваются йодом в синий цвет, аналогично тому, как окрашивается в синий цвет йодом крахмал – *amyllum* [41].

Световая микроскопия. Конго красный был первым красителем, специфически связывающимся с амилоидом, который считается золотым стандартом сравнения гистологических методов выявления амилоидных отложений. С момента установления R.R. Bennhold кругового дихроизма окрашенного конго красным амилоидом в 1922 г., стало понятным, что амилоид представляет собой оптически активную упорядоченную структуру.

Несколько позже было установлено, что интенсивность окрашивания амилоида конго красным имеет количественный характер как в тканях [15], так и в водной среде [31]. Тем не менее, количественное измерение накопления амилоида в тканях с помощью конго красного распространения не получило.

Кроме различных модификаций окраски амилоида конго красным существует еще несколько способов окрашивания световыми красителями – генциановым или метиловым фиолетовым, трехцветная окраска по Маллори. Однако их специфичность гораздо более низкая, чем у конго красного.

Достаточно специфичное количественное окрашивание наблюдается при взаимодействии амилоида с тиофлавином T или S. Метод основан на том, что при облучении ультрафиолетом 340 нм встроенный в β -складки амилоида тиофлавин начинает интенсивно флуоресцировать в видимом диапазоне на длине волны 480 нм.

Нами были разработаны и апробированы структурно близкие к тиофлавино производные азатрициклодец-енов, которые оказались хорошими люминофорами, специфичными к амилоиду [2, 5, 10]. Кроме того, нами разработан метод трехцветной окраски тканей, пораженных амилоидозом, увеличивающий цветовой контраст препаратов и позволяющий различить соединительнотканые волокна связанные и несвязанные с амилоидом [7].

Следует заметить, что, поскольку методы количественной гистологии при изучении амилоидозов не получили распространения, световая и флуоресцентная микроскопия тканей, пораженных амилоидозом, является констатирующим методом. К сожалению, простой и быстрый метод окрашивания конго красным тканей при аутопсии не является рутинной практикой патанатомического и судебно-медицинского исследования, но такая практика

могла бы выявить – у какого процента людей амилоидоз протекает бессимптомно и в каком возрасте он появляется у относительно здоровых людей.

Электронная микроскопия и рентгеноструктурный анализ. Нами в базе медлайн было обнаружено 9951 полнотекстовых публикаций, посвященных электронномикроскопическому исследованию амилоида. Самая ранняя публикация на эту тему принадлежит A.S. Cohen и E. Calkins [14], подтвердивших данные световой микроскопии об упорядочении структуры амилоида в виде фибрилл.

Первыми фибриллярную структуру амилоида методом рентгеноструктурного анализа (РСА) установили G.G. Glenner et al. [17]. В последующем в результате электронномикроскопического изучения и рентгеноструктурного анализа рядом исследователей было установлено, что амилоид представляет собой нанофибриллы толщиной 8-10 нм и длиной до 100-150 нм, образованными короткоцепочечными пептидами длиной 39-43 аминокислотных остатка [11-13, 18, 19, 22, 26, 27, 29, 34, 35, 39, 42, 43].

Последней, поистине ювелирной работой на эту тему является исследование S. Kumar и J.V. Udgaonkar [21]. Авторам удалось осуществить РСА одиночного одноосевого кристалла амилоида с помощью сфокусированного очень тонкого пучка γ -излучения. В данном исследовании были окончательно подтверждены все ранее полученные результаты, а также показаны причины и механизмы формирования структурного полиморфизма амилоидных фибрилл. Более того, если ранее считалось, что амилоидная конфигурация образуется в результате самосборки в нанотрубку взаимопараллельных β -листов, то в другом исследовании с помощью рентгеновской микрокристаллографии было показано что некоторые бактериальные белки образуют амилоид оставаясь α -спиралями [40].

Тем не менее, электронномикроскопическое исследование структуры амилоида можно в целом считать исчерпывающим [23, 25].

Сиквенс амилоидных последовательностей и ЯМР-анализ. В результате использования биохимических методов исследования было установлено существование нескольких видов амилоида, образующихся из разных белков предшественников. Эти находки позволили разработать современную классификацию амилоидов, а также наследственных (первичных) и приобретенных (вторичных) амилоидозов [37]. Изучена короткоцепочечная аминокислотная последовательность, являющаяся структурной основой амилоидных нанофибрилл [29, 30, 38].

Оказалось, что для амилоидов характерна аминокислотная последовательность, встречающаяся не менее чем в тридцати белках, все они являются амилоидогенами. По крайней мере при болезни Альгеймера выделение этой последовательности в свободном виде осуществляется в результате –С–С– протеолиза белков амилоидогенов [43].

Сочетанием методов РСА, ЯМР и аминокислотного сиквенса удалось показать, что амилоид представляет собой нанотрубку, содержащую полость, заполненную водой. Встраиваясь в эту полость, йод образует с амилоидом супрамолекулярный комплекс синего цвета [16], аналогично тому как йод, встраивается в полость α -спирали крахмала в виде полийодидов, образует супрамолекулярный комплекс синего цвета.

Таким образом, структура амилоидного белка методами биохимии (определение аминокислотной последовательности и пути образования этого пептида в результате –С–С– протеолиза), электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа в целом изучена.

Плазмонный резонанс. Метод плазмонного резонанса, используемый для регистрации быстро протекающих химических реакций и биологических процессов становится доступным как относительно простая лабораторная техника. Метод основан на том, что через тонкий слой реакционной среды, налитый на поверхность тонкой полупрозрачной пленки золота (один атомный слой) пропускается луч света, полностью отражающийся от поверхности среды. Вдоль этой поверхности распространяется электромагнитная волна, а на поверхности металла возбуждается плазмон. Если частоты электромагнитной волны и плазмона совпадают – то полное отражение пучка нарушается и возникает плазмонный резонанс, что изменяет

рефракцию среды и регистрируется датчиком. Если одноатомный слой золота ковалентно связать с амилоидными фибриллами, то такой датчик можно использовать для изучения влияния каких-либо веществ на процесс агрегации амилоидных фибрилл, что и было с успехом использовано в эксперименте, в котором изучалось влияние на агрегацию β -амилоида алкалоидов (ареколин гидробромид, гидрохлорид псевдопеллеттиэрена, тригонеллин гидрохлорид и α -лобелин гидрохлорид) [22].

Иммуногистохимические методы исследования амилоида. В базе медлайн находится 34881 полнотекстовых публикаций об иммуногистохимических методах исследования амилоида и амилоидозов. В известных нам работах иммуногистохимическое изучается либо иммуногистохимическое обнаружение амилоида, как альтернатива окрашиванию конго красным, либо антитела пытаются использовать как средство лечения болезни Альцгеймера без особого успеха. Информативность этих методов многократно меньше, чем исследований, осуществленных с помощью электронной микроскопии и секвенса амилоида. Информативность иммуногистохимического изучения амилоида увеличивается в случае применения антител, меченых радиоактивной меткой с последующим плазмонным резонансом и однофотонной флуоресцентной микроскопией.

Таким образом, арсенал экспериментальных методов исследования амилоида и амилоидозов достаточно широк.

Список литературы

- [1] Козлов В.А., Сапожников С. П., Шептухина А.И., Карышев П. Б. Способ моделирования экспериментального амилоидоза у животных // Пат. 2572721 Российская Федерация, МПК7 №2014144674/15(072131), приоритет от 05.11.2014 г. Опубликовано Бюл. / № 2.
- [2] Козлов В.А., Сапожников С. П., Митрасов Ю. Н., Авруйская А. А., Карышев П. Б., Шептухина А. И., Николаева О. В. Амилоид и молекулярные моторы // Матер. Десятой международной научной школы «Наука и инновации-2015» ISS «SI-2015» / под ред. И. И. Попова, В. А. Козлова, В. В. Самарцев. Йошкар-Ола: ГБОУ ДПО (ПК) С «Марийский институт образования», 2015. С. 204–211.
- [3] Козлов В.А., Сапожников С.П., Карышев П.Б., Шептухина А.И., Николаева О.В. Модель системного амилоидоза у молодых мышей // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины // 2016. – Т. 162, № 10. С. 523–527.
- [4] Козлов В.А., Сапожников С.П., Шептухина А.И., Голенков А.В. Сравнительный анализ различных моделей амилоидоза // Вестник РАМН. 2015. №1. С. 5–11.
- [5] Козлов В.А., Сапожников С.П., Карышев П.Б., Николаева О.В., Шептухина А.И., Авруйская А.А., Митрасов Ю.Н. Способ флуоресцентного гистологического выявления амилоида / Пат. 2611408 Российская Федерация, МПК7 №2015140660, приоритет от 23.09.2015 г. Опубликовано 2017. Бюл. № 6.
- [6] Козлов В.А., Шептухина А.И., Николаева О.В., Сапожников С.П. Казеиновый амилоидоз у молодых мышей // VIII Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум» – 2016. 3 с. URL: <http://www.scienceforum.ru/2016/9/18802>.
- [7] Козлов В.А., Сапожников С.П., Карышев П.Б. Трехцветная окраска на амилоид // Цитология. 2017. Т. 59, № 9. С. 623–627.
- [8] Козловская Л.В., Рамеев В.В., Саркисова И.А. Амилоидоз у пожилых // Клиническая медицина: Научно-практический журнал. 2005. Т. 83, № 6. С. 12–20.
- [9] Радько С.П., Хмелёва С.А., Супрун Е.В., Козин С.А., Бодоев Н.В., Макаров А.А., Арчаков А.И., Шумянцева В.В. Физико-химические методы исследования агрегации β -амилоида // Биомедицинская химия. 2015. Том 61, вып. 2. С. 203–218.

- [10] Сапожников С.П., Карышев П.Б., Николаева О.В., Шептухина А.И., Авруйская А.А., Митрасов Ю.Н., Козлов В.А. Новые флюоресцентные зонды для выявления амилоида // *Современные технологии в медицине*. 2017. Т. 9, № 2. С. 91–98.
- [11] Baldwin A.J., Knowles T.P., Tartaglia G., Fitzpatrick A., Devlin G., Shammass S., Waudby C.A., Mossuto M.F., Gras S.L., Christodoulou J., Anthony-Cahill S.J., Barker P.D., Vendruscolo M., Dobson C.M. Metastability of native proteins and the phenomenon of amyloid formation // *J. Am. Chem. Soc.* 2011. 133. P. 14160–14163. 10.1021/ja2017703.
- [12] Bonar L.C., Cohen A.S., Skinner M. Characterization of amyloid fibril as a cross-B-protein // *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 1969. Vol. 31, N 4. P. 1373–1375.
- [13] Carrotta R., Manno M., Bulon, D., Martorana V., San Biagio, P. L. Protofibril formation of amyloid beta-protein at low pH via a non-cooperative elongation mechanism // *J. Biol. Chem.* 2005. Vol. 280. P. 30001–30008.
- [14] Cohen A.S., Calkins E. Electron microscopic observations on a fibrous component in amyloid of diverse origins // *Nature*. 1959. Vol. 25, No 183(4669). P. 1202–1203.
- [15] Divry, P., Florkin, M. Sur les proprietes optiques de l'amyloide // *Comptes Rendus des Seances de la Societe de Biologie et des ses Filiales (Paris)* 1927. No 97, 1808–1810.
- [16] Dzwolak W. Insulin amyloid fibrils form an inclusion complex with molecular iodine: a misfolded protein as a nanoscale scaffold // *Biochemistry*. 2007. Vol. 46, No 6. P. 1568–157. DOI: 10.1021/bi061985l.
- [17] Glenner G.G., Eanes E.D., Bladen H.A., Linke R.P., Termine J.D. Beta-pleated sheet fibrils. A comparison of native amyloid with synthetic protein fibrils // *J. Histochem Cytochem.* 1974. Vol. 22, No 12. P. 1141–1158.
- [18] Hurshman A.R., White J.T., Powers E.T., Kelly J.W. Transthyretin aggregation under partially denaturing conditions is a downhill polymerization // *Biochemistry*. 2004. Vol. 43. P. 7365–7381.
- [19] Knowles T.P.J., Vendruscolo M., Dobson C.M. The amyloid state and its association with protein misfolding diseases // *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 2014. Vol. 15, N 6. P. 384–396. doi:10.1038/nrm3810.
- [20] Kozlov V.A., Sapozhnikov S.P., Kary`shev P.B., Sheptuhina A.I., Nicolaeva O.V. Systemic Amyloidosis Model on Young Mice // *Bulletin Experimental Medicine and Biology*. – 2017. – Vol. 162, N 10. – P. 520–523.
- [21] Kozlov V.A., Sapozhnikov S.P., Sheptuhina A.I., Golenkov A.V. The comparative analysis of various amyloid models // *Vestn. Ross. Akad. Med. Nauk.* 2015. N 1. P. 5–11.
- [22] Kraziński B.E., Radecki J., Radecka H. Surface Plasmon Resonance Based Biosensors for Exploring the Influence of Alkaloids on Aggregation of Amyloid- β Peptide // *Sensors*. 2011. Vol. 11, No 4. P. 4030-4042; doi:10.3390/s110404030.
- [23] Kumar S., Udgaonkar J.B. Structurally distinct amyloid protofibrils form on separate pathways of aggregation of a small protein // *Biochemistry*. 2009. Vol. 48, No 27. P. 6441–6449. doi: 10.1021/bi900682w.
- [24] Kunkel H.G. Proceedings of the fifty-fourth annual meeting of the american society for clinical investigation. The training of the clinical investigator: Presidential Address // *J. Clin. Invest.* 1962. Vol. 41, N 6. P. 1334–1414. doi: 10.1172/JCI104595.
- [25] Luheshi L.V., Dobson C.M. Bridging the gap: from protein misfolding to protein misfolding diseases // *FEBS Lett.* 2009. Vol. 583. P. 2581–2586.
- [26] Michio Dobashi, Fumiaki Yuda, Akihiro Masuda, Kazuo Terashima and Yutaka Imai Electron microscopic study on amyloid fibril formation in human lymph nodes // *Histology and Histo-pathology*. 1986, N 1. P. 277–289.
- [27] Modle, A.J., Gast K., Lutsch G., Damaschun, G. Assembly of amyloid protofibrils via critical oligomers a novel pathway of amyloid formation // *J. Mol. Biol.* 2003. Vol. 325. P. 135–148;

- [28] Montero A., Gastaminza P., Law M., Cheng G., Chisari F.V., Ghadiri M.R. Self-assembling peptide nanotubes with antiviral activity against hepatitis C virus // *Chem. Biol.* 2011. Vol. 18, N 11. P. 1453–1462. doi: 10.1016/j.chembiol.2011.08.017.
- [29] Nakazato M., Matsukura S. New Type of Amyloidosis β . Islet Amyloid Polypeptide (IAPP/Amylin) in Non-Insulin-Dependent Diabetes Mellitus // *Internal Medicine.* 1993. Vol. 32, No 12. P. 928–929.
- [30] Perutz M.F., Finch J.T., Berriman J., Lesk A. Amyloid fibers are water-filled nanotubes // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2002. Vol. 99, No 8. P. 5591–5595.
- [31] Pieter E.S. Smith, Jeffrey R. Brender, Ayyalusamy Ramamoorthy The Induction of Negative Curvature as a Mechanism of Cell Toxicity by Amyloidogenic Peptides The Case of Islet Amyloid Polypeptide // *J. Am. Chem. Soc.* 2009. Vol. 131, N 12. P. 4470–4478. doi: 10.1021/ja809002a.
- [32] Pras, M., Schubert, M., Zucker-Franklin, D., Rimon, A., Franklin, E.C. The characterization of soluble amyloid prepared in water // *The Journal of clinical investigation.* 1968. Vol. 47. P. 924–933.
- [33] Romhányi G. Selective demonstration of amyloid deposits and methodical possibilities of analysis of their ultrastructural differences // *Zentralbl. Allg. Pathol.* 1979. Vol. 123, N 1-2. P. 9–16.
- [34] Serio T.R., Cashikar A.G., Kowal A.S., Sawicki J., Moslehi J.J., Serpell L., Arnsdorf M.F., Lindquist S.L., Nucleated conformation conversion and the replication of conformational information by a prion determinant // *Science.* 2000. Vol. 289. P. 1317–1321.
- [35] Shirahama T., Cohen A.S. High-resolution electron microscopic analysis of the amyloid fibril // *J. Cell. Biol.* 1967. Vol. 33, N 3. P. 679–708.
- [36] Sipe J.D., Benson M.D., Buxbaum J.N., Ikeda S., Merlini G., Saraiva M.J., Westermark P. Amyloid fibril protein nomenclature: 2010 recommendations from the nomenclature committee of the International Society of Amyloidosis // *Amyloid.* 2010. Vol. 17, No.3-4. P. 101–104.
- [37] Sipe J.D., Benson M.D., Buxbaum J.N., Ikeda S.I., Merlini G., Saraiva M.J., Westermark P. Amyloid fibril proteins and amyloidosis: chemical identification and clinical classification International Society of Amyloidosis 2016 Nomenclature Guidelines // *Amyloid.* Vol. 23, No 4. P. 209–213. DOI: 10.1080/13506129.2016.1257986
- [38] Sorin Luca, Wai-Ming Yau, Richard Leapman, Robert Tycko Peptide Conformation and Supramolecular Organization in Amylin Fibrils: Constraints from Solid State NMR // *Biochemistry.* 2007 Nov 27; 46(47): 13505–13522. doi: 10.1021/bi701427q.
- [39] Sunde M., Blake C. The structure of amyloid fibrils by electron microscopy and X-ray diffraction // *Advances in protein chemistry.* 1997. Vol. 50. P. 123–159.
- [40] Tayeb-Fligelman E., Tabachnikov O., Moshe A., Goldshmidt-Tran O., Sawaya M.R., Coquelle N., Colletier J.P., Landau M. The cytotoxic *Staphylococcus aureus* PSM α 3 reveals a cross- α amyloid-like fibril // *Science.* 2017. Vol. 355, No 6327. 831–833. doi: 10.1126/science.aaf4901.
- [41] Virchow R. Neue beobachtungen über amyloid degeneration, *Virchows Archiv fur pathologische Anatomie und Physiologie und fur klinische Medizin*, 1857. No 11. P. 188–189.
- [42] Xu, S., B. Bervis, and M. F. Arnsdorf. The assembly of amyloidogenic yeast sup35 as assessed by scanning (atomic) force microscopy: an analogy to linear colloidal aggregation? // *Biophys. J.* 2001. Vol. 81. P. 446–454.
- [43] Zhang C., Khandelwal P.J., Chakraborty R., Cuellar T.L., Sarangi S., Patel S.A., Cosentino C.P., O'Connor M., Lee J. C., Tanzi R. E., Saunders A. J. An AICD-based functional screen to identify APP metabolism regulators // *Mol. Neurodegener.* 2007. Vol. 2, N 15. 19 p. (page number not for citation purposes). DOI: 10.1186/1750-1326-2-15).

КОРРЕКЦИЯ ИММУНОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА БОРОВКОВ ЦЕОЛИТАМИ РАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В АГРОПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАКАМЬЯ РЕГИОНА

¹М.Н. Лежнина, ²Р.А. Шуканов, ³А.А. Шуканов

¹ ГАПОУ «Чебоксарский техникум технологии питания и коммерции» Министерства образования и молодежной политики ЧР, Чебоксары
nachvosprab@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина», Москва
shukanovr@rambler.ru

³ ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности», Казань

В условиях постоянно нарастающего антропогенного и техногенного влияния на среду обитания продуктивных животных актуализируется проблема активного поиска альтернативных способов и средств обеспечения функционально устойчивого состояния их естественного иммунитета. К их числу следует отнести применение в животноводстве природных цеолитов различных месторождений, способствующих получению экологически чистой продукции высокого санитарного качества. Поэтому комплексная оценка воздействия разных естественных минералов на животный организм во взаимосвязи с биогеохимической специфичностью локальных территорий представляет одну из актуальных проблем современной ветеринарии и зоотехнии [2; 4; 5].

Цель работы – корригирование возрастной изменчивости состояния неспецифической резистентности у свиней скормливанием природных цеолитов воднит и шатрашанит с учетом биогеохимической специфичности юго-восточного Закамья Республики Татарстан.

Материал и методы исследования. Выполнена серия производственных опытов на 180 свиньях крупной белой породы отъемного возраста, из них для постановки лабораторных исследований использовано 45 боровков-аналогов по 15 голов в каждой из трех групп. У них учитывали физиолого-клиническое состояние, пол, породу, возраст, массу тела. Подопытных свиней с 61-дневного до 300-дневного возраста (длительность наблюдений) кормили согласно сбалансированным по основным показателям нормам и рационам РАСХН (основной рацион – ОР) [1].

Животным второй и третьей групп вместе с ОР скормливали кормовые добавки соответственно воднит Водинского месторождения Самарской области и шатрашанит Татарско-Шатрашанского месторождения Республики Татарстан в количестве 2,0 % от массы сухого вещества ОР ежедневно до завершения исследований [3]. Для выполнения экспериментов у 5 боровков как из контрольной, так и опытных групп на 60-, 120-, 180-, 240-, 300-й день жизни не деятельности определяли гематологические, биохимические и иммунологические параметры согласно существующим стандартным методам.

Результаты исследования и их обсуждение. При оценке постнатальной динамики гематологического профиля установлено, что на протяжении наблюдений в крови животных сравниваемых групп уровень гемоглобина неуклонно возрастал от $102,6 \pm 1,43$ – $104,4 \pm 1,50$ до $113,2 \pm 1,70$ – $122,0 \pm 1,69$ г/л. Причем у свиней третьей группы (шатрашанит) в 180-, 240-, 300-дневном возрасте имело место превышение изучаемого гематологического показателя на 6,5–15,7% ($P < 0,05$ – $0,01$) по отношению к контрольным значениям. Выявлено, что количество эритроцитов в крови свиней как контрольной, так и опытных групп в связи с ростом неизменно увеличивалось от $5,80 \pm 0,10$ – $5,85 \pm 0,18$ до $6,72 \pm 0,21$ – $7,87 \pm 0,25 \cdot 10^{12}$ л соответственно.

При этом у опытных боровков, содержащихся в условиях скармливания воднита и шатрашанита, начиная с их 300-дневного (2 группа) и 240-дневного (3 группа) возраста соответственно, количество эритроцитов было выше такового у интактных сверстников на 10,4–14,6 % ($P < 0,05–0,01$). Отмечено, что в крови животных изучаемых групп число лейкоцитов плавно уменьшалось от начала опытов к их завершению ($15,7 \pm 0,22–16,0 \pm 0,31$ против $15,1 \pm 0,18–15,7 \pm 0,13 \cdot 10^9$ л; $P > 0,05$).

Активность аутобляшкообразующих клеток подопытных боровков повышалась в начале исследований от $3,6 \pm 0,16–3,9 \pm 0,18$ до $4,4 \pm 0,20–4,5 \pm 0,18\%$, затем медленно уменьшалась к их завершению ($4,1 \pm 0,22–4,2 \pm 0,26\%$) без достоверного различия в межгрупповом сопоставлении. Оценка возрастной изменчивости биохимического профиля показала, что у свиной как интактной, так и опытных групп в течение наблюдений содержание общего белка в кровяной сыворотке постепенно нарастало от $59,0 \pm 0,40–59,6 \pm 0,36$ до $64,8 \pm 0,64–68,4 \pm 0,33$ г/л. Параллельно у животных 240-, 300-дневного (2 группа), 180-, 240-, 300-дневного (3 группа) возраста, содержащихся в условиях применения естественных цеолитов соответственно воднит и шатрашанит, изучаемый параметр был значительно выше, чем таковой у их контрольных сверстников ($P < 0,05–0,01$; рисунок 1).

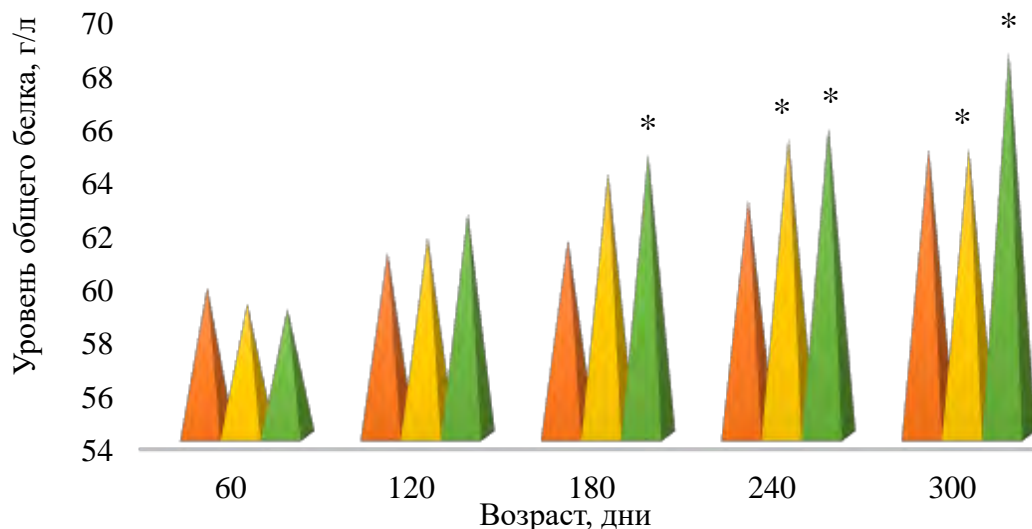


Рис. 1. Характер изменений уровня общего белка:

■ 1; ■ 2; ■ 3 группы

Примечание: * – здесь и далее знак статистически значимых различий между животными контрольной и опытных групп

Такая же закономерность отмечена в динамике уровня альбуминов, который у исследуемых животных на протяжении периодов доращивания и откорма повышался от $21,1 \pm 0,34–22,8 \pm 0,24$ до $25,7 \pm 0,27–27,9 \pm 0,25$ г/л. Показано, что опытные боровки в 240-, 300-дневном (воднит) и 180-, 240-, 300-дневном (шатрашанит) возрасте достоверно превышали контрольные значения. Установлено, что у подопытных боровков, начиная с 60-дневного и до 180-дневного возраста, активность перекисного окисления липидов сыворотки крови возрастала ($18,4 \pm 0,20–19,0 \pm 0,24$ против $19,3 \pm 0,34–19,8 \pm 0,37$ mV), а затем уменьшалась к их 300-дневному возрасту до $17,7 \pm 0,20–18,8 \pm 0,21$ mV без достоверного различия в межгрупповом сравнении.

Совершенно другая закономерность выявлена в характере колебаний активности антиоксидантной системы, которая у свиной сопоставляемых групп с возрастом зигзагообразно нарастала ($2,38 \pm 0,18–2,45 \pm 0,20$ против $2,68 \pm 0,44–3,25 \pm 0,88$ mV/c). Необходимо обозначить,

что боровки третьей группы в конце периодов доразивания и откорма превосходили животных контрольной группы по исследуемому фактору липидного метаболизма на 17,5–23,5% ($P < 0,05-0,01$).

Показано, что у интактных боровков по мере роста и развития активность фермента пероксидаза в плазме крови волнообразно понижалась ($34,2 \pm 1,36$ против $34,2 \pm 1,43$ у.е.), а у свиной опытных групп постоянно уменьшалась ($34,0 \pm 1,71-34,8 \pm 1,66$ против $31,6 \pm 1,33 - 33,6 \pm 1,23$ у.е.), которая во все периоды наблюдений у опытных животных, особенно в третьей группе, была ниже, чем в контроле ($P > 0,05$).

Показано, что динамика уровня щелочной фосфатазы соответствовала характеру колебаний активности фермента пероксидазы. Так, концентрация исследуемого фермента в кровяной сыворотке подопытных животных усиливалась в начале периода доразивания от $2,38 \pm 0,22-2,45 \pm 0,19$ до $2,74 \pm 0,18-2,81 \pm 0,12$ ммоль/ч·л, а в дальнейшем медленно уменьшалась к 300-дневному возрасту до $1,72 \pm 0,15-2,02 \pm 0,17$ ммоль/ч·л ($P > 0,05$). Аналогичную закономерность имела динамика уровня кислотной емкости, который у подопытных свиней значительно увеличивался от 60- до 120-дневного возраста ($270,0 \pm 6,34-274,0 \pm 4,23$ против $345,0 \pm 10,10-358,6 \pm 16,17$ мг/%) с последующим волнообразным снижением к концу заключительного откорма ($260,0 \pm 6,72-300,0 \pm 6,72$ мг/%). На 300-день и 240-, 300-й день жизни опытные боровки при скармливании кормовых добавок соответственно воднит и шатрашанит статистически значимо превышали животных интактной группы по исследуемому параметру.

Выявлено (рисунок 2), что в крови животных сравниваемых групп содержание глюкозы постепенно усиливалось от начала наблюдений до их завершения ($3,64 \pm 0,21-3,65 \pm 0,23$ против $4,32 \pm 0,37-4,67 \pm 0,32$ ммоль/л). Следует подчеркнуть, что изучаемый биохимический параметр у 300-дневных (2 группа) и 120-, 300-дневных (3 группа) боровков был выше соответственно на 7,0–7,8% в сравнении с контрольными значениями ($P < 0,05$).

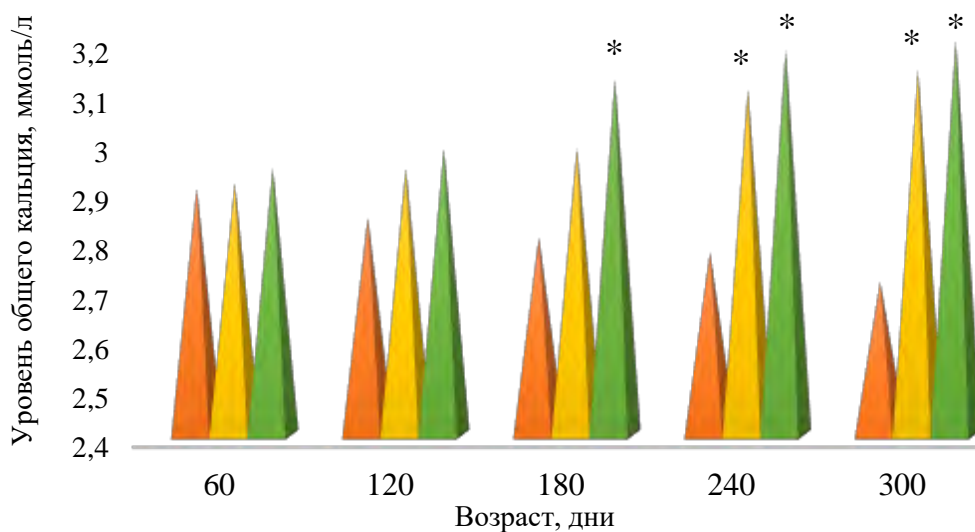


Рис. 2. Характер изменений уровня общего кальция:

■ 1; ■ 2; ■ 3 группы

Следует отметить, что на протяжении исследований уровень общего кальция у контрольных боровков медленно понижался от $2,90 \pm 0,15$ до $2,71 \pm 0,07$ ммоль/л, который у сверстников опытной группы зигзагообразно повышался ($2,94 \pm 0,10-2,96 \pm 0,10$ против $3,14 \pm 0,12-3,20 \pm 0,14$ ммоль/л). Причем боровки второй и третьей групп по уровню этого биохимического параметра достоверно превосходили интактных сверстников в течение наблюдений, начиная соответственно с 240- и 180-дневного возраста.

Практически такой же закономерностью характеризовалось возрастное изменение содержания неорганического фосфора в кровяной сыворотке. Так, показано, что боровки 240-,

300-дневного возраста второй (воднит) и 180-, 240-, 300-дневного возраста третьей (шатрашанит) групп заметно превышали интактных животных по исследуемому фактору ($P < 0,05$).

Из анализа постнатального характера колебаний иммунологического профиля вытекает, что концентрация γ -глобулинов неизменно увеличивалась в связи с взрослением животных изучаемых групп ($15,9 \pm 0,25$ – $16,4 \pm 0,40$ против $17,4 \pm 0,29$ – $18,6 \pm 0,33$ г/л). Следует обозначить, что боровки третьей группы на 180-, 240- и 300-й день жизни достоверно превышали по исследуемому параметру контрольных сверстников.

Динамика содержания иммуноглобулинов всецело соответствовала характеру колебаний таковой γ -глобулинов. Так, уровень анализируемого иммунокомпетентного фактора у исследуемых свиней умеренно повышался с возрастом от $10,8 \pm 0,21$ – $11,0 \pm 0,29$ до $12,3 \pm 0,19$ – $13,5 \pm 0,27$ мг/мл с достоверным превышением у боровков третьей группы, содержащихся при скармливании шатрашанита, в конце периодов дорастивания и откорма (240- и 300-дневный возраст).

Таким образом, содержание боровков с применением естественных кормовых добавок воднит и шатрашанит с учетом биогеохимической специфичности агропочвенной зоны юго-восточного Закамья Республики Татарстан сопровождалось положительным воздействием на возрастную изменчивость гематологического, биохимического и иммунологического профилей организма. Причем иммунофизиологический эффект был рельефнее при скармливании продуктивным животным шатрашанита, нежели воднита.

Список литературы

- [1] Калашников А. П., Фисинин В. И., Щеглова В. В. и соавт. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. М., 2003. 456 с.
- [2] Кочиш И. И., Шуканов Р.А. Коррекция ростовых и иммунных процессов у боровков с учетом биогеохимической специфичности региона, *Ветеринария и кормление*, № 3 (2016) С. 10-12.
- [3] Лежнина М.Н. Максимов В.И., Шуканов А.А. и соавт. Физиолого-зооигиеническая оценка продуктивности свиней в локальной агропочвенной зоне региона, *Международный научно-исследовательский журнал*, № 06(60), Ч. 2 (2017) С. 39 – 41.
- [4] Пермяков А. Г. Актуальные инновационные решения в свиноводстве, *Перспективное свиноводство: теория и практика*, № 2 (2012) С.16–17.
- [5] Шуканов Р. А., Боряев Г. И., Шуканов А. А., Лежнина М. Н., Григорьев С. Г. Эколого-экономические аспекты применения в свиноводстве кормовых добавок и биопрепаратов, *Нива Поволжья*, № 3 (40) (2016) С. 81–87.

**МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ОНКОЗАБОЛЕВАНИЙ
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЛЕТУЧИХ МЕТАБОЛИТОВ МОЧИ****Р.Р. Фурина¹, Е.А. Голодюк¹, С.А. Чуркина², М.О. Гремякина²,
А.А. Роженцов², Н.Н. Митракова¹**

¹ГБУ РМЭ «Республиканская клиническая больница». Адрес: ул. Осипенко, 33,
г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, 424030

²ФГБОУ ВПО «Государственный Поволжский технический университет». Адрес:
пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, 424000

E-mail: endomitrakova@mail.ru

Во всем мире проводятся многочисленные исследования по поиску онкомаркеров. Большие надежды возлагаются на молекулярную биологию, активно развивающуюся в последнее время. Расшифровка генома человека привела к возникновению ряда научных направлений принципиально нового характера, получивших собирательное название «пост-геномные технологии». К ним относятся: геномика, транскриптомика, протеомика и метаболомика [1,2].

На метаболомику возлагаются большие надежды в поиске биомаркеров заболеваний, и в первую очередь онкологических. В то время как данные об экспрессии генов и данные протеомного анализа не раскрывают полностью всего, что происходит в клетке, метаболитические профили могут дать мгновенный снимок – картину физиологических процессов в клетке [1, 3, 4, 5, 6].

Исследования метаболитического профиля выполняются, как правило, с использованием гибридного метода анализа – сочетания газовой (ГХ) или жидкостной (ЖХ) хроматографии и масс-спектрометрии (МС) или спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР-спектроскопия). Нами была использована газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием.

Газовая хроматография – хроматография, в которой подвижная фаза находится в состоянии газа (или пара) – инертный газ (газ-носитель). Неподвижной фазой (НФ) является высокомолекулярная жидкость, фиксированная на пористый носитель или на стенки длинной капиллярной трубки – колонки. Компоненты разделяемой смеси перемещаются по хроматографической колонке с потоком газа-носителя. По мере движения разделяемая смесь многократно распределяется между газом-носителем и нелетучей неподвижной жидкой фазой. Масс-спектрометрический Детектор – устройство, предназначенное для обнаружения в потоке газа-носителя анализируемых веществ по какому-либо физико-химическому свойству. Отклик осуществляется за счет преобразования свойств в электрический сигнал. В масс-спектрометрическом детекторе компоненты разделяются на ионы и регистрируются, образуя масс-спектр [2,7].

Основные характеристики ГХ-МС, примененной в анализе:

- Газовый хроматограф Хроматэк «Кристалл 5000.1».
- Капиллярная колонка SolGel-Wax, 60 м x 0.32 мм x 0.5 мкм.
- Газ-носитель гелий, постоянный расход 1.1 см³/мин.
- Температура колонки 40 °С (6 мин), 3°С/мин до 180 °С.
- Время проведения анализа – 75мин.
- Масс-спектрометрический детектор Хроматэк.
- Температура ионного источника 200 °С.

Немаловажным в хроматографии является пробоподготовка. В качестве пробоподготовки мы использовали метод ТФМЭ. Метод основан на сорбции компонентов газовой фазы образца на нить с полимерным покрытием и ее последующей термической десорбцией в

предварительно нагретом инжекторе газового хроматографа. Эта методика имеет несколько преимуществ перед традиционными методами пробоподготовки: ТФМЭ быстра, удобна, высоко чувствительна, свободна от растворителя [2,8].

Графическим результатом хроматографического процесса является хроматограмма. Хроматограммой можно назвать зависимость отклика детектора хроматографа от времени при прохождении элюата через ячейку детектора. Кроме того, данные ГХ-МС можно представить в виде матрицы, в которой строки соответствуют выделенным метаболитам, а колонки – химико-физическими свойствами метаболитов и в 3D-изображении, используемые нами в работе.

Для исследования нами были сформированы группы: здоровые в контрольной группе и больные, страдающие колоректальным раком, раком легкого, раком желудка и пищевода. Здоровые в контрольной группе – из числа добровольцев, были старше 18 лет и не имели никакого ранее диагностированного рака. Больные из групп с онкопатологией были отобраны из числа пациентов Республиканской Клинической Больницы. От каждого пациента получено информированное согласие участвовать в исследовании, и исследование было одобрено Этическим комитетом Больницы.

Наиболее доступным источником информации о метаболизме человека является моча, в частности ее летучие фракции [8, 9, 10, 11]. Много метаболитов встречается в моче почти в тех же самых концентрациях как в плазме. Забор и анализ мочи — стандартная процедура при диспансеризации населения, поэтому выполнение дополнительного анализа не представляет организационных сложностей. Таким образом, относительное обогащение летучими компонентами делает мочу перспективной целью для формирования и анализа метаболического профиля. Для этого выделялись те метаболиты, количество которых более чем на 20% отличались в одной группе по сравнению с любой другой группой. После проведения данной процедуры были составлены предположительные метаболические профили для каждого исследуемого заболевания и для контрольной группы, представленные в таблице 1.

В последнее время у нас появилась возможность проводить параллельно анализ мочи и анализ биоптата пациента для сравнительного анализа метаболомического профиля исследуемой патологии. Анализ состава тканей базируется на изменении химического состава тканей при возникновении патологий. Кроме того, нами была рассмотрена возможность формирования метаболических профилей онкологических заболеваний непосредственно по 3D-изображениям хромато-масс-спектрограмм летучих метаболитов мочи [12]. Процедура формирования изображений хромато-масс-спектрограмм, соответствующих метаболическим профилям различных онкологических заболеваний, состоит из нескольких этапов.

Исходное изображение хромато-масс-спектрограммы содержит помимо полезной информации и значительную долю помех, обусловленных попаданием в детектор материалов внутреннего покрытия колонки, наличием примесей в газе-носителе и т.п. На изображении они проявляются в виде горизонтальных линий, наблюдаемых на всем протяжении хромато-масс-спектрограммы. Кроме того, возможен дрейф базовой линии хроматограммы, что может проявляться в виде изменения средней яркости изображения с течением времени. Для устранения указанных помех на первом этапе выполняется фильтрация изображения. На следующем этапе с целью выявления наиболее характерных для данного пациента метаболитов проводится пороговая обработка полученного изображения.

Для формирования метаболического профиля определенной формы онкологического заболевания в соответствии с приведенной методикой обрабатываются все изображения хромато-масс-спектрограмм пациентов, принадлежащих к той или иной группе больных, а также здоровых людей из контрольной группы. Далее формируется групповое изображение, содержащее информацию обо всех метаболитах, присутствующих у пациентов данной группы.

Таблица 1

Метаболические профили различных групп

| Контрольная группа | Рак желудка | Рак легкого | Рак кишечника |
|--|--|--|--|
| Benzene, 4-ethenyl-1,2-dimethyl- | 2,6-Bis(1,1-di-methylethyl)-4-(1oxopropyl)phenol | 2H-1-Benzopyran, 3,4,4a,5,6,8a-hexahydro-2,5,5,8a-tetramethyl-(2 α ,4 α ,8 α)- | Furan, 2,4-dimethyl- |
| Bicyclo3.1.0hex-2-ene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)- | 7-Octen-2-ol, 2,6-dimethyl- | Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethyl- | Naphthalene, 1,6,7-trimethyl- |
| 1,2-Bis(trimethylsilyl)-4,5-dimethylcyclohexa-1,4-diene | 5-Hepten-2-one, 6-methyl- | 2-Buten-1-one, 1-(2,6,6-trimethyl-1,3-cyclohexadien-1-yl)-, (E)- | 3-Cyclohexene-1-methanol, α , α ,4-trimethyl-, (S)- |
| Acetamide | 2-Cyclohexen-1-one, 3-(2,3,4,9-tetrahydro-1H-pyrido3,4-bindol-1-yl)methyl- | 1,5,5-Trimethyl-6-(3-methylbuta-1,3-dienyl)-cyclohexene | β -Pinene |
| Phenyl-pentamethyl-disiloxane | 2-Fluorobenzoic acid, 4-nitrophenyl ester | Methylene Chloride | 3-Buten-2-ol, 2-methyl- |
| Ethane, 1,2-dichloro- | 6-Methyl-6-(5-methylfuran-2-yl)heptan-2-one | 2-Butenal, 3-methyl- | 1,3-Cyclopentadiene, 5-(1-methyl-ethylidene)- |
| Phosphorothioic acid, O-(2,6-dichloro-4-methylphenyl) O,O-dimethyl ester | Furan, 2-methyl-5-(methylthio)- | 2-Hexanone, 5-methyl- | 1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (E)- |
| Naphthalene, 1,2-dihydro-4-methyl- | Ethanol | Phenol, 3,5-dimethyl- | Hexanoic acid, 2-methyl- |
| Methyl Isobutyl Ketone | Ethanol, 2-phenoxy- | (R)-(+)-3-Methylcyclopentanone | Benzene, 3-(2-cyclohexylethyl)-6-cyclopentylhexyl- |
| Butanoic acid, 2-methyl- | Glycine, N-4-(trimethylsilyl)oxybenzoyl-, methyl ester | α -Methylstyrene | Pentanoic acid, 2,2,4-trimethyl-3-carboxyisopropyl, isobutyl ester |
| o-Xylene | Naphthalene, 1-methyl-7-(1-methylethyl)- | Glycine, N-phenyl-, ethyl ester | 1-Methyl-1-(2-hydroxyethyl)-1-silacyclobutane |
| Phenol, 4-chloro-2,6-bis(1,1-dimethylethyl)- | Acetic acid, 2-ethylhexyl ester | 5,7a-Didehydroindicine pertrimethylsilyl ether | Vanillin, tertbutyldimethylsilyl ether |
| 1-Boraindane, 3-methyl-1-1-(trimethylsilyl)-2,4-cyclopentadien-3-yl- | 1H-Pyrazole, 4,5-dihydro-5,5-dimethyl-4-isopropylidene- | 2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl- | Acetamide, N,N'-ethylenebis(N-nitro- |
| 3-Ethylcyclopentanone | 1H-Indene, 2,3-dihydro-1,1,3-trimethyl-3-phenyl- | Ethanone, 1-(2-hydroxyphenyl)- | Benzene, (dibromomethyl)- |
| Benzene, 1,3,5-trimethyl- | 3-tert-Butylsulfanyl-3-fluoro-2-trifluoromethyl-acrylic acid methyl ester | | |
| 1,1,6,8-Tetramethyl-1,2-dihydro-naphthalene | Benzoic acid, 2-ethylhexyl ester | | |
| Benzonitrile | 1H-Inden-1-one, 2,3-dihydro-3,3,5,6-tetramethyl- | | |
| Ethylbenzene | Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-2-octadecyl- | | |
| 2-Nonanone | Naphthalene, 2,3,6-trimethyl- | | |
| 1-Bromo2-methyl-2propanol | | | |
| 4-Methyl-2,4-bis(4'-trimethylsilyloxyphenyl)pentene-1 | | | |
| Ethanedioic acid, bis(trimethylsilyl) ester | | | |
| 2,3-Pentanedione | | | |
| Benzene, 3,5-dimethyl-1-(phenylmethyl)- | | | |
| 1-(1-Trimethylsilyloxyethenyl)-3-trimethylsiloxy-benzene | | | |
| 3,5-Dihydroxybenzamide | | | |
| 15-Crown-5 | | | |

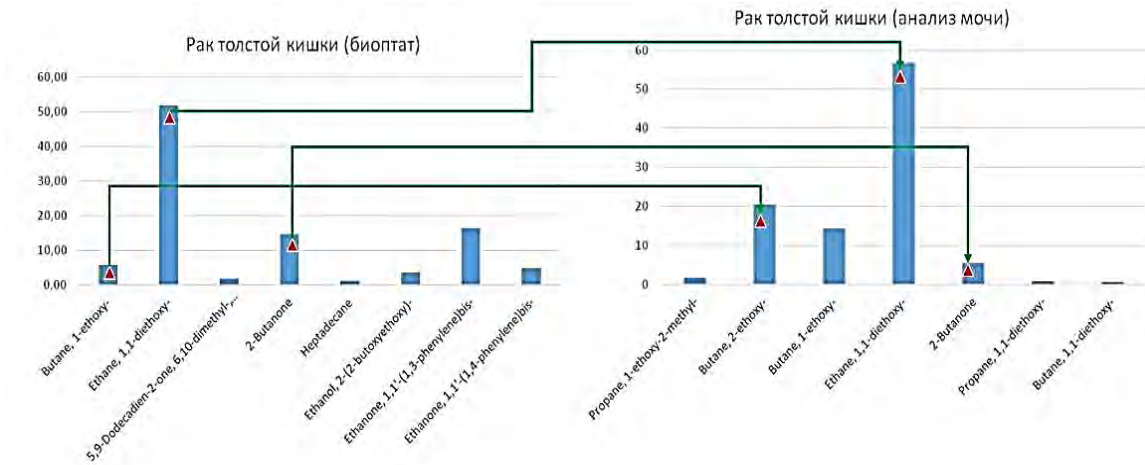


Рис. 1. Сравнительный анализ метаболитов в биоптате и моче больного колоректальным раком.

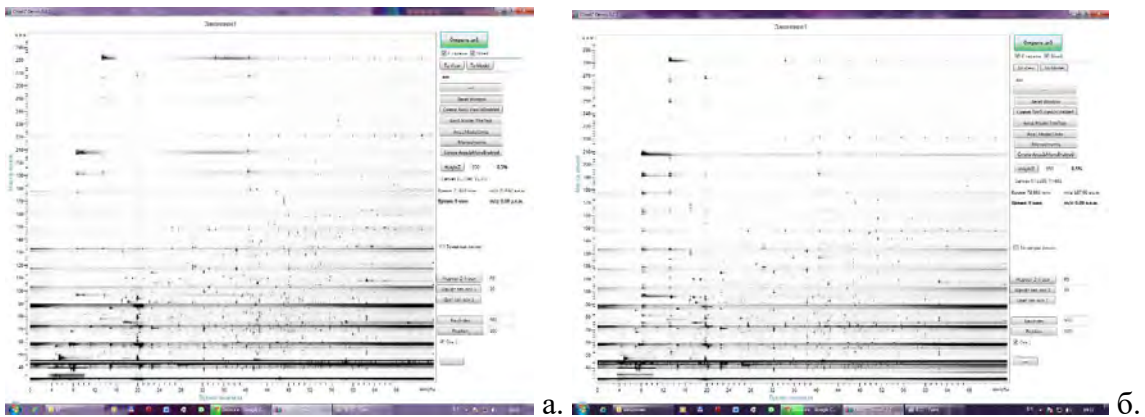


Рис. 2. Изображения 3D – спектрограмм: а) контрольная группа, б) колоректальный рак.

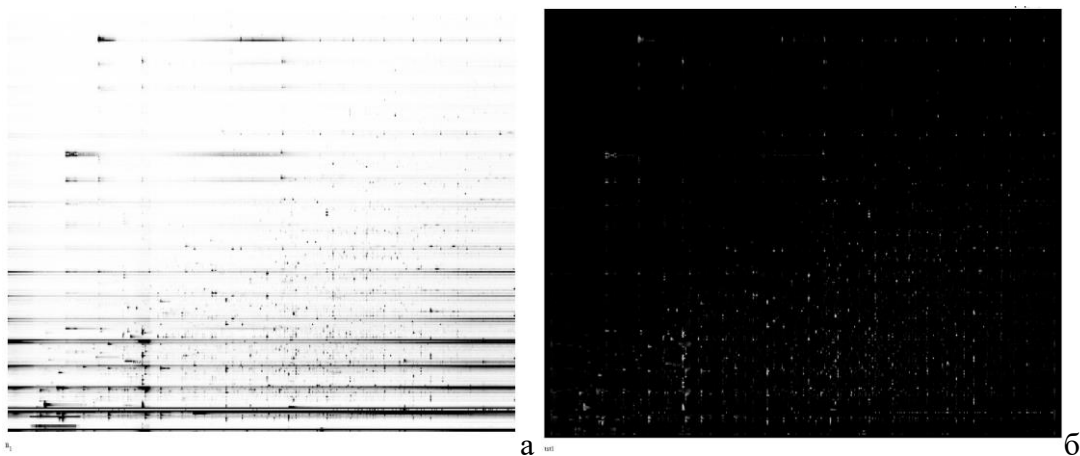


Рис. 3. Пример удаления помех из 3D-изображения хромато-масс-спектрограммы: а) исходное изображение, б) изображение после удаления помех.

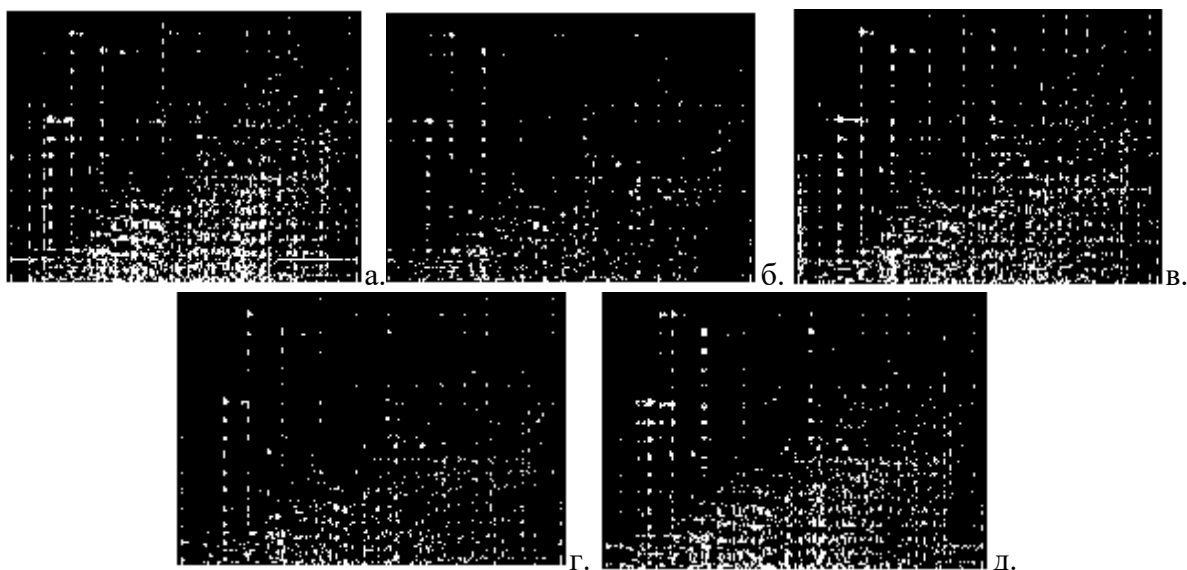


Рис. 4. Групповые изображения метаболитов:
а) контрольная группа, б) рак кишечника, в) рак легкого, г) рак пищевода, д) рак желудка.

На следующем этапе обработки в каждом групповом изображении выявляются уникальные элементы и формируются эталонное изображение метаболического профиля. Таким образом, в результирующее изображение данной группы пациентов попадают только те метаболиты, которые не встречаются в изображениях других групп. Приведены результаты формирования изображений хромато-масс-спектрограмм эталонных метаболических профилей.

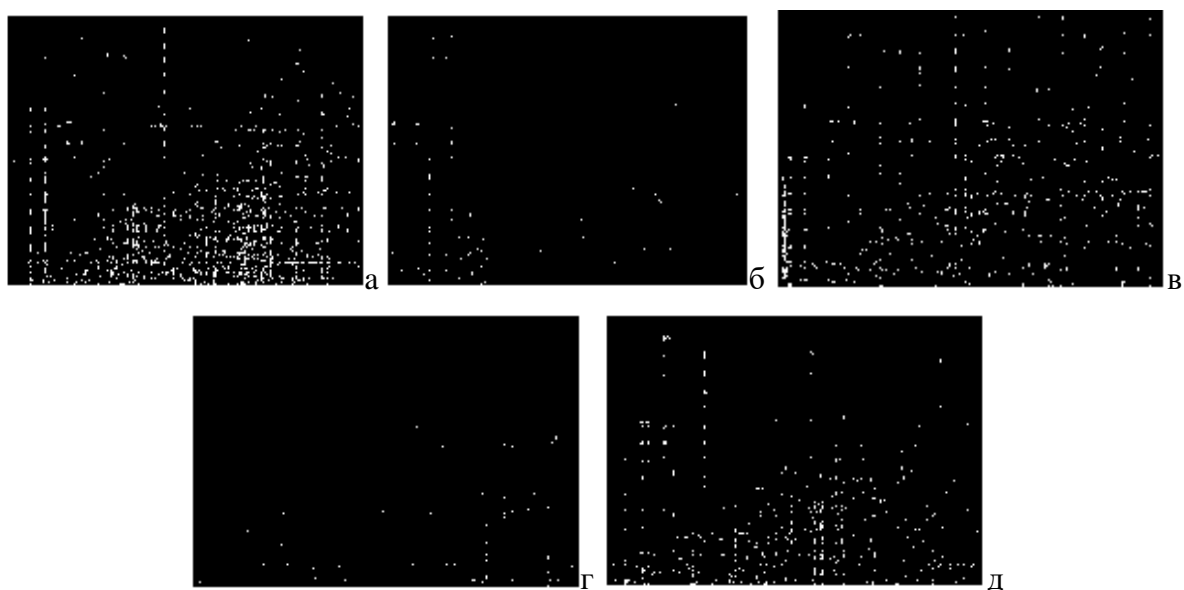


Рис. 5. Эталонные изображения метаболических профилей:
а) контрольная группа, б) рак кишечника, в) рак легкого, г) рак пищевода, д) рак желудка.

Для оценки возможности идентификации различных форм рака по данным исследования состава летучих метаболитов мочи был проведен эксперимент, в ходе которого статистическими методами анализировалась эффективность распознавания различных форм онкологических заболеваний. Для этого выполняли сравнительный анализ изображения хромато-масс-спектрограммы каждого из пациентов с изображениями эталонных хромато-масс-

спектрограмм. В качестве результата распознавания принимали эталон, для которого была получена наибольшая мера сходства.

Таблица 2

Оценка эффективности метода

| Группы | Контрольная группа | Колоректальный рак | Рак легкого | Рак пищевода | Рак желудка | Правильный диагноз, % |
|--------------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------|-------------|-----------------------|
| Контрольная группа | 29 | 0 | 3 | 0 | 0 | 90,625 |
| Колоректальный рак | 0 | 9 | 2 | 1 | 0 | 75 |
| Рак легкого | 0 | 0 | 28 | 1 | 0 | 96,55 |
| Рак пищевода | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 100 |
| Рак желудка | 0 | 0 | 0 | 1 | 26 | 96,296 |

Согласно оценке полученных результатов, чувствительность метода на рассмотренной выборке составляет 92,12%, специфичность — 90,62%, вероятность ошибок первого рода — 0, вероятность ошибок второго рода — 9,38%.

Полученные результаты могут послужить основой для проведения исследований в области диагностики разных форм онкологических заболеваний, а также использоваться в клинической практике для первичной диагностики онкологических заболеваний.

Список литературы

- [1] P.A. Oliveira, A. Colaco, H.R. Chaves et al. Chemical carcinogenesis. *An Acad Bras Cienc.* **79** (2007).
- [2] Р.Р. Фурина, Н.Н. Митракова, В.Л. Рыжков, И.К. Сафиуллин, Метаболомические исследования в медицине *Казанский медицинский журнал.* Т. **XCIV**, №1 (2014).
- [3] G.J. Patti, O. Yanes, G. Siuzdak. Innovation: Metabolomics: the apogee of the omics trilogy. *Nat. Rev. Mol. Cell. Biol.* Vol. **13** (2012).
- [4] D. Zimmermann, M. Hartmann, M.P. Moyer et al. Determination of volatile products of human colon cell line metabolism by GC/MS analysis. *Metabolomics.* Vol. **31** (2007).
- [5] M. Phillips, R.N. Cataneo, A.R.C. Cummin et al. Detection of lung cancer with volatile markers in the breath. *Chest.* **123**(6) (2003).
- [6] M. Phillips, K. Gleeson, J.M. Hughes et al. Volatile organic compounds in breath as markers of lung cancer: a cross-sectional study. *Lancet* **353** (1999).
- [7] Н.И. Царев, В.И. Царев, И.Б. Катраков, *Практическая газовая хроматография.* – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та (2000).
- [8] C.L. Silva, M. Passos, J.S. Camara. Investigation of urinary volatile organic metabolites as potential cancer biomarkers by solid-phase microextraction in combination with gas chromatography-mass spectrometry. *British Journal of Cancer.* Vol. **105** (2011).
- [9] H.M. Woo, K.M. Kim, M.H. Choi et al. Mass spectrometry based metabolomic approaches in urinary biomarker study of women's cancers. *Clin Chim Acta.* 400(1-2) (2009).
- [10] K.A. Kouremenos, J. Pitt, P.J. Marriott, Metabolic profiling of infant urine using comprehensive two-dimensional gas chromatography: Application to the diagnosis of organic acidurias and biomarker discovery. *Journal of Chromatography A.* Vol. **1217** (2010).
- [11] L. Pauling, A.B. Robinson, R. Teranishi, P. Cary, Quantitative analysis of urine vapor and breath by gas-liquid partition chromatography. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* Vol. **68**(1971).
- [12] А.А. Роженцов, А.Е. Коптина, А.А. Митраков, Т. Шарипова, И. Цапаев, В.Л. Рыжков, К.А. Лычагин, Р.Р. Фурина, Н.Н. Митракова, Метод диагностики онкологических заболеваний на основе анализа изображений хромато-масс-спектрограмм летучих метаболитов мочи. *СТМ*, том **6**, №4 (2014).

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 547.512+547.77

СИНТЕЗЫ ПРОИЗВОДНЫХ ПЕРМЕТРИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА
ОСНОВЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ S- И N-НУКЛЕОФИЛОВ¹О. А. Колямшин, ²Ю. Н. Митрасов, ²Н. А. Чигарова, О. В. Кондратьева¹Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова
Московский пр., 15, г. Чебоксары 428015, Чувашская Республика, Россия
E-mail: oleg.kolymshin@yandex.ru²Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева
Ул. К. Маркса, 38, г. Чебоксары 428000, Чувашская Республика, Россия

Взаимодействием хлорангидрида перметриновой кислоты с 2-меркаптобензоксазолом, 2-меркаптобензимидазолом или 2-меркаптоимидазолином в присутствии триэтиламина или гидроксида натрия в среде толуола или диметилформамида синтезированы соответствующие гетероциклические тиоэфиры перметриновой кислоты, являющиеся потенциальными биологически активными веществами.

Ключевые слова. 2-Меркаптобензоксазол, 2-меркаптобензимидазол, 2-меркаптоимидазолин, хлорангидрид перметриновой кислоты.

The interaction of the acid chloride permethrinum acid with 2-mercaptobenzoxazole, 2-mercaptobenzimidazole or 2-mercaptoimidazoline in the presence of triethylamine or sodium hydroxide in the environment of toluene or dimethylformamide synthesized the corresponding heterocyclic thioethers permethrinum acids, which are potential biologically active substances.

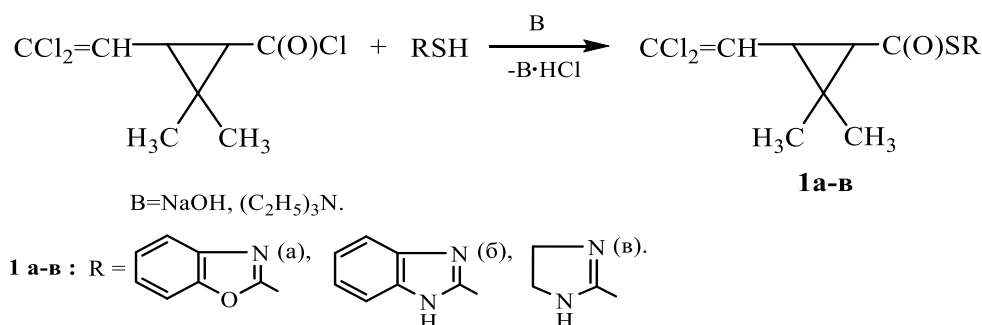
Keywords. 2-Mercaptobenzoxazole, 2-mercaptobenzimidazole, 2-mercaptoimidazoline, the acid chloride permethrinum acid.

1. Введение. Эфиры 3-(2,2-дигалогеновинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоновых кислот являются синтетическими аналогами пиретринов и относятся к пиретроидам второго поколения. Они, по сравнению, с природными пиретринами обладают гораздо более высокой инсектицидной активностью, медленнее дезактивируются в организме насекомых, обладают достаточно высокой фотостабильностью. Поэтому они представляют собой мощные средства защиты от различных членистоногих и широко применяются в сельском хозяйстве и быту. Наиболее известными из них являются 3-феноксипенциловый (перметрин) и α -циано-3-феноксипенциловый (циперметрин) эфиры 3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоновой (перметриновой) кислоты, а также (*S*)-3-фенокси- α -цианобенциловый эфир (1*R*)-*цис*-3-(2,2-дибромвинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоновой кислоты (дельтаметрин) [1-3]. К недостаткам этих пиретроидов относится токсичность для пчел и рыб, а также то, что длительное применение пиретроидов вызывает резистентность у насекомых, в том числе – кросс-резистентность. Поэтому необходима смена препарата или замена его пестицидами из других химических групп. В связи с этим представляет повышенный интерес разработка методов синтеза новых типов производных перметриновой кислоты, содержащих биогенные группы. В частности, на основе реакций α -гидроксифосфонатов с хлорангидридом перметриновой кислоты нами был разработан метод получения фосфорилированных эфиров перметриновой кислоты [4]. Однако, исследование пестицидной активности показало, что они обладают невысокой или средней фунгицидной и гербицидной активностью и не проявляют инсектоакарицидного действия [5]. В продолжение наших работ повышенный интерес представляло вовлечение в эту реакцию ненасыщенных азотсодержащих гетероциклов.

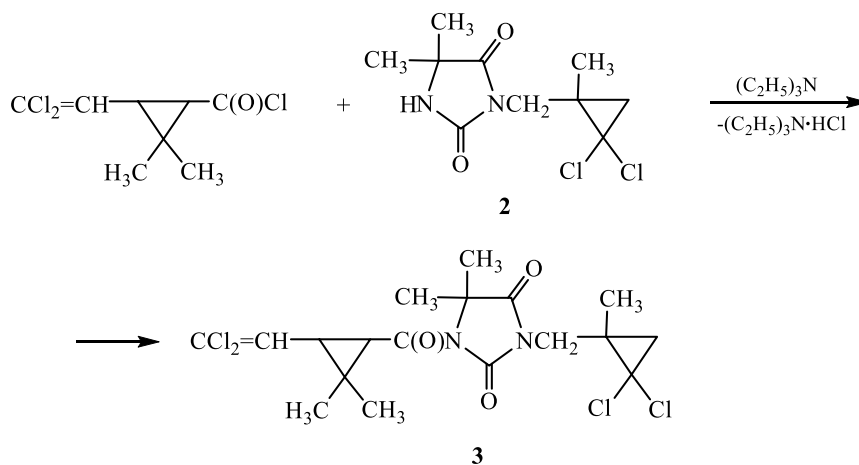
2. Материал и методы исследования. В качестве исходных соединений были использованы хлорангидрид перметриновой кислоты, 2-меркаптобензоксазол, 2-меркаптобензимидазол,

2-меркаптоимидазолин и 3-(1-метил-2,2-дихлорциклопропилметил)-5,5-гидантоин. Выбор нуклеофилов был обусловлен тем, что они входят в состав биологически активных природных соединений, фармацевтических препаратов, пестицидов и др., которые нашли широкое применение в сельском хозяйстве, медицине и промышленности [6]. Например, N-рибозилгликозид бензимидазола является аксиальным лигандом координирующим кобальт в витамине B₁₂, бензоксазол вырабатывается растениями для защиты от болезней и вредителей, а 2-арилзамещённые бензоксазолы могут использоваться как гербициды. Производные имидазолинов и гидантоинов применяются как лекарственные препараты, фунгициды, ускорители вулканизации, катионные поверхностно-активные вещества для обработки тканей и волокон.

3. Результаты и их обсуждение. Нами установлено, что взаимодействие хлорангирида перметриновой кислоты с 2-меркаптобензоксазолом, 2-меркаптобензимидазолом или 2-меркаптоимидазолином в присутствии триэтиламина или гидроксида натрия в среде толуола или диметилформамида приводит к образованию соответствующих гетероциклических тиоэфиров перметриновой кислоты (**1а-в**), которые по аналогии с гем-дихлорциклопропилметилтиозамещёнными производными бензимидазола и бензоксазола [7], могут представлять повышенный интерес в качестве потенциальных биологически активных веществ:



При взаимодействии хлорангирида перметриновой кислоты с 3-(1-метил-2,2-дихлорциклопропил)метил-5,5-диметилгидантоином (**2**) в присутствии триэтиламина был получен соответствующий амид перметриновой кислоты (**3**), который содержит в своем составе два циклопропановых кольца с различными заместителями:



Тиоэфиры (**1а-в**) и амид (**3**) представляют собой бесцветные кристаллические вещества или густые маслянистые жидкости, нерастворимые в воде и растворимые в органических растворителях. Чистоту образующихся соединений подтверждали данными тонкослойной хромато-

графии (ТСХ), состав – данными элементного анализа, а строение – методом ИК-спектроскопии. В ИК-спектрах содержатся полосы поглощения, характерные для карбонильной группы (1690-1780 см^{-1}), двойной C=C-связи (1605-1630 см^{-1}), циклопропанового кольца (3080-3085 см^{-1}), гетероцикла (3050, 1660-1680, 1503 см^{-1}), N–H (3165-3200 см^{-1}) и C–Cl связей (750-785 см^{-1}).

4. Экспериментальная часть. ИК спектры получены на спектрометре ФСМ-1202 в тонком слое. Анализ методом ТСХ проводили на пластинах *Sorbfil* ПТСХ-П-В, подвижная фаза – толуол или хлороформ, проявитель – пары йода. Элементный анализ осуществили на анализаторе фирмы *Parkin Elmer* 2400 CHN. 3-(1-Метил-2,2-дихлорциклопропил)метил-5,5-диметилгидантоин был синтезирован по методике, описанной в работе [8].

Бензоксазол-2-илтио[3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметил]циклопропанкарбоксилат (1а). К суспензии 3.02 г (0.02 моль) 2-меркаптобензоксазола в 20 мл толуола, в присутствии 2 г (0.02 моль) триэтиламина при комнатной температуре прибавляли по каплям 4.55 г (0.02 моль) хлорангидрида перметриновой кислоты, перемешивали при комнатной температуре 4 ч и при 45-55°C – 1 ч. Реакционную массу последовательно промывали водой, 5% раствором гидрокарбоната натрия, сушили сульфатом магния. Толуольный раствор пропускали через колонку с оксидом алюминия (III) длиной 1,5 см и упаривали в вакууме. Остаток представляет собой маслянистую жидкость, которая при охлаждении быстро кристаллизуется. После перекристаллизации из гексана получили целевой тиоэфир (**1а**) в виде бесцветного мелкокристаллического порошка массой 2.8 г (41%), т. пл. 126-128°C (гексан). R_f (толуол) 0.69. ИК-спектр (ν , см^{-1}): 3080 (C–H Δ), 3050 (C–H_{аром.}), 1690 (C=O), 1660 (C=N), 1610 (C=C), 1580 (C–C_{аром.}), 1250, 1125 (C–O), 760 (CCl₂), 630 (C–S). Найдено, %: С 52.71, Н 3.79, Cl 20.68, N 3.99, S 9.28. C₁₅H₁₃Cl₂NO₂S. Вычислено, %: С 52.64, Н 3.83, Cl 20.72, N 4.09, S 9.37.

Бензимидазол-2-илтио[3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-иметил]циклопропанкарбоксилат (1б). К раствору 3.95 г (0.026 моль) бензимидазол-2-тиола в 20 мл диметилформамида при 25°C прибавили 1.48 г (0.026 моль) твердого гидроксида калия. При этом температура смеси постепенно повысилась до 60°C. Затем к образовавшейся суспензии бензимидазол-2-тиолята калия при температуре 10°C прибавляли по каплям 6 г (0.026 моль) хлорангидрида перметриновой кислоты. Образовавшийся желтый раствор перемешивали при комнатной температуре в течение 2 ч и при 60-70°C – 1 ч. Затем к реакционной смеси добавили воду. Выделившийся желеобразный осадок растворили в бензоле, отфильтровали от осадка, фильтрат упаривали в вакууме и получили тиоэфир (**1б**) в виде густой желтой жидкости, которая при комнатной температуре постепенно закристаллизовалась. Выход составил 5.6 г (57%), т. пл. 80-83°C. R_f (хлороформ) 0.23. ИК-спектр (ν , см^{-1}): 3165 уш. (N–H), 3085 (C–H Δ), 3050 (C–H_{аром.}), 1695 (C=O), 1680 (C=N), 1610 (C=C), 1503 (C–C_{аром.}), 750 (C–Cl), 720 (δ C–H), 605 (C–S). Найдено, %: С 52.70, Н 4.09, Cl 20.88, N 8.11, S 9.43. C₁₅H₁₄Cl₂N₂OS. Вычислено, %: С 52.79, Н 4.13, Cl 20.78, N 8.21, S 9.39.

Имидазолин-2-илтио[3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметил]циклопропанкарбоксилат (1в). Эфир (**1в**) синтезировали аналогично вышеописанному примеру. Выделение целевого продукта проводили следующим образом: после размешивания реакционной массы с водой, выделившееся масло отделяли, растворяли в толуоле и промывали 5% раствором гидрокарбоната натрия. После высушивания безводным сульфатом магния раствор упаривали и получили целевой тиоэфир в виде желтой маслянистой жидкости с выходом 39%. ИК-спектр (ν , см^{-1}): 3200 (N–H), 3070 (C–H), 1705 (C=O), 1680 (C=N), 1605 (C=C), 750 (C–Cl), 650 (C–S). Найдено, %: С 44.96, Н 4.78, Cl 24.05, N 9.45, S 10.83. C₁₁H₁₄Cl₂N₂OS. Вычислено, %: С 45.06, Н 4.81, Cl 24.18, N 9.55, S 10.93.

N-3-{(1-Метил-2,2-дихлорциклопропил)метил]-5,5-диметил-2,4-диоксоимидазол-1-ил}-2,2-диметилциклопропанкарбоксамид (3). Раствор 2.28 г (0.01 моль) хлорангидрида перметриновой кислоты, 2.4 г (0.01 моль) гидантоина (**2**) и 1.01 г (0.01 моль) триэтиламина в 30 мл толуола кипятили с обратным холодильником в течение 6 ч. Затем раствор декантировали с осадка, промыли 5% водным раствором гидрокарбоната натрия, высушивали безводным

сульфатом магния и упаривали в вакууме. Получили 2.3 г (56%) целевого продукта в виде красной маслянистой жидкости. ИК-спектр (ν , см^{-1}): 3085 (C–H), 1780, 1716 (C=O), 1630 (C=C), 1410 (N–CH₂), 785 (CCl₂). Найдено, %: С 47.28, Н 4.82, Cl 31.13, N 6.06. С₁₈Н₂₂Cl₄N₂O₃. Вычислено, %: С 47.39, Н 4.86, Cl 31.08, N 6.14.

Список литературы

1. Н.Н. Мельников, *Пестициды. Химия, технология и применение*, Химия, Москва (1987).
2. А.В. Ткачев, Пиретроидные инсектициды – аналоги природных защитных веществ растений. *Соросовский образовательный журнал*, **8** (2004) С. 56-63.
3. В.Н. Жуленко, М.И. Рабинович, Г.А. Таланов, *Ветеринарная токсикология*, Колос Москва (2001).
4. В.В. Кормачев, О.А. Колямшин, Ю.Н. Митрасов, Е.А. Анисимова, Синтез фосфорсодержащих эфиров 3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоновой кислоты. *Журнал общей химии*, **62** (1992) С. 583-588.
5. Ю.Н. Митрасов, О.А. Колямшин, Е.А. Иванова, Пестицидная активность фосфорилированных эфиров перметриновой кислоты. *Материалы Одиннадцатой международной научной школы «Наука и инновации-2016» ISS «SI-2016»*, Поволжский гос. технол. ун-т, Йошкар-Ола (2016) С. 266-268.
6. В.И. Иванский, *Химия гетероциклических соединений*, Высш. Школа, Москва (1978).
7. О.А. Колямшин, Ю.Н. Митрасов, В.А. Данилов, И.Н. Смолина, Н.И. Кольцов, гем-Дихлорциклопропилзамещенные азотсодержащие гетероциклы. Часть 1. Синтез гем-дихлорциклопропилметилтиозамещенных производных бензимидазола, бензоксазола, 4,6-диметилпиримидина и 1,2,4-триазола. *Бутлеровские сообщения*, **45** (2016) С. 6-10. ROl: jbc-01/16-45-3-6.
8. О.А. Колямшин, Ю.Н. Митрасов, В.В. Кормачев, Гем-дихлорциклопропилзамещенные гидантоины. *Журнал общей химии*, **65** (1995) С. 672-675.

УДК 547.512+547.872

**ГЕМ-ДИХЛОРЦИКЛОПРОПИЛЗАМЕЩЕННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ
ТИОЦИАНУРОВОЙ КИСЛОТЫ****¹О. А. Колямшин, ²Ю. Н. Митрасов, ²Н. А. Чигарова**

¹Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова
Московский пр., 15, г. Чебоксары 428015, Чувашская Республика, Россия
E-mail: oleg.kolymshin@yandex.ru

²Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева
Ул. К. Маркса, 38, г. Чебоксары 428000, Чувашская Республика, Россия

Взаимодействием 1-метил-1-хлорметил-2,2-дихлорциклопропана с тринатриевой солью 1,3,5-триазин-2,4,6-тритиола (тиоциануровой кислоты) в мольных соотношениях 1 – 2 ÷ 3 в среде диметилформамида синтезированы 4,6-бис[(1-метил-2,2-дихлорциклопропил)метилтио]-1,3,5-триазинтиол-2 и 2,4,6-трис[(1-метил-2,2-дихлорциклопропил)метилтио]-1,3,5-триазин соответственно, являющиеся потенциальными биологически активными соединениями.

Ключевые слова: 1,3,5-триазин-2,4,6-тритиол (тиоциануровая кислота), 1-метил-1-хлорметил-2,2-дихлорциклопропан, биологическая активность.

The interaction of 1-methyl-1-chloromethyl-2,2-dichlorocyclopentane with the trisodium salt of 1,3,5-triazine-2,4,6-trithiol (thiocyanuric acid) in molar ratios of 1 – 2 ÷ 3 in the environment of dimethylformamide synthesized 4,6-bis[(1-methyl-2,2-dichlorocyclopropyl)methylthio]-1,3,5-triazinethiol-2 and 2,4,6-tris[(1-methyl-2,2-dichlorocyclopropyl)methylthio]-1,3,5-triazine respectively, as potential biologically active compounds.

Keywords: thiocyanuric acid, 1-methyl-1-chloromethyl-2,2-dichlorocyclopropane, biological activity.

1. Введение. Производные 1,3,5-триазин-2,4,6-тритиола (тиоциануровой кислоты) обладают разнообразными прикладными свойствами. Например, известно применение водорастворимых солей тиоциануровой кислоты [три(диметиламмониевая) соль *симм*-триазин-2,4,6-тритиола и др.] в качестве добавок к электролитам для улучшения качества металлических покрытий, наносимых электролитическим способом [1]. Эффективными антиоксидантами полимерных материалов (полипропилена, резин и др.) являются 2,4,6-(2,6-диметил-4-гидроксibenзилтио)-1,3,5-триазины [2].

Повышенный интерес представляет биологическая активность производных тиоциануровой кислоты. Например, β-триалкиламмониевые эфиры тиоциануровой кислоты обладают курареподобной активностью, более высокой, чем их кислородные аналоги [3]. В качестве лекарственных препаратов исследованы 2,4,6-тримеркаптоизоотиоуреиды, 2,4,6-три[(β-аминоэтил)меркапто]триазины и др. [4]. Перспективным представляется введение в триазинный цикл такой высокобиогенной группы как трехчленный карбоцикл [5], поскольку образующиеся при этом продукты могут представлять интерес в качестве потенциальных биологически активных соединений.

Ранее нами были разработаны методы получения *гем*-дихлорциклопропилметилзамещенных производных бензоксазола, бензимидазола, пиримидина, гидантоинов, ди- и триазолов [6-9]. В продолжении этих работ значительный интерес представляли синтез и изучение свойств *гем*-дихлорциклопропилметилэфиров тиоциануровой кислоты.

2. Материал и методы. В качестве исходных соединений были использованы легкодоступные 1,3,5-триазин-2,4,6-тритиол (тиоциануровая кислота) (1) и 1-метил-1-хлорметил-2,2-дихлорциклопропан (3). Тринатриевая соль 1,3,5-триазин-2,4,6-тритиола (2) была получена взаимодействием избытка спиртового раствора гидроксида натрия с тиоциануровой кислотой.

3. Результаты и их обсуждение. Нами установлено, что тринатриевая соль 1,3,5-триазин-2,4,6-тритиола (3) в среде диметилформамида при температуре 110-120°C реагирует с *гем*-

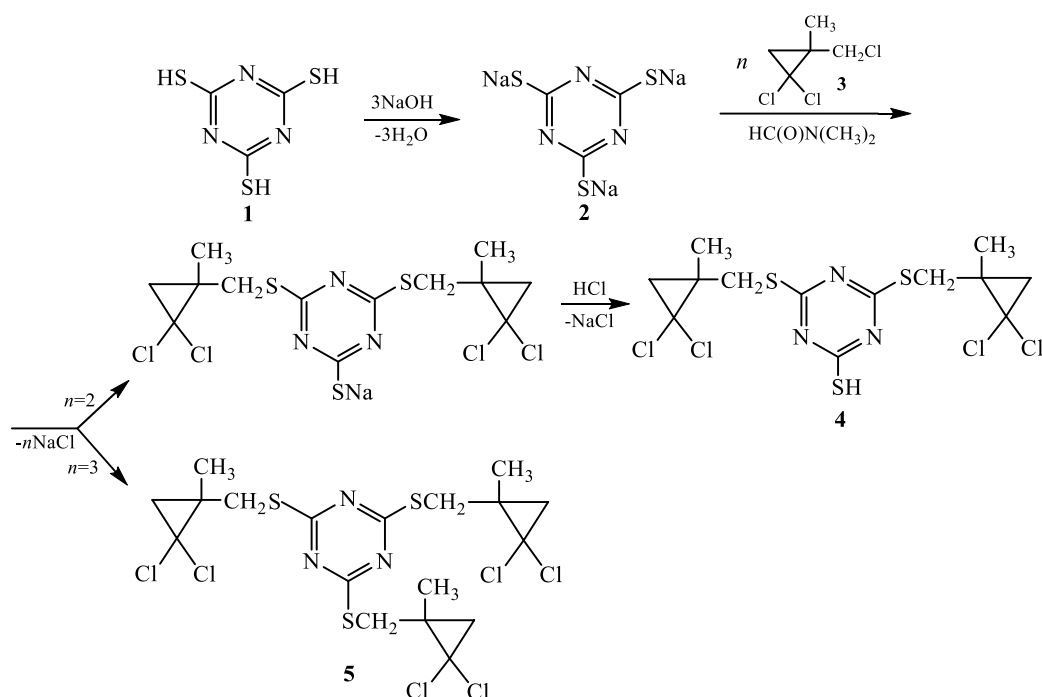
дихлорциклопропаном (3) по более активной хлорметильной группе с образованием (1-метил-2,2-дихлорциклопропил)метиловых эфиров тиоциануровой кислоты. Контроль за протеканием реакции осуществляли по данным тонкослойной хроматографии (ТСХ). Исследование синтезированных соединений методами ИК-спектроскопии и элементного анализа показало, что строение конечных продуктов зависит от мольного соотношения реагентов. Проведение реакции при соотношении реагентов равном 1:2 приводит к получению 4,6-бис[(1-метил-2,2-дихлорциклопропил)метилтио]-1,3,5-триазинтиола-2 (4), а при соотношении 1:3 – 2,4,6-трис[(1-метил-2,2-дихлорциклопропил)метилтио]-1,3,5-триазина (5).

В ИК-спектрах тиоэфиров (4, 5) имеются полосы поглощения, характеризующие гем-дихлорциклопропильную группу [3085-3090 (ν_{C-H}), 780, 755 (ν_{C-Cl}) cm^{-1}], триазиновый цикл (1660, 1265, 1235 cm^{-1}), метильные и метиленовые группы [2995, 2965, 2935, 2880 (ν_{C-H}), 1475, 1420, 1380 (δ_{C-H}) cm^{-1}].

4. Экспериментальная часть. ИК спектры были получены на спектрометре ФСМ-1202 в тонком слое. Анализ методом ТСХ проводили на пластинах *Sorbfil* ПТСХ-П-В, подвижная фаза – хлороформ, проявитель – пары йода. Элементный анализ осуществили на анализаторе фирмы *Parkin Elmer* 2400 CHN.

Общая методика синтеза эфиров (4, 5). Суспензию тринатриевой соли тиоциануровой кислоты (2) и дихлорциклопропана (3) в среде диметилформаида нагревали при 110-120 °С в течение 5 ч. Затем реакционную массу разбавляли водой, [в случае эфира (4) далее подкисляли раствором соляной кислоты], выпавший осадок растворяли в хлороформе, раствор промывали водой, высушивали сульфатом магния, упаривали в вакууме и получали целевые продукты в виде густого масла красного цвета.

4,6-Бис[(1-метил-2,2-дихлорциклопропил)метилтио]-1,3,5-триазинтиол-2 (4). Выход 70%. ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3085 (C–H Δ), 2995, 2965, 2935, 2880 (C–H, CH₃, CH₂), 2425 (S–H), 1660 (C=N), 1475, 1380 (δ_{C-H} CH₃), 1420 (δ_{C-H} CH₂S), 1265, 1235 (C–N–C), 1045 (C–C Δ), 775, 755 (C–Cl), 625 (C–S). Найдено, %: C 34.51, H 3.33, Cl 31.31, N 9.27, S 21.20. C₁₃H₁₅Cl₄N₃S₃. Вычислено, %: C 34.60, H 3.35, Cl 31.42, N 9.31, S 21.31.



2,4,6-Трис[(1-метил-2,2-дихлорциклопропил)метилтио]-1,3,5-триазин (5). Выход 75%. ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3090 (C–H Δ), 2995, 2965, 2935, 2880 (C–H, CH₃, CH₂), 1660 (C=N), 1475, 1380 ($\delta_{\text{C-H}}$ CH₃), 1420 ($\delta_{\text{C-H}}$ CH₂S), 1265, 1235 (C–N–C), 1045 (C–C Δ), 775, 755 (C–Cl), 625 (C–S). Найдено, %: C 36.65, H 3.62, Cl 36.06, N 7.11, S 16.25. C₁₈H₂₁Cl₆N₃S₃. Вычислено, %: C 36.75, H 3.60, Cl 36.16, N 7.14, S 16.35.

Список литературы

1. Cope Richard P, Соли тиолтриазинов. *Англ. пат. № 1082148, РЖХим.*, 13Н252П (1968).
2. Song John, Hindered tris (meta-hydroxybenzylthio)-s-triazine antioxidants. *Пат. США № 3887516, РЖХим.*, 6Н216П (1976).
3. И.В. Мартынов, Ю.Л. Кругляк, Е.Л. Груздева, Г.А. Лейбовская, Л.Н. Шитов, О.В. Гордыбаев, В.С. Добрянский, И.И. Кашникова, Синтез и курареподобная активность β -триалкиламмониевых эфиров тиоциануровой кислоты. *Хим. фарм. ж.* **25** (1991) С. 38-40.
4. Юань Чэн-е, Шэн Чжи-чу, Синтез серусодержащих триазинов и их производных. *Acta pharm. Sinica*, **9** (1962) P. 473-480.
5. Н.Н. Мельников, *Пестициды. Химия, технология и применение*, Химия, Москва (1987).
6. О.А. Колямшин, Ю.Н. Митрасов, В.В. Кормачев, Гем-дихлорциклопропилзамещенные гидантоины. *Журнал общей химии*, **65** (1995) С. 672-675.
7. О.А. Колямшин, Ю.Н. Митрасов, В.А. Данилов, И.Н. Смолина, Н.И. Кольцов, гем-Дихлорциклопропилзамещенные азотсодержащие гетероциклы. Часть 1. Синтез гем-дихлорциклопропилметилтиозамещенных производных бензимидазола, бензоксазола, 4,6-диметилпиримидина и 1,2,4-триазола. *Бутлеровские сообщения*, **45** (2016) С. 6-10. ROi: jbc-01/16-45-3-6.
8. О.А. Колямшин, Ю.Н. Митрасов, И.Н. Смолина, Н.И. Кольцов, гем-Дихлорциклопропилзамещенные азотсодержащие гетероциклы. Часть 2. Синтез и свойства 1-(2,2-дихлорциклопропилметил)пиразолов и 5-пиразолонов. *Бутлеровские сообщения*, **46** (2016) С. 77-80. ROi: jbc-01/16-46-4-77.
9. Ю.Н. Митрасов, О.А. Колямшин, Е.А. Иванова, О.В. Кондратьева, И.И. Семенова, Пестицидная и противовирусная активность N-, P-, O- и S-функционализированных гем-дихлорциклопропанов. *Материалы Одиннадцатой международной научной школы «Наука и инновации-2016» ISS «SI-2016»*, Поволжский гос. технол. ун-т, Йошкар-Ола (2016) С. 269–274.

2-МЕТАКРИЛОИЛОКСИЭТИЛОВЫЙ ЭФИР 4-(2,5-ДИОКСО-2,5-ДИГИДРО-1*H*-ПИРРОЛ-1-ИЛ)БЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ И ПОЛИМЕРЫ НА ЕГО ОСНОВЕО. А. Колямшин¹, В. А. Данилов¹, Ю. Н. Митрасов²

¹ФГБОУ «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,
г. Чебоксары, Московский пр., 15
e-mail: oleg.kolymshin@yandex.ru

²ФГБОУ «Чувашский государственный университет им. И.Я. Яковлева»,
г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 38
e-mail: mitrasov_un@mail.ru

Взаимодействием хлорангирида 4-(2,5-диоксо-2,5-дигидро-1*H*-пиррол-1-ил)бензойной кислоты с монометакриловым эфиром этиленгликоля в присутствии триэтиламина и диметилформамида получен новый бифункциональный мономер, содержащий в своем составе малеинимидную и метакрильную группы. На основе синтезированного мономера получен его гомополимер, сополимеры со стиролом и монометакриловым эфиром этиленгликоля, а также изучены их физико-механические и спектральные свойства.

Ключевые слова: моноамиды малеиновой кислоты, малеинимиды, бифункциональные соединения, полимеризация, сополимеризация, физико-механические свойства, ИК-спектроскопия.

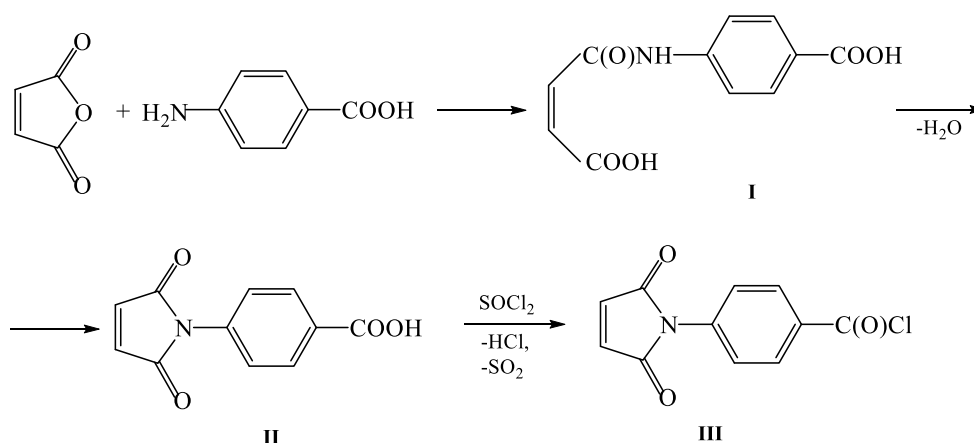
The interaction of the acid chloride of 4-(2,5-dioxo-2,5-dihydro-1*H*-pyrrol-1-yl)benzoic acid with monomethacrylic ether of ethylene glycol in the presence of triethylamine and dimethylformamide obtained a new bifunctional monomer containing in its composition maleinimide and methacryl groups. On the basis of the synthesized monomer obtained its homopolymer and copolymers with styrene and monomethacrylic ether of ethylene glycol and studied their physico-mechanical and spectral properties.

Keywords: monoamides of maleic acid, maleimides, bifunctional compounds, polymerization, copolymerization, physical and mechanical properties, IR spectroscopy.

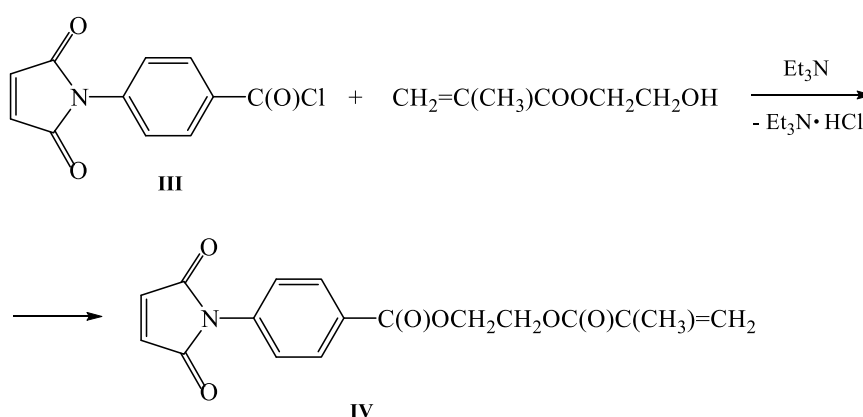
1. Введение. Малейнимиды (МИ) и их производные являются важными мономерами, которые используются в качестве основного сырья при получении различных термопластов. Композиты на основе малейнимидных связующих по ряду параметров (термостойкости, прочностным свойствам) превосходят эпоксидные композиции, что делает использование этих материалов очень перспективным, особенно в таких высокотехнологичных отраслях техники как космонавтика, автомобиле- и самолетостроение, электроника, электротехника и др. [1, 2]. В настоящее время большое развитие получили исследования мономеров и олигомеров с различными по природе функциональными группами, из которых одна способна к образованию термически стойких проходных цепей, например, малейнимидная группа или тройная связь, а вторая обеспечивает полимеризацию в мягких условиях до достижения стадии сохранения формы изделия. Среди таких мономеров и олигомеров можно отметить аллилксифенил- [3], 2-метилпропенил-2-гидроксифенил- [4], метакрилоилоксифенилмалейнимиды [5], 2-аллилфениловые эфиры 4-малейнимидобензойной кислоты [6, 7], малейнимидоарилцианаты и малейнимидоацетилены [8]. В работах [9, 10] приводится синтез малинимидосодержащего мономера, содержащего в своем составе аллильную группу, который может найти применение в синтезе полимеров с улучшенной ударной вязкостью для изготовления композиционных материалов в авиационно-космической промышленности. Малейнимид(мет)акрилаты предложены в качестве чувствительных к давлению клеевых композиций с повышенной адгезионной прочностью и отверждаемые под действием актиничных лучей предложены в патенте [11]. В работе [12] описаны термочувствительные малейнимид-акриламидные сополимеры, полученные сополимеризацией изопропилакриламида с N-(2-акриламидоэтилен)-3,4-диметилгидантоином, которые предложены в качестве растворимых в воде полимеров и набухающих гелей. Они могут быть использованы в качестве материалов для доставки лекарственных средств, а также в сепарационных системах.

В связи с вышеизложенным представляет повышенный интерес синтез новых бифункциональных мономеров, содержащих в своем составе малеинимидную и метакрильную группы, изучение их гомополимеризации, а также сополимеризации со стиролом (СТ) и монометакриловым эфиром этиленгликоля (МЭГ).

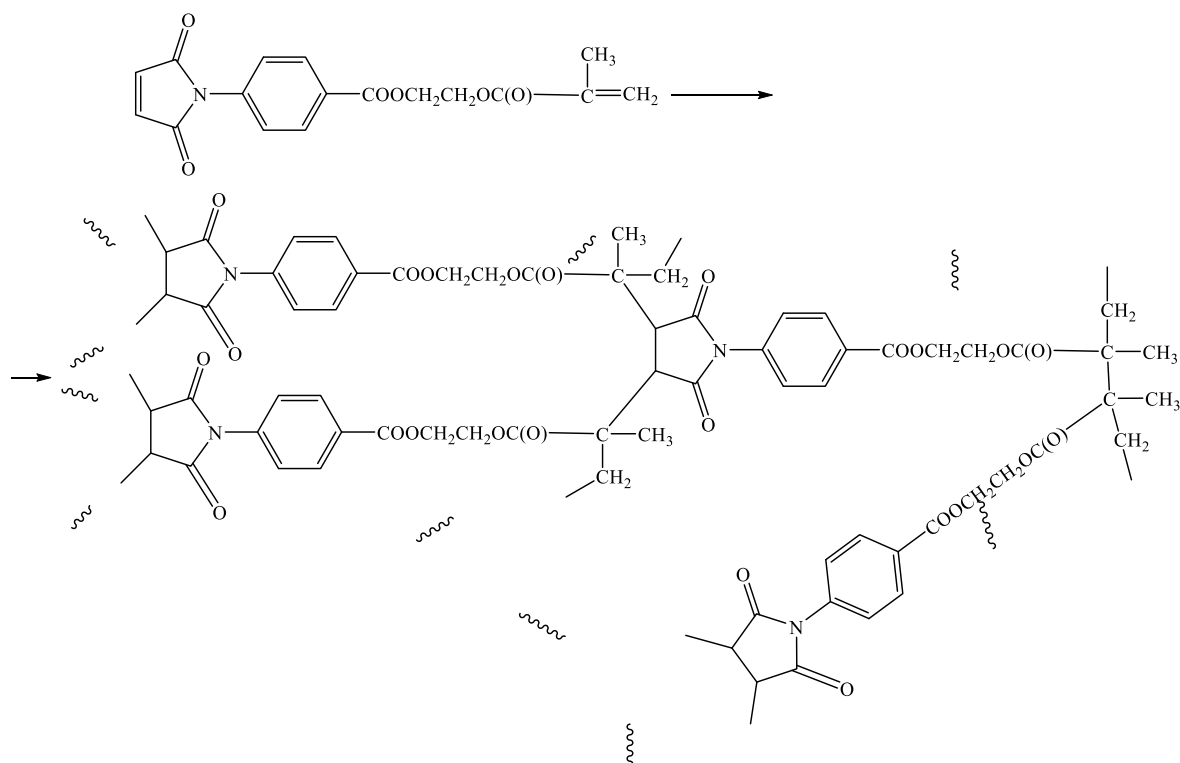
2. Материал и методы исследования. Исходную 4-(2,5-диоксо-2,5-дигидро-1*H*-пиррол-1-ил)бензойную кислоту (**II**) получили взаимодействием малеинового ангидрида с 4-аминобензойной кислотой в среде ацетона, с последующей циклизацией образующегося моноамида (**I**) путем азеотропной отгонки воды в системе ДМФА-толуол. В качестве катализатора использовали *n*-толуолсульфокислоту. Реакцией кислоты (**II**) с тионилхлоридом в присутствии диметилформаида в качестве катализатора в среде бензола с выходом 86% синтезировали хлорангидрид 4-(2,5-диоксо-2,5-дигидро-1*H*-пиррол-1-ил)бензойной кислоты (**III**), т. пл. 165-167 °С, ИК спектр, ν , см^{-1} : 1705 (C=O), 890 (C-Cl), 1595, 820 (C₆H₄):



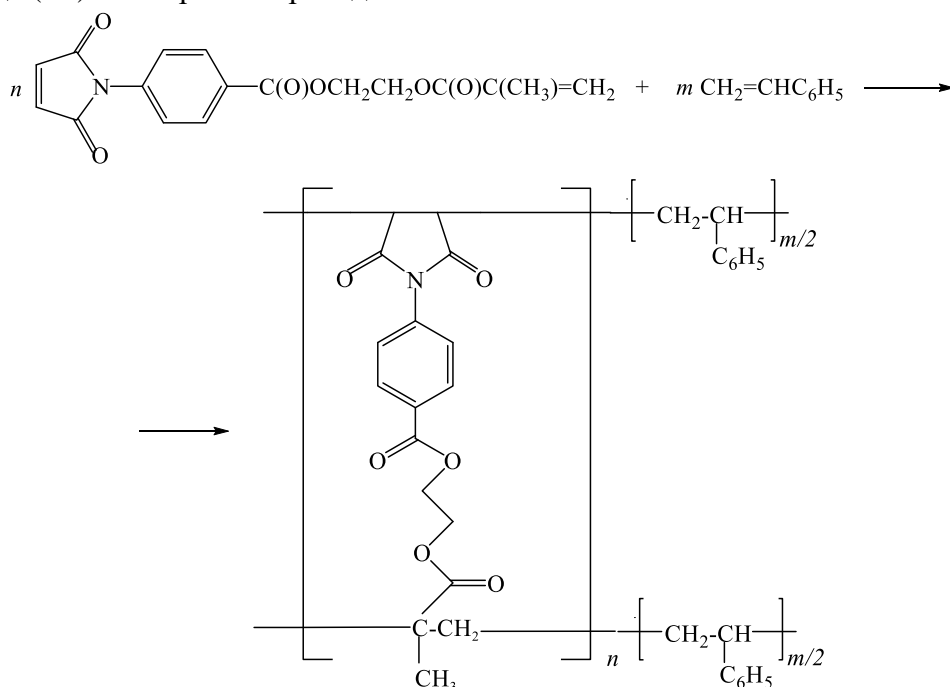
Взаимодействием хлорангидрида (**III**) с монометакриловым эфиром этиленгликоля в среде бензола в присутствии триэтиламина с выходом 88% получили 2-метакрилоилоксиэтиловый эфир 4-(2,5-диоксо-2,5-дигидро-1*H*-пиррол-1-ил)бензойной кислоты (**IV**) в виде маслянистой жидкости, ИК спектр, ν , см^{-1} : 3450, 1710, 1680 (C=O), 3080, 1620 (CH=CH), 1270, 1120 (COO), 1595, 825 (C₆H₄):



Далее проводили гомополимеризацию и сополимеризацию синтезированного бифункционального малеинимида (**IV**) со стиролом и монометакриловым эфиром этиленгликоля. Гомополимеризацию малеинимида (**IV**) проводили в присутствии перекиси бензоила (0.5 мас.%) в течение 12 ч при температуре 80 °С. В результате получили полимер светлокоричневого цвета. Вероятная схема гомополимеризации представлена ниже:



На следующем этапе проводили сополимеризацию малеинида (**IV**) с широко используемыми в промышленности виниловыми мономерами – стиролом и монометакриловым эфиром этиленгликоля при мольных соотношениях малеинимид (**IV**):стирол (или МЭГ) равном 1:10 в присутствии перекиси бензоила (0.5 мас.%). Возможная схема сополимеризации малеинида (**IV**) со стиролом приведена ниже:



В результате реакции получили сополимеры светло-коричневого цвета, строение которых исследовали методом ИК-спектроскопии. Так, в ИК-спектре сополимера малеинида (**IV**) с МЭГ присутствуют полосы поглощения гидроксильной (3325 см^{-1}), метиленовой (2925 и 1450 см^{-1}), карбонильной (3420 , 1717 см^{-1}) и ароматической (1595 , 828 см^{-1}) групп, а также С–О-связи при бензольном кольце (1275 см^{-1}) и N–C=O фрагмента сукцинимидного цикла

(753 см⁻¹). О протекании процесса сополимеризации свидетельствует отсутствие в спектре полос поглощения групп СН=СН (3080 см⁻¹) малеинимида и С=C (1620 см⁻¹) метакрилата, имеющих в ИК-спектрах исходных мономеров. Аналогичная картина наблюдается и для сополимера малеинимида (IV) со стиролом.

3. Результаты и их обсуждение. Для полученных сополимеров были исследованы термомеханические свойства, которые являются одними из важнейших свойств полимеров, необходимых для определения их эксплуатационных свойств. Из полученных нами данных следует, что температура стеклования и деструктивного течения сополимера на основе малеинимида (IV) и стирола составляет 40 и 303 °С, а для сополимера на основе малеинимида (IV) и МЭГ - 95 и 349 °С соответственно. Для сравнения – температура деструктивного течения для полистирола составляет 260 °С.

Нами также были исследованы физико-механические свойства полученных сополимеров, результаты которых приведены в таблице 1. Из данных таблицы следует, что добавление малеинимида (IV) к стиролу и МЭГ приводит к существенному улучшению физико-механических свойств сополимеров на их основе по сравнению с гомополимерами стирола и МЭГ. Наиболее высокой прочностью на разрыв обладает гомополимер малеинимида (IV), что можно объяснить строго стехиометрическим соотношением реагирующих групп – малеинимидной и метакрильной в бифункциональном мономере (IV).

Таблица 1

Результаты испытаний физико-механических свойств сополимеров малеинимида (IV) со стиролом и монометакриловым эфиром этиленгликоля

| № | Мольное соотношение мономеров (в скобках) | | σ, МПа | ε _{отн.} , % | Н, у.е. | Р, % |
|---|---|------------|--------|-----------------------|---------|------|
| | МИ | СТ или МЭГ | | | | |
| 1 | Малеинимид IV | – | 41 | 1 | 99 | 99 |
| 2 | – | СТ | 29 | 1 | 99 | 0 |
| 3 | Малеинимид IV (1) | СТ (10) | 38 | 1 | 98 | 97 |
| 4 | Малеинимид IV (1) | МЭГ (10) | 39 | 1 | 99 | 98 |
| 5 | – | МЭГ | 32 | 1 | 99 | 0 |

Полученные гомополимер малеинимида (IV) и его сополимеры со стиролом и МЭГ обладают трехмерной структурой, о чем свидетельствует высокое содержание гель-фракции (до 99%) в отличие от гомополимеров стирола и монометакрилового эфира этиленгликоля.

Выводы. Синтезирован новый бифункциональный мономер, содержащий в своем составе малеинимидную и метакрильную группы, на основе которого получены его гомополимер, а также сополимеры со стиролом и монометакриловым эфиром этиленгликоля. Исследованы физико-химические и термомеханические свойства сополимеров. Показано, что полученные сополимеры обладают более высокими физико-механическими свойствами по сравнению с гомополимерами стирола и монометакрилового эфира этиленгликоля.

Список литературы

- [1] Ю.А. Михайлин, *Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы*, СПб., Профессия (2006).
- [2] M. Pierre, S. Bernard, *Thermosetting Oligomers Maleimides and Nadimides End-Groups. Advances in Polymer Science*, **140** (1999), P. 137-179.
- [3] M. Racoutz, *Nouveaux maléimides et nouvelles compositions thermodurcissables les contenant. Заявка 2584069, Франция, РЖХим.* (1988) 7Н114П.
- [4] M. Crochemore, P. Barthélémy, *Nouveaux composes á base de maléimides et nouvelles compositions thermodurcissables les contenant. Заявка 2608600, Франция, РЖХим.* (1989) 9Н127П.

- [5] Л.Ю. Грищук, Л.А. Вретик, В.Г Сыромятников, Реакционная способность двойных связей замещенных *n*-(метакрилоилокси)-*N*-фенилmaleимидов в процессах их радикальной полимеризации. *ВМС. Серия А*, **49** (2007) С. 238-245.
- [6] О.А. Колямшин, В.А. Данилов, Н.И. Кольцов, 2-Аллилфениловые эфиры 4-(2,5-диоксо-2,5-дигидро-1*H*-пирролил)бензойной кислоты и 4-(2,5-диоксо-2,5-дигидро-1*H*-пирролил)фенилсульфоновой кислот. *Вестник Чувашского университета*, №3 (2010) С. 32-35.
- [7] Т. Наою, Li Wanwan, F. Xinghe, C. Xiaofang, S. Zhihao, Т. Наою, Synthesis, preparation and properties of novel high-performance allyl-maleimide resins. *Z. Qifeng Polimer*, **50** (2009) P. 1414-1432.
- [8] С. М. Межиковский, В. И. Иржак, *Химическая физика отверждения олигомеров*, Наука, Москва (2008).
- [9] L. A. White, J. W. Weber, L. J. Mathias, Synthesis and thermal characterization of component maleimide-epoxy resin. *Polymer Bulletin*, **46** (2001) P. 339-344.
- [10] L. A. White, J. W. Weber, L. J. Mathias, Synthesis and thermal characterization of component maleimide-epoxy resin. *Polymer Bulletin*, **46** (2001) P. 463-469.
- [11] E. Okazaki, T. Jitsumatsu, Pressure-sensitive adhesive composition curable with actinic energy ray and pressure-sensitive adhesive sheet. *Пат. 6645617, США, РЖХим.* 04.13-19Т.212П.
- [12] Dirk-Kuching, P. A. Hans-Jurgen, Lond Ling, D. H. Wolf, A. Karl-Friedrich, Temperature sensitive polymers based on 2-(dimethylmaleimido)-*N*-ethyl-acrilamide: Copolymers with *N*-isopropylacrilamide. *Polymer Bulletin*, **44** (2000) 269.

УДК 547.462.3

**СИНТЕЗ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ
АММОНИЕВЫХ СОЛЕЙ МАЛЕАМОВЫХ КИСЛОТ****Ю. Н. Митрасов¹, Н. А. Чигарова¹, О. А. Колямшин²**¹Чувашский государственный педагогический
университет им. И.Я. Яковлева, Чебоксары, Россия
e-mail: mitrasov_un@mail.ru²Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова

Синтезированы аммонийные соли малеамовых кислот, содержащих аминокислотные фрагменты. Изучено влияние водных растворов солей на предпосевные качества семян зерновых культур

Ключевые слова. Глицин, α -аланин, ϵ -аминокапроновая кислота, *орто*- и *мета*-аминобензойные кислоты, *пара*-аминосалициловая кислота, малеиновый ангидрид, энергия прорастания, лабораторная всхожесть.

Ammonium salts of maleamic acids containing amino acid fragments were synthesized. The effect of aqueous solutions of salts on the presowing qualities of seeds of cereal crops.

Keywords. Glycine, α -alanine, ϵ -aminocaproic acid, *ortho*- and *meta*-aminobenzoic acids, *para*-aminosalicylic acid, maleic anhydride, germination energy, laboratory germination.

1. Введение. Известно, что аммонийные, натриевые или кальциевые соли, а также амиды неперделных карбоновых кислот обладают биологической активностью. Среди них были обнаружены аттрактанты, фунгициды, регуляторы роста растений [1]. Поэтому разработка методов синтеза новых типов соединений, содержащих указанные биогенные группы, представляет повышенный интерес. Перспективными в этой области представляются исследования, направленные на модификацию продуктов реакций легкодоступных аминокислот алифатического и ароматического ряда с малеиновым ангидридом, что в первую очередь обусловлено их высокой биологической активностью [2, 3]. Например, глицин и α -аланин входят в состав многих белков и биологически активных соединений, ϵ -аминокапроновая кислота является лекарственным гемостатическим средством, который тормозит превращение профибринолизина в фибринолизин. *пара*-Аминобензойная кислота является «фактором роста» для многих видов бактерий, участвует в синтезе витамина В9, и, как следствие, образовании эритроцитов. Эфиры *n*-аминобензойной кислоты используются как местноанестезирующие средства. Производное *о*-аминобензойной кислоты 3-гидроксиантралиловая кислота является промежуточным продуктом в синтезе никотиновой кислоты из триптофана в животных организмах. *пара*-Аминосалициловая кислота в форме натриевой соли применяется как туберкулоостатическое средство.

В связи с этим с целью расширения ассортимента биологически активных соединений и в продолжение работ [4-6] нами были синтезированы аммонийные соли малеамовых кислот, содержащих фрагменты аминокислот, и изучено влияние их водных растворов на предпосевные качества семян зерновых культур с просроченным сроком хранения.

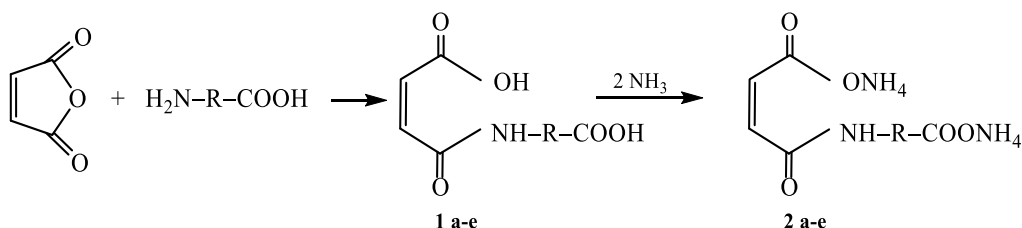
2. Материал и методы. В качестве исходных соединений были использованы товарные глицин, α -аланин, ϵ -аминокапроновая кислота, *орто*- и *мета*-аминобензойные кислоты, *пара*-амино-салициловая кислота, малеиновый ангидрид, которые использовали без дополнительной очистки.

ИК спектры были получены на спектрометре ФСМ-1202 в виде суспензии в вазелиновом масле, тонкий слой. Элементный анализ осуществляли на анализаторе фирмы *Parkin Elmer* 2400 CHN. Оптическую плотность измеряли на фотоколориметре КФК-2. Энергию прорастания (ЭП) и лабораторную всхожесть (ЛВ) семян определяли согласно ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести».

3. Результаты и их обсуждение. Синтез малеамовых кислот проводили взаимодействием эквимольных количеств аминокислот с малеиновым ангидридом. В случае алифатических аминокислот процесс проводили в водной или водно-ацетоновой (2:1) среде. Для ароматических аминокислот в качестве растворителя использовали ацетон. По мере протекания слабо экзотермических реакций выпадали бесцветные мелкокристаллические (**1а-в**) или светло-желтые рыхлые (**1г-е**) осадки соответствующих малеамовых кислот, которые очищали промыванием водой или ацетоном. Выходы кислот (**1а-е**) колеблются в пределах от 55 до 95%. Более низкий выход наблюдается при использовании алифатических аминокислот, что можно объяснить частичным протеканием конкурирующей реакции гидролиза малеинового ангидрида при проведении реакции в водной среде.

В ИК-спектрах малеамовых кислот (**1а-е**) содержатся полосы поглощения, характерные для колебаний N–H (3275-3300, 1560-1570 см^{-1}), O–H (3100-3180, 2720, 2640-2660, 2620, 2530-2540 см^{-1}), C=O (1700-1710, 1675-1690 см^{-1}) и H–C=C–H (3030-3045, 1600-1625, 870-880, 700-780 см^{-1}) связей.

Для получения полных аммонийных солей суспензии кислот (**1а-е**) в водной среде обрабатывали рассчитанным количеством 25% водного раствора аммиака. При смешении компонентов наблюдается незначительный экзотермический эффект и последующая полная гомогенизация смеси. В ходе реакции происходило изменение pH среды. Если первоначально растворы соединений (**1а-е**) имели кислую реакцию (pH 2-6), то после завершения реакции она была практически нейтральной. При дальнейшем изотермическом испарении водных растворов аммонийные соли кристаллизуются в виде гигроскопичных бесцветных призм (**2а-в**) или мелкокристаллических плотных осадков (**2г-е**):



езде R=CH₂ (а), CH₃CH (б), (CH₂)₅ (в), 2-C₆H₄ (г), 3-C₆H₄ (д), 2-НОС₆H₃ (е).

В ИК спектрах солей (**2а-е**) обращает на себя внимание отсутствие интенсивной полосы поглощения валентных колебаний карбонильной группы в области 1700-1710 см^{-1} , характерной для карбоксильной группы. Наряду с этим в спектре имеются полосы поглощения характерные для колебаний N–H (3178-3400, 1560-1570 см^{-1}), C=O (1668 см^{-1}), C–O (1571-1592 см^{-1}) и H–C=C–H (3030-3045, 1634 см^{-1}) связей.

Повышенный интерес представляло выявление биологической активности синтезированных солей (**2а-е**). С этой целью на примере водных растворов аммонийной соли (**2а**) различных концентраций нами было исследовано влияние на энергию прорастания (ЭП) и лабораторную всхожесть (ЛВ) семян пшеницы сорта «Московская 35».

Определение ЭП и ЛВ в опытных и контрольных пробах показало, что 0,01% - 0,001% водные растворы соли (**2а**) оказывают незначительное ингибирующее действие на всхожесть семян пшеницы сорта «Московская 35» (рис. 1), несмотря на повышение ЭП на 0,5 - 6% по сравнению с контролем.

Нами также выявлено, что предпосевная обработка семян пшеницы сорта «Московская 35» растворами соли (**2а**) увеличивает содержание хлорофилла в листьях проростков (13 день) (рис. 2), что в целом должно привести к повышению урожайности.

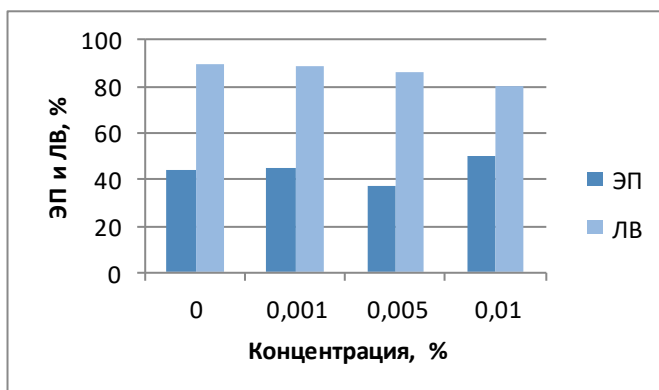


Рис. 1. Влияние водных растворов диаммоний 5-аза-4-оксо-2-гептендиоата (2а) на предпосевные качества семян пшеницы сорта «Московская 35»

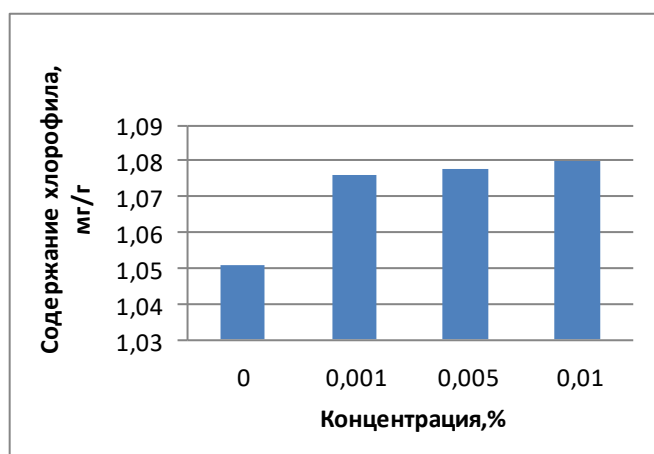


Рис. 2. Влияние водных растворов диаммоний 5-аза-4-оксо-2-гептендиоата (2а) на содержание хлорофилла в листьях проростков пшеницы сорта «Московская 35»

Выводы

Взаимодействием малеамовых кислот, содержащих аминокислотные фрагменты, с аммиаком синтезированы аммонийные соли, которые проявляют рострегулирующую активность на всхожесть семян зерновых культур.

Список литературы

- [1] Н.Н. Мельников, *Пестициды. Химия, технология и применение*, Химия, Москва (1987).
- [2] В.П. Белобородов, С.Э. Зурабян, А.П. Лузин, Н.А. Тюкавкина, *Органическая химия, кн. 1*, Дрофа, Москва (2003).
- [3] *Общая органическая химия, т.4*, ред. Д. Бартон, У.Д. Оллиса, Химия, Москва (1983).
- [4] Ю.Н. Митрасов, А.А. Авруйская, А.В. Бычкова, Т.Ю. Филиппова, Влияние аммоний 4-(2,5-дигидро-2,5-диоксо-1Н-пиррол-1-ил)бензоата на всхожесть семян зерновых культур. *Современные проблемы химической науки и фармации : сб. материалов V всерос. конф. с междунар. участием*, Чебоксары (2016), С. 36–37.
- [5] А.А. Авруйская, Ю.Н. Митрасов, Н.А. Смирнова, В.А. Исакова, Влияние аммоний 3-(N-п-толилкарбамоил)пропен-2-оата на лабораторную всхожесть и энергию прорастания семян овса сорта «Аргмак». *Химия и современность : сб. науч. статей*, Чебоксары (2016), С. 6–7.
- [6] Ю.Н. Митрасов, Н.А. Чигарова, О.А. Колямшин, Влияние диаммоний 5-аза-4-оксо-2-гептендиоата на предпосевные качества семян пшеницы. *Химия и современность : сб. науч. статей*, Чебоксары (2017), С. 54-56.

НАУЧНО МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ

УДК796.012:611.9 – 057. 875

МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ К ВЫПОЛНЕНИЮ НОРМ ВФСК ГТО В ПЕРИОД
ОБУЧЕНИЯ ПО ФИЗВОСПИТАНИЮ В ВУЗЕТ.С. Гильмутдинов¹, Р.Т. Гильмутдинов¹, В.А. Козлов²¹ФГБОУ ВО Марийский государственный университет, Йошкар-Ола
Региональный центр тестирования Республики Марий Эл²ФГБОУ ВО Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары
E-mail: pooh12@yandex.ru

ВФСК ГТО является программной и нормативной основой физического воспитания населения и в первую очередь студенческой молодежи. В данной работе приводится анализ подготовки и выполнения норм комплекса ГТО в 11 видах испытаний. Разработана трехэтапная методика подготовки и тестирования физической подготовленности в рамках прохождения учебного процесса в годичном цикле. Выявлены наиболее слабые стороны подготовки, на которые необходимо уделить повышенное внимание в учебно-тренировочном процессе.

Ключевые слова: ВФСК ГТО, этапы подготовки, тестирование физической подготовленности, виды испытаний, учебный процесс по физвоспитанию, нормативы, планирование, уровень подготовки.

VFSK GTO is a software and regulatory basis of the physical education of the population and especially the students. This article analyzes the performance of TRP standards in 11 types of tests. A three-time testing technique of physical fitness within the passage of the educational process in the annual cycle. Revealed the most weaknesses of training, which should be given special attention in the training process.

Keywords: TRP VFSK, testing physical readiness, test types, physical education, standards, level of training.

1. Введение. В целях дальнейшего совершенствования государственной политики в области физической культуры и спорта, создания эффективной системы физического воспитания населения издан указ президента В.В. Путина от 24 марта 2014 г. № 172 о введении с 1 сентября 2014 г. в Российской Федерации Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса «Готов к труду и обороне» (ГТО) – программную и нормативную основу физического воспитания населения [2].

В настоящее время наиболее актуальной проблемой является поиск эффективной методики подготовки к выполнению норм комплекса ГТО в рамках прохождения учебного процесса. В VI-й ступени для студентов 18-24 и 25-29 лет предусмотрены 13 видов испытаний, из них 4 обязательных вида и 9 по выбору. Для получения золотого знака необходимо выполнить 9 испытаний, на серебряный 8 и бронзовый 7. Для внедрения ВФСК ГТО среди обучающихся в ВУЗе на первый план выходит разработка системы подготовки и организации тестирования в рамках прохождения учебного процесса по физическому воспитанию.

Анализ последних публикаций в научных статьях свидетельствует, что в основном в системе образования проводится прием норм ГТО в наиболее доступных и простых тестах без приложения эффективной методики подготовки, которая является основополагающей при подготовке к сдаче норм ВФСК ГТО.

Цель исследования: разработка методики подготовки и организации тестирования по приему норм ВФСК ГТО среди обучающихся в ВУЗе в период прохождения учебного процесса по физическому воспитанию.

Задачи исследования:

1. Провести анализ недостатков применяемой программы по физвоспитанию в ВУЗах.
2. Разработать трехэтапную систему подготовки и организации тестирования по приему норм ВФСК ГТО в VI-й ступени при прохождении курса физического воспитания.

Анализ основных недостатков применяемой программы по физвоспитанию в ВУЗах. В системе преподавания по предмету физическая культура и спорт за последние 20 лет не удалось создать единую программу по физвоспитанию для студентов. Необходимо отметить, что попытки разработать стандартную программу физвоспитания предпринимались, однако они проводились без широкого обсуждения и не могли по этой причине получить практического применения. Наиболее слабым звеном в применяемых программах является отсутствие единых требований оценки уровня физической подготовленности. Внедрение нормативных требований ВФСК ГТО должна решить эту проблему. Вторым существенным недостатком программ – отсутствие сетки часов на группы спортивного совершенствования, что отрицательно сказывается, как на развитии массового спорта, так и спорта высших достижений и подготовки значкистов ГТО на золотой знак. В последней программе 70% часов отводится на теоретическую подготовку, что практически исключает возможность осуществления подготовки к выполнению норм комплекса ГТО в период занятий по физвоспитанию. Остается использование дополнительных занятий самостоятельно.

Организация трехэтапной методики подготовки к выполнению норм ВФСК ГТО в период прохождения курса физвоспитания. Следует отметить, что ВУЗы в Российской Федерации обладают различной материально-технической базой. В МарГУ очень слабая материально-техническая база, которая не соответствует современным требованиям и осложняет проблему подготовки к выполнению норм ВФСК ГТО. Однако государственные требования по внедрению ВФСК ГТО среди обучающихся в ВУЗе не отменяются. В течении 3-х лет в МарГУ проводился эксперимент по разработке и обоснованию трехэтапной методики подготовки к выполнению норм ВФСК ГТО со студентами 1-3 курсов в рамках прохождения курса физического воспитания. Эксперимент проводился на студентках физико-математического факультета. Учебный процесс в ВУЗе по физвоспитанию осуществляется с 1 сентября по 20 июня. Зачеты принимаются два раза в год в осенне-зимний и весенне-летний семестры. В МарГУ в силу существующей материально-технической базы на физико-математическом факультете прошла апробацию и получило практическое применение трехэтапная методика подготовки и организации тестирования по приему норм ВФСК ГТО в 6-й ступени.

1-й этап подготовки осуществляется с 15 сентября по 20 октября. С 1-го сентября по 20 октября проводится сквозное тестирование для определения исходного состояния физической подготовленности у всех обучающихся относящихся к основной и подготовительной медицинским группам. Студенты проходят тестирование в легкоатлетических видах испытаний (в беге на короткие дистанции – 60, 100 м, прыжках в длину с места и с разбега, метании мяча и спортивного снаряда на дальность, в беге на выносливость), а также в упражнениях на определение гибкости, силовой выносливости, силы мышц брюшного пресса. Показатели заносятся в специально разработанную индивидуальную карту тестирования и групповой журнал учета показателей физической подготовленности. При этом тестирование исходного состояния следует начинать через 8-10 дней первоначальной подготовки. Практика показывает, что студенты к началу учебного года приходят разобранными в отношении уровня физической подготовленности. На основе полученных данных исходного состояния составляется тренировочная программа на сентябрь-октябрь, когда погодные условия позволяют проводить тренировки используя открытые спортивные сооружения и площадки. В сентябре-октябре тренировочный процесс ориентирован на подготовку в легкоатлетических видах ВФСК ГТО. В рамках двухразовых занятий в неделю следует придерживаться интегрированного метода тренировки, когда на одном занятии решается задача развития специальной физической подготовленности, быстроты и скоростной выносливости. Двадцать – тридцать процентов времени уделяется обучению и совершенствованию технической подготовленности. Результаты тестирования свидетельствуют, что наиболее слабым местом подготовки является уровень развития быстроты, специальной и силовой выносливости отражающиеся в комплексе ГТО в беге на 100 м, 2-3 км, сгибании и разгибании рук в упоре лежа на полу у девушек и подтягиванию на перекладине у юношей. Известно, что показатели гибкости достигают максимума от анатомической к 15-16 годам и в трени-

ровках может ставиться задача доведения её до природного уровня. С точки зрения владения спортивной техникой наиболее неподготовленными являются такие виды испытаний: прыжок в длину с разбега и метание спортивного снаряда на дальность, которые требуют достижения необходимого уровня взрывной силы, скоростно-силовой и технической подготовленности. Однако, в силу погодных условий упражнения в этих видах должны носить обще-прыжковый и обще-бросковый характеры. С ноября до конца декабря занятия в старших курсах переносятся в спортивные залы. Учебно-тренировочные занятия приобретают комплексный характер с использованием спортивных игр (баскетбола, волейбола, мини-футбола), а также в тренажерном зале с использованием отягощений (5 кг для девушек и 10 кг для юношей). Для развития основных мышечных групп разработан специальный комплекс упражнений, проводимый в течении 30-40 мин. Используется групповой метод с повторением 12-16 раз, интервал отдыха 1,5-2 мин до снижения ЧСС 90-110 уд/мин. Заканчивается комплекс упражнений выполнением 3-4 серий прыжков с отягощением 5-10 кг по нарастающей – 20, 30, 40 с.

Осенний семестр начинается приемом норм комплекса ГТО в челночном беге 3×10 м, сгибании и разгибании рук в упоре лежа на полу на контактной платформе у девушек, в подтягивании на высокой перекладине и рывке гири 16 кг у юношей. Проводится тестирование в измерении гибкости и поднимании туловища за 1 мин., из положения лежа на полу. Заканчивается подтягиванием у девушек на низкой перекладине.

2-й этап подготовки и тестирования проводится с 15 января по 10 марта.

На втором этапе подготовки основное внимание уделяется в видах испытаний по выбору (лыжных гонках, плаванию, пулевой стрельбе, поднимании туловища и измерении гибкости). В спортивной части ВФСК ГТО необходимо проведение соревнований по лыжным гонкам и зимнему троеборью полиатлона. В настоящее время, как показывают исследования наиболее слабым видом испытаний являются лыжные гонки, что является результатом исключения из школьной программы по физической культуре занятий по лыжной подготовке. Если в г. Йошкар-Оле остается возможность проведения занятий по лыжной подготовке, в большинстве вузов крупных городов отсутствуют специально подготовленные трассы. В МарГУ на физико-математическом факультете занятия по лыжной подготовке проводятся по принципу крупноциклового концентрата. Учебные занятия по лыжной подготовке проходят с начала февраля до середины марта и заканчиваются гонками на 5 км у юношей и 3 км у девушек. Ниже приводится таблица сравнительного анализа процентного соотношения выполнения норм по видам испытаний, где в лыжных гонках самый низкий показатель. Необходимо отметить, что при проведении лыжных гонок в условиях лыжной базы Республики Марий Эл на подготовленной трассе результаты тестируемых на 3-5 минут лучше чем в условиях прохождения по кругу длиной 350-400 м. На втором этапе желательно организовать подготовку и прием норм по плаванию и пулевой стрельбе. В зимний период работают плавательные бассейны, появляется возможность обучения и приема норм в плавании на 50 м. Несколько сложнее обстоит подготовка в пулевой стрельбе из пневматической винтовки. Основная причина, отсутствие освоения основ техники стрельбы в школах, достаточного количества пневматических винтовок и простейших типов мишеней, оборудованных передвижными установками.

3-й заключительный этап подготовки и тестирования протекает с 15 апреля по 20 июня. С середины апреля появляется возможность проведения занятий на открытых спортивных площадках. Задача третьего этапа- подготовка в легкоатлетических видах комплекса. Применяется интегрированный метод тренировки. На одном занятии занимающиеся выполняют равномерный бег 3-4 км с интенсивностью 130-150 уд/мин. Специальные беговые упражнения, многоскоки, через барьеры. На каждом занятии выполняются ускорения 4-5 раз на 100-120 м. Используется повторный метод с паузой отдыха по снижению пульса до 110-130 уд/мин. При двухразовых занятиях в неделю на первом занятии 50 % времени отводится на подготовку в прыжках в длину с разбега, который с метанием спортивного снаряда на дальность являются наиболее сложными видами испытаний. Современные студенты как показывает опрос в школах

не проходили освоение техники по этим видам. Однако, интерес к данным видам в процессе занятий усиливается. На втором занятии половина урока отводится обучению и тренировке в метании. Заканчивается третий этап проведением соревнований по легкоатлетическим видам испытаний, летним многоборьям полиатлона [3] и в других видах испытаний по выбору. По возможности организуется туристический похода с проверкой туристских навыков.

Обсуждение результатов трехэтапной методики подготовки и выполнения норм ВФСК ГТО.

Как видно из эксперимента, каждому этапу тестирования предшествует тренировочная работа по предстоящим видам испытаний в рамках учебного процесса. В период 2015-2016 гг. была апробирована данная методика приема норм ВФСК ГТО со студентками 1,2,3 курсов физико-математического факультета Марийского государственного университета. Тестирование проводилось по 10 видам испытаний, которые приводятся в таблице. В таблице приведены результаты тестирования.

Таблица

Сравнительный анализ выполнения норм ВФСК ГТО студенток 1,2,3, курсов физико-математического факультета МарГУ

| | Виды испытаний | Курс | Кол-во | Золотой | | Серебряный | | Бронзовый | | Не уложились | | Общее число | |
|----|--|------|--------|---------|------|------------|------|-----------|------|--------------|------|-------------|------|
| | | | | Кол-во | % | Кол-во | % | Кол-во | % | Кол-во | % | Сдали | % |
| 1 | Челночный бег 3×10 м, с | 1 | 55 | 16 | 29,0 | 20 | 36,4 | 5 | 9,0 | 6 | 10,9 | 41 | 74,5 |
| | | 2-3 | 72 | 24 | 33,4 | 16 | 22,2 | 8 | 11 | 14 | 19,4 | 48 | 66,6 |
| 2 | Бег на 60 м, с | 1 | 55 | 13 | 23,6 | 24 | 43,6 | 6 | 10,9 | 6 | 10,9 | 43 | 78,2 |
| | | 2-3 | 44 | 14 | 31,2 | 21 | 47,7 | 6 | 13,6 | 3 | 6,8 | 41 | 74,5 |
| 3 | Бег на 100 м, с | 1 | 59 | 18 | 30,5 | 11 | 18,6 | 16 | 27,1 | 13 | 22,0 | 45 | 76,2 |
| | | 2-3 | 89 | 29 | 32,5 | 29 | 32,5 | 16 | 17,9 | 17 | 19,1 | 74 | 88,6 |
| 4 | Бег на 2 км мин, с | 1 | 69 | 14 | 20,2 | 21 | 30,4 | 15 | 21,7 | 19 | 27,5 | 50 | 72,4 |
| | | 2-3 | 89 | 31 | 34,8 | 26 | 29,2 | 10 | 11,2 | 21 | 23,5 | 67 | 75,3 |
| 5 | Прыжок в длину с/м | 1 | 52 | 11 | 21,1 | 22 | 42,3 | 14 | 26,9 | 5 | 9,6 | 47 | 90,3 |
| | | 2-3 | 89 | 27 | 30,3 | 25 | 28,0 | 16 | 17,9 | 21 | 23,5 | 68 | 76,4 |
| 6 | С разбега | 1 | 23 | 7 | 30,4 | 5 | 21,7 | 7 | 30,4 | 4 | 17,4 | 19 | 82,6 |
| 7 | Подтягивание на низкой перекладине | 1 | 54 | 4 | 7,4 | 7 | 12,9 | 9 | 16,6 | 34 | 62,9 | 20 | 37,0 |
| | | 2-3 | 82 | 9 | 10,9 | 24 | 29,2 | 13 | 15,8 | 36 | 43,9 | 46 | 56,1 |
| 8 | Поднимание туловища | 1 | 52 | 11 | 21,1 | 13 | 25 | 21 | 40,4 | 7 | 13,5 | 43 | 82,6 |
| | | 2-3 | 89 | 29 | 32,5 | 23 | 25,8 | 18 | 20,2 | 12 | 13,5 | 70 | 78,6 |
| 9 | Сгибание и разгибание рук в упоре лежа | 1 | 55 | 6 | 10,9 | 6 | 10,9 | 1,8 | 42 | 76,4 | 13 | 23,6 | 76,4 |
| | | 2-3 | 77 | 21 | 27,2 | 13 | 16,8 | 8 | 10,3 | 29 | 37,6 | 42 | 54,5 |
| 10 | Гибкость наклон вперед, см | 1 | 57 | 16 | 28,0 | 13 | 26,0 | 21 | 36,8 | 7 | 12,3 | 50 | 87,7 |
| | | 2-3 | 70 | 26 | 37,1 | 21 | 30 | 9 | 12,8 | 14 | 20 | 56 | 80 |
| 11 | Лыжная гонка 3 км | 1 | 45 | 3 | 6,6 | 5 | 11,1 | 2 | 4,4 | 35 | 77,7 | 10 | 22,2 |
| | | 2-3 | 62 | 4 | 6,5 | 6 | 9,6 | 5 | 8,0 | 47 | 75,8 | 15 | 24,1 |

Анализ результатов тестирования студенток 1-го курса показывает, что на первом курсе наибольшее количество сдавших на золотой знак наблюдается в скоростно-силовых видах спорта: в беге на 100 м – 30,5%, 60 м – 23,6 %, в прыжках в длину с разбега – 30,4 % и с места – 21,1%. Высокий процент сдавших на золотой знак наблюдается в измерении гибкости 28, % и поднимании туловища – 21,1%. В беге же на выносливость больше всех уложились на серебряный знак – 30,4 %, на золотой – 20,2 % и бронзовый – 21,7%. Наиболее неподготовленными испытуемые выглядели в сгибании и разгибании рук в упоре лежа и подтягивании на низкой перекладине, количество не уложившихся составило соответственно – 76,4 и 62,9%. Основной причиной является – недостаточное внимание к силовой подготовке на уроках по физвоспитанию, второй фактор – использование в тестировании силовой гимнастики контактной платформы, значительно повысившей объективность измерения и требования к качеству выполнения согласно предъявляемых правил. Среди тестируемых 2-3 курса наблюдается улучшение результатов в беге на выносливость на золотой знак уложились 34,8%, в беге на 100 м – 32,5%, в прыжках в длину с места – 30,3%. Высокий уровень результатов в гибкости – 37,1%, в поднимании туловища – 32,5%. Необходимо отметить улучшение результатов в сгибании и разгибании рук – 27,2%, что свидетельствует о целенаправлен-

ной тренировке в данном тесте в течении учебного года, как на обязательных занятиях, так и самостоятельно. Наиболее плохо обстоит подготовка в лыжных гонках, который относится к прикладным навыкам и требует овладения техникой передвижения на достаточно высоком уровне. Следует отметить, что большинство студенток отказались участвовать в сдаче нормативных испытаний в плавании. Удалось привлечь лишь студенток занимающиеся в группах спортивного совершенствования по летнему и зимнему многоборьям полиатлона, в лыжных гонках и некоторых других видах спорта. Учитывая высокое прикладное значение плавания данный вид испытаний необходимо перенести в число обязательных тестов, с выделением на льготной основе плавательных бассейнов для обучения и приема норм.

Следует отметить, что испытуемые старших курсов начинают осознанно тренироваться в наиболее доступных видах испытаний, доведя их до уровня требований на золотой или серебряный знак. Анализ выполнивших на золотой знак свидетельствует, что наибольшее количество уложившихся занимаются в группах спортивного совершенствования и в первую очередь по летнему и зимнему многоборьям полиатлона [4,5], где 8 видов совпадают с видами испытаний. 92 % из них укладываются на золотой знак.

Наибольший интерес к тестированию вызывает использование 100-очковой системы оценки результатов [1], что позволяет установить личный рейтинг участников и желание дальнейшего совершенствования физической подготовленности. Таким образом, трехэтапная методика подготовки к выполнению норм ВФСК ГТО может эффективно использоваться в вузах со слабой материально-технической базой органически вписываясь в учебный процесс.

Выводы:

1. Подготовка к выполнению и организации приема норм ВФСК ГТО в рамках прохождения курса физического воспитания должна проводиться в 3 этапа.
2. Успешная подготовка к выполнению норм ГТО осуществляется при занятиях летними и зимними многоборьями полиатлона.
3. Подготовка в наиболее трудоемких видах комплекса требует дополнительной самостоятельной тренировки.
4. Использование 100-очковой таблицы оценки результатов позволяет установить личный рейтинг и способствует достижению максимальных результатов при сдаче норм ВФСК ГТО.

Список литературы

1. Гильмутдинов Т.С. Методика и организация тестирования физической подготовленности учащейся молодежи на основе 100-очковых таблиц и программ полиатлона: метод. пособие / Мар. гос. ун-т ; Т.С. Гильмутдинов. Йошкар-Ола, 2003. 86 с.: ил.
2. Всероссийский физкультурно-спортивный комплекс «Готов к труду обороне» (ГТО) : док. и метод. матер. / Н.В. Паршикова, В.В. Бабкин, П.А. Виноградов, В.А. Уваров / под ред. В.Л. Мутко; Министерство спорта Российской Федерации. М.: Советский спорт, 2014. 60 с.
3. Гильмутдинов Т.С. Организационно-методические основы порядка тестирования физической подготовленности студентов на основе Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса ГТО // Оптимизация уч-тренин. проц: мат. XIII межд. науч.-практ. конф. Н. Новгород: Нижегород. ун-в., 2014. С. 12-14.
4. Гильмутдинов Т.С., Гильмутдинов Р.Т. Особенности и проблемы внедрения многоборий комплекса ГТО в систему физического воспитания студентов // Физическое воспитание и студенческий спорт глазами студентов: мат. Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием. Казань, 6-8 ноября 2015 г. / под ред. Р.А. Юсупова, Б.А. Акишина, Т.Ю. Покровской. Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2015. С. 509-510.
5. Гильмутдинов Т.С., Гильмутдинов Р.Т. Многоэтапные соревнования по многоборьям ГТО и полиатлона ключевой аспект внедрения ВФСК ГТО и развития массового спорта среди студенческой молодежи / Т.С. Гильмутдинов, Р.Т. Гильмутдинов // Физическое воспитание и студенческий спорт глазами студентов: мат. Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием посвященной 85-летию КНИТУ-КАИ. Казань, 24-27 ноября 2016 г. / под ред. Р.А. Юсупова, Б.А. Акишина, Т.Ю. Покровской.- Казань: Изд-во «Фолиант», 2016. С. 380-383.

**ИЗ ОПЫТА РУКОВОДСТВА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ УЧАЩИХСЯ ПО ХИМИИ****¹Ю. Н. Митрасов, ¹Н. Г. Парамонова, ²Т. В. Михайлова, ³В. А. Козлов**¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева», г. Чебоксары, Россия. E-mail: mitrasov_un@mail.ru²МБОУ «Лицей №2», г. Чебоксары, Россия, e-mail: tamara_mihaylova@list.ru³ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия, e-mail: Pooh12@yandex.ru

Научно-исследовательская деятельность учащихся способствует достижению метапредметных и личностных результатов.

Ключевые слова: учащиеся, научно-исследовательская деятельность, научно-практические конференции.

Research activity of pupils promotes achievement of metasubject and personal results.

Keywords: pupils, research activity, scientific and practical conferences.

1. Введение. Основными задачами современного образования являются развитие творческих способностей учащихся, подготовка их к различным формам деятельности, выработка адекватного отношения к окружающему миру и самостоятельной жизни. Этот социальный запрос нашел отражение в Законе Российской Федерации «Об образовании», законодательно утвердившем цели образования как «ориентацию на обеспечение самоопределения личности для ее самореализации». Стандарты ФГОС второго поколения также ставят новые задачи перед образованием: достижение личностных, метапредметных и предметных результатов.

Учебно-воспитательный процесс в школе включает все организационные формы. Для достижения целей образования, воспитания и развития учащихся наряду с уроком большое значение имеет внеурочная деятельность, которая включает индивидуальную работу с учащимися, в частности внеклассные занятия по химии. Одной из популярных форм внеурочной деятельности является исследовательская деятельность учащихся.

Развитие исследовательской деятельности (ИД) учащихся имеет давние традиции – создавались и функционировали научно-технические общества и малые академии. В настоящее время ИД используется как инструмент повышения качества образования. Она направлена на формирование личности учащихся. Раннее приобщение учащихся к исследовательской работе позволяет развивать интеллектуальные и творческие способности ребят. Их благотворное влияние, как на учебный процесс, так и на дальнейшую судьбу выпускников школы не вызывает сомнений.

Работа по руководству исследовательской работой учащихся проводится в различных формах. Одна из форм – учебные проекты, которые могут осуществляться на уроках, и связаны с учебным материалом. В частности, при изучении органической химии имеются возможности для развития исследовательских навыков путем расширения тем школьной программы. Например, тема «Сложные эфиры» позволяет организовать исследование по получению эссенций с разными запахами и изучению эфирных масел [1].

Но чаще ИД выходит за рамки школьной программы. В старших классах многих учащихся увлекают вопросы, связанные с перспективами развития химической науки и производства. Других учащихся интересуют практические работы поискового, исследовательского характера, представляющие научно-практический выход. Для удовлетворения потребности учащихся в развитии творческих способностей, исследовательской компетенции в некоторых образовательных учреждениях создаются научные общества учащихся [2]. Для вовлечения учащихся в учебно-исследовательскую работу разрабатываются и общеобразовательные

программы. Так, в гимназии Санкт-Петербурга реализуется программа «Лаборатория исследователей химии им. Д. И. Менделеева» [3].

2. Результаты и их обсуждение. Под научно-исследовательской деятельностью учащихся понимается одна из форм организации учебно-воспитательной работы, которая связана с деятельностью учащихся, направленной на решение учащимися творческой исследовательской задачи с заранее неизвестным решением в различных областях науки, техники, искусства и, предполагающая наличие основных этапов, характерных для исследования в научной сфере. Кроме этого её рассматривают как образовательную технологию, использующуюся в качестве главного средства учебное исследование.

Основными задачами научно-исследовательской работы (НИР) являются:

- выявление одарённых учащихся и обеспечение реализации их творческого потенциала;
- развитие творческих способностей учащихся и выработка у них исследовательских навыков;
- формирование аналитического абстрактного мышления учащихся в процессе творческого поиска и выполнения учебных исследований;
- развитие самостоятельности при работе с научной литературой и выполнении наблюдений, а также проведении экспериментов;
- развитие способности формировать свое мнение и умение его отстаивать;
- развитие умения общаться с аудиторией, выступая на научных конференциях;
- воспитание целеустремлённости и уверенности в себе, сознания значимости выполненной работы;
- формирование чувства ответственности за порученное дело;
- воспитание системности в учебной деятельности;
- помощь в профессиональной ориентации;

В целом выполнение научно-исследовательской работы учащихся может включать следующие этапы:

1. Диагностический. Целью этапа является выявление ученика, у которого было бы желание, интерес, способности к выполнению исследовательской работы через наблюдение, диагностику на уроках, внеклассных мероприятиях, собеседования, психолого-педагогическую диагностику.

2. Теоретический (этапы планирования). Важнейшими задачами данного этапа является анализ проблемы, определение источников информации, постановка задач, составление плана работы по теме исследования.

3. Определение области исследования – нужно четко определить границы предметной области, в рамках которой выполняется научно-исследовательская работа.

Определение проблемы и темы исследования. Проблема исследования – это противоречивая ситуация, требующая своего разрешения. Решение этого противоречия самым непосредственным образом связано с практической необходимостью. Правильная постановка и ясная формулировка проблемы исследования очень важна, поскольку она определяет стратегию исследования и направление научного поиска.

Тема исследования – более узкая сфера исследования в рамках предмета. Она должна быть емкой, краткой и конкретной.

Выбор объекта и предмета исследования. Объект исследования – это процесс или явление, порождающее проблемную ситуацию. Предмет исследования – это часть объекта, которую можно преобразовать, чтобы объект изменился.

Гипотеза (основание, предположение) исследования. Это научно обоснованное предположение о непосредственно наблюдаемом явлении. Гипотеза должна быть проверяемой, содержать предположение.

Формулировка цели и задач исследования. Цель исследования – это конечный результат, которого хотел бы достичь исследователь при завершении своей работы. Из поставленной

цели вытекают задачи исследования, которые предполагают выбор путей и средств для достижения цели.

Отбор методов исследования. Методы исследования – это способы достижения цели исследования. Они делятся на теоретические (сравнение, моделирование, классификация, систематизация) и эмпирические (изучение и анализ литературы, наблюдение, социологический опрос, тестирование, мониторинг, анкетирование, интервью и др.).

Составление плана исследования. Поиск и отбор информации по теме исследования.

4. Практический этап (этап выполнения). На данном этапе учащиеся выполняют эксперимент, обрабатывают полученную информацию и оформляют научно-исследовательскую работу.

5. Рефлексивный этап (этап оценки результатов и защиты исследовательских работ).

На данном этапе учащиеся под руководством педагогов готовят доклады по теме исследования, презентации для защиты НИР.

Итоговым продуктом научно-исследовательской деятельности школьников является творческая научно-исследовательская работа, которая может быть представлена как реферативная, экспериментальная, проектная или исследовательская.

Подготовка учащихся к исследовательской деятельности, оформлению ее результатов и участию с презентацией на конференциях различного уровня должна иметь характер системы, и такая работа должна проводиться в школе с младших классов. В случае химических исследовательских работ основное внимание надо уделять с момента начала изучения предмета «Химия». Для эффективной подготовки учащихся, стремящихся к углублению знаний, желающих профессионально связать свое будущее с химией, можно вести факультативный или элективный курс «Исследовательская работа учащихся» [4].

Исследовательская работа учащихся, как правило, проводится под руководством учителя химии. От педагога необходимы знания в объеме, значительно превышающем рамки школьной программы. Это требует постоянной дополнительной работы над собой, потому что именно учитель формирует научный стиль мышления учащихся и может вызвать популяризацию химии среди учеников через научно-исследовательские работы.

Прежде всего, учитель должен владеть необходимой информацией, представлять все этапы выполнения исследования и требования к оформлению работы, к презентации и докладу на научно-практической конференции (НПК). Учителя химии как городских, так и сельских школ Чувашской Республики сталкиваются с трудностями при организации исследовательской деятельности учащихся. Большинство учителей химии вынуждены самостоятельно решать задачи, связанные с подготовкой НИР учеников. Во многих случаях исследования проводятся стихийно, отсутствует специальная подготовка учащихся к исследовательской работе. И здесь очень важен правильный подбор тем. В целом, всю тематику школьных исследований по химии можно разделить на две части. Одни исследования повторяют и, возможно, углубляют школьный учебный материал. Доклады по результатам этих работ рекомендуется заслушивать только на заседаниях школьной конференции или уроках. Другая группа исследований имеет элементы научного поиска, выходящих за пределы школьной учебной программы. Такие работы учащихся можно представлять на городские, республиканские и даже всероссийские НПК учащихся (табл.).

Анализ тем исследовательских работ школьников по химии за несколько лет, представленных на конференциях разного уровня – от школьных до республиканских и межрегиональных показал, что в основном работы посвящены исследованию природных объектов, анализу пищевых продуктов, препаратов бытовой химии и т.п. Здесь объектами исследования становятся дождевые, талые, сточные воды, молоко, молочные продукты, мед, чай, мучные изделия, моющие средства и др. Малая доля проектов носит высоконаучный характер.

Одним из путей решения этих проблем представляется привлечение в качестве руководителя НИР учащихся педагогов-кураторов из числа преподавателей вузов и специалистов

научных учреждений на основе договоров о сотрудничестве. На отдельных этапах исследования учащихся в качестве руководителей возможно привлечения аспирантов, а также студентов-выпускников, выполняющих выпускные квалификационные работы. В этом случае получается работа, которую по тематике, методам и структуре можно назвать научно-исследовательской. Так, в 2000 году был заключен договор о сотрудничестве между лицеем №2 г. Чебоксары и биолого-химическим факультетом (ныне факультет естественнонаучного образования) Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. В рамках этого договора ученики биолого-медицинского направления лицея имеют возможность проводить научные изыскания на кафедре биоэкологии и химии на новейшем оборудовании под непосредственным руководством ученых.

Тематика исследовательских работ учащихся тесно связана с основным направлением научно-исследовательских работ кафедры (табл.). Часть проектов была посвящена различным актуальным аспектам химии фосфорорганических соединений, малых карбоциклов и их функциональных производных. В последние годы основной упор в исследованиях был сделан на изучение реакций O- и N-функционализированных производных фурана с N-арилмалеинимидами, выявление флуоресцентной и биологической активности синтезированных соединений. В соответствии с разработанной программой старшеклассники осуществляют все этапы исследования. В ходе совместной работы проводятся серьезные многостадийные синтезы, в результате которых учащиеся получают новые вещества, изучаются их свойства, определяются строение и выявляются практически полезные свойства для дальнейших рекомендаций к использованию. Полученные экспериментальные данные обсуждаются с привлечением современных физико-химических методов и оформляются в виде экспериментальной НИР.

Оформленные научные проекты в дальнейшем проходили все этапы конкурсного отбора, включая школьный, городской и республиканский. Проекты победителей и призеров затем направлялись для участия в НПК и конкурсах всероссийского и международного уровней, проводимых ведущими вузами России. Наиболее крупными из них являются следующие:

– Международная конференция научно-технических работ школьников «Старт в науку» – Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Долгопрудный;

– Балтийский научно-инженерный конкурс фонда поддержки научной и научно-технической деятельности молодых ученых «Время науки» – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (ИТМО), Санкт-Петербург;

– Приволжский научно-технический конкурс работ школьников «РОСТ-ISEF» с правом участия в отборочном туре Международной ярмарки Intel ISEF – учредителем конкурса является ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН» при участии ведущих университетов, инновационных и промышленных предприятий Приволжского региона, г. Нижний Новгород;

– Всероссийский конкурс компьютерных презентаций школьников по нанотехнологиям - «Мой НАНОМИР» – Томский политехнический университет;

– Всероссийский конкурс научных работ школьников «Юниор» – Московский инженерно-физический институт (ныне Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»);

– Российская научная конференция школьников «Открытие» – департамент образования Ярославской области, г. Ярославль.

Такая система вовлечения старшеклассников в научно-исследовательскую работу дает положительные результаты, о чем свидетельствуют итоги научно-практических конференций и конкурсов различного уровня (табл.).

Таблица

Тематика НИР и результаты участия учащихся в НПК

| Тема научно-исследовательской работы | Научно-практические конференции | | |
|--|---------------------------------|---|---|
| | «Открытие юных» г. Чебоксары | Республиканская конференция- фестиваль обучаю- щихся «Excelsior» | Россия |
| Реакции 7,7-дихлорбицикло- [4.1.0]гептанов с три- и пента- хлоридами фосфора (2003 г) [5-10] | 1-ое место | 1-ое место | «Старт в науку» – поощри- тельная грамота |
| Синтез и свойства 2-арилоксиметил- 1,1-дихлорциклопропанов (2004 г) [11] | 2-ое место | 1-ое место | «Старт в науку» – 3 место |
| Синтез и свойства фосфорили- рованных эфиров перметриновой кис- лоты (2007 г) [12] | 1-ое место | 1-ое место | – |
| Особенности галогенирования бета- диолов (2008 г) [13] | 1-ое место | 1-ое место | Лауреат НПК «Большая Волга», г. Казань |
| Синтез и свойства гем-дихлор- циклопропилметилборатов (2010 г) [14, 15] | 1-ое место | 1-ое место | XIII Рос. науч. конф. школьников «Открытие» – 1-ое место; VI Балтийский научно- инженерный конкурс – 3-е место и специальная премия |
| Синтез и биологические свойства 1- метил-2,2-дихлорциклопропан- карбоновой кислоты и её производных (2011 г) [16] | 1-ое место | 1-ое место | Всерос. НПК «Современные проблемы естественно- научных исследований», г. Чебоксары – 1-ое место |
| Синтез и изучение свойств 4-аза-4- арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5- диоксотрицикло[5.2.1 ^{1.7} .0 ^{2.6}]дец-8-енов (2013 г) [17-21] | 1-ое место | 1-ое место | «Мой НАНОМИР-2013» – победитель; IX Балтийский научно- инженерный конкурс – 3-е место и специальная премия; «РОСТ-ISEF» – 1-ое место |
| Реакции аддуктов пятихлористого фосфора и алкенов с основными ами- нокислотами (2014 г) [22-25] | 1-ое место | 1-ое место | Всерос. фестиваль науки - Лауреат конкурса иннова- ционных проектов школь- ников «Наука и технологии 2019 года», г. Чебоксары |
| Исследование флуоресцирующей ак- тивности арилфосфоновых кислот (2015 г) [26-28] | 2-ое место | 2-ое место | – |
| Изомерные (3,5-диоксо-1-формил-10- окса-4-азатрицикло[5.2.1 ^{1.7} .0 ^{2.6}]дец-8- ен-4-ил)бензойные кислоты как флуо- ресцентные зонды для выявления ами- лоида (2016 г) [29, 30] | 1-ое место | 1-ое место | «Старт в Науку» – 2-е место |
| Разработка методов синтеза аммоний- ных и гидразониевых солей 1-метил- 2,2-дихлорциклопропанкарбоновой кислоты и выявление их биологической активности (2017 г) [31] | 2-ое место | 2-ое место | «Старт в Науку» – 3-е место |
| Реакции изомерных N-голил- малеинимидов с O-функционализиро- ванными фуранами (2017 г) [32] | 1-ое место | 1-ое место | – |

Список литературы

- [1] Н.И. Лосева. Исследовательская работа учащихся в условиях школьной лаборатории. *Химия в школе*, № 6 (2016) С. 42-44.
- [2] Л.В. Иванова. Из опыта организации проектной деятельности школьников/ *Химия в школе*, № 6 (2014) С. 35-38.
- [3] Л.П. Федюкина. Развитие исследовательских компетенций как способ повышения качества образования. *Химия в школе*, № 9 (2015) С. 75-77.
- [4] Н.Г. Парамонова. *Внеклассная работа по химии*, Чуваш. гос. пед. ун-т, Чебоксары (2016).
- [5] Ю.Н. Митрасов, Е.А. Симакова, О.В. Кондратьева, И.Н. Смолина. Реакции 2-алкокси-7,7-дихлорбицикло[4.1.0]гептанов с трихлоридом фосфора. *Журнал общей химии*, **77** (2007) С. 2058-2059.
- [6] Yu.N. Mitrasov, O.V. Kondratyeva, I.N. Smolina, E.A. Simakova. Reactions of 2-alkoxy-7,7-dichlorobicyclo[4.1.0]heptanes with phosphorus trichloride *Russian Journal of General Chemistry*, **77** (2007) P. 2203-2204.
- [7] Ю.Н. Митрасов, Е.А. Симакова, Н.В. Хваткин, О.В. Кондратьева, И.Н. Смолина. Особенности реакций 7,7-дихлорбицикло[4.1.0]гептана с трихлоридом фосфора. *Журнал общей химии*, **78** (2008) С. 1053-1054.
- [8] Yu.N. Mitrasov, O.V. Kondratyeva, I.N. Smolina, E.A. Simakova, N.V. Khvatkin. Features of the reaction of 7,7-dichlorobicyclo[4.1.0]heptane with phosphorus trichloride. *Russian Journal of General Chemistry*, **78** (2008) P. 1292-1293. DOI 10.1134/S1070363208060364.
- [9] Ю.Н. Митрасов, О.В. Кондратьева. Реакции производных бицикло[4.1.0]гептана с пентахлоридом фосфора. *Журнал общей химии*, **80** (2010) С. 871-872.
- [10] Yu.N. Mitrasov, O.V. Kondratyeva, Reactions of bicyclo[4.1.0]heptane derivatives with phosphorus pentachloride. *Russian Journal of General Chemistry*, **80** (2010) P. 1041-1042. DOI 10.1134/S1070363210050336.
- [11] Т.З. Федорова, Ю.Н. Митрасов. Синтез и свойства 2-(2-алкоксибензил)-1,1-дихлорциклопропанов. *Успехи в химии и химической технологии : сб. науч. тр. XVII Международ. конф. молодых ученых по химии и хим. технологии «МКХТ-2003». Т. XVII. № 3*, РХТУ, Москва (2003) С. 112-124.
- [12] Ю.Н. Митрасов, О.А. Колямшин, Е.А. Иванова. Пестицидная активность фосфорилированных эфиров перметриновой кислоты. *Материалы Одиннадцатой международной научной школы «Наука и инновации-2016» ISS «SI-2016»*, Йошкар-Ола (2016) С. 266-268.
- [13] Ю.Н. Митрасов, А.Н. Рогожин, Д.А. Соснов, И.Н. Смолина. Особенности реакции 1,3-алкандиолов с производными неорганических кислот. *Проблемы молодежи в контексте естественно-научных исследований : сб. науч. ст.*, Чуваш. гос. пед. ун-т, Чебоксары (2007) С. 33-34.
- [14] Ю.Н. Митрасов, О.В. Кондратьева, А.В. Гаврилова. Синтез и свойства 2,2-дихлорциклопропилметилборатов. *Журнал общей химии*, **78** (2008) С. 1755.
- [15] Yu.N. Mitrasov, O.V. Kondratyeva, A.V. Gavrilova. Synthesis and properties of gem-dichlorocyclopropylmethylborates. *Russian Journal of General Chemistry*, **78** (2008) P. 1992-1993. DOI 10.1134/S1070363208100344
- [16] Ю.Н. Митрасов, И.В. Савельева, Т.В. Михайлова. Синтез производных 1-метил-2,2-дихлорциклопропанкарбоновой кислоты и исследование их биологической активности. *Проблемы молодежи в контексте естественно-научных исследований : сб. науч. ст.*, Чуваш. гос. пед. ун-т, Чебоксары (2009) С. 52-53.
- [17] В.А. Козлов, Ю.Н. Митрасов, О.В. Кондратьева, И.В. Гордеева, О.Б. Полякова, О.Е. Кириллова, А.Н. Кочнева, А.А. Авруйская, В.А. Сорокина, О.А. Колямшин. 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», Марийский ин-т образования, Йошкар-Ола (2012) С. 232-235.

[18] Ю.Н. Митрасов, А.А. Авруйская, О.В. Кондратьева. Взаимодействие нитро- и аминозамещенных фенилмалеинимидов с фурфуроловым спиртом. *Журнал общей химии*, **85** (2015) С. 82-85.

[19] Yu.N. Mitrasov, A.A. Avruiskaya, O.V. Kondrat'eva. Condensation of nitro- and amino-substituted phenylmaleimides with furfuryl alcohol. *Russian Journal of General Chemistry*, **85** (2015) P. 75-78. DOI:10.1134/S1070363215010132.

[20] Ю.Н. Митрасов, А.А. Авруйская, О.Б. Полякова, О.Е. Иванова. Взаимодействие производных (2,5-дигидро-2,5-диоксо-1H-пиррол-1-ил)бензойных кислот с α -фурилметанолом. *Журнал органической химии*, **51** (2015) С. 1206-1207.

[21] Yu.N. Mitrasov, A.A. Avruiskaya, O.V. Polyakova, O.E. Ivanova. Reaction of Derivatives of (2,5-Dihydro-2,5-dioxo-1H-pyrrol-1-yl)benzoic Acids with α -Furylmethanol *Russian Journal of Organic Chemistry*, **51** (2015) P. 1187-1188. DOI 10.1134/S1070428015080229.

[22] Ю.Н. Митрасов, О.В. Кондратьева, Н.А. Лукичева, И.В. Гордеева, А.Г. Кириллова. Реакции аминокислот с арилхлорфосфоранами и соединениями хлорфосфония. *Журнал общей химии*, **81** (2011) С. 687-688.

[23] Yu.N. Mitrasov, O.V. Kondrat'eva, N.A. Lukicheva, I.V. Gordeeva, A.G. Kirillova. Reactions of amino acids with arylchlorophosphoranes and chlorophosphonium compounds. *Russian Journal of General Chemistry*, **81** (2011) P. 777-778. DOI 10.1134/S1070363211040293

[24] Ю.Н. Митрасов, Н.А. Лукичева, О.В. Кондратьева, И.Н. Смолина, Т.В. Михайлова. Реакции 1-алкенилтрихлорфосфоний гексахлорфосфатов с двухосновными аминокислотами. *Химия и современность : сб. науч. статей*, Чуваш. гос. пед. ун-т, Чебоксары (2016) С. 47-48.

[25] Ю.Н. Митрасов, И.Н. Смолина, Н.А. Лукичева, В.В. Егорова. Реакция 2-хлоргексилтрихлорфосфоний гексахлорфосфата с L-лизинном. *Химия и современность : сб. науч. статей*, Чуваш. гос. пед. ун-т, Чебоксары (2016) С. 49-50.

[26] О.М. Стапеева, Ю.Н. Митрасов, А.А. Авруйская, В.А. Козлов. Флуоресцентные свойства аренфосфоновых кислот. *Научно-информационный вестник докторантов, аспирантов и студентов*, Чуваш. гос. пед. ун-т, Чебоксары (2016) С. 139-143.

[27] Ю.Н. Митрасов, В.А. Козлов, Т.В. Васильева, О.В. Кондратьева. Исследование флуоресцирующей активности 4-хлорфенилфосфоновой кислоты. *Химия и современность : материалы III Всерос. науч. конф. с междунар. участием*, Чуваш. гос. пед. ун-т, Чебоксары (2015) С. 50-52.

[28] А.А. Авруйская, Ю.Н. Митрасов, В.А. Козлов, Н.А. Лукичева, М.Н. Отлашкина. Исследование флуоресцентной активности 2-фенилэтилфосфоновой кислоты. *Проблемы теоретической и экспериментальной химии : тез. докл. XXV Рос. молодежной науч. конф.*, Изд-во Урал. ун-та, Екатеринбург (2015) С. 135-136.

[29] В.А. Козлов, С.П. Сапожников, Ю.Н. Митрасов, А.А. Авруйская, П.Б. Карышев, А.И. Шептухина, О.В. Николаева. Амилоид и молекулярные моторы. *Материалы Десятой международной научной школы «Наука и инновации – 2015» ISS «SI-2015»*, Поволжский гос. технолог. ун-т, Йошкар-Ола (2015) С. 197-204.

[30] В.А. Козлов, С.П. Сапожников, Ю.Н. Митрасов, А.А. Авруйская, П.Б. Карышев, А.И. Шептухина, О.В. Николаева. Способ флуоресцентного гистологического выявления амилоида. *Патент РФ № 2611408*, Опубл. 21.02.2017, Бюл. № 6.

[31] Ю.Н. Митрасов, И.Г. Яковлева, О.В. Кондратьева, Т.В. Михайлова, М.И. Морозова, А.В. Терентьева. Синтез аммонийных и гидразониевых солей 1-метил-2,2-дихлорциклопропанкарбоновой кислоты и их биологическая активность. *Химия и современность : сб. науч. статей*, Чуваш. гос. пед. ун-т, Чебоксары (2017) С. 57-59.

[32 31] Ю.Н. Митрасов, А.А. Авруйская, Н.А. Смирнова, О.А. Колямшин, Т.В. Михайлова, А.Е. Арисова, М.В. Мареев. Реакции диенового синтеза изомерных N-толилмалеинимидов с O-функционализированными фуранами. *Химия и современность : сб. науч. статей*, Чуваш. гос. пед. ун-т, Чебоксары (2017) С. 52-54.

**ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ОПТИКИ И СПЕКТРОСКОПИИ НА ШКОЛЕ
«НАУКА И ИННОВАЦИИ»: ОТ САТЕЛЛИТНОГО СИМПОЗИУМА
ДО ШКОЛЫ-СЕМИНАРА «ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ:
НАНООПТИКА, ФОТОНИКА И КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ»****И.И. Попов¹, К.Р. Каримуллин²**

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Поволжский государственный технологический университет»

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии
Российской академии наук

Исследования по оптике и спектроскопии всегда составляли значительную часть программы научной школы «Наука и инновации». В первую очередь это было связано с областью научных интересов основателей школы: д.ф.-м.н., профессора И.И. Попова (когерентная оптика и резонансная информатика), д.ф.-м.н., профессора В.В. Самарцева (когерентная и нелинейная оптика, квантовая оптика и информатика, оптическая спектроскопия), д.ф.-м.н., профессора А.П. Сухорукова (фотоника, плазмоника, когерентная и нелинейная оптика, физика волновых процессов), а также их учеников и коллег.

В 2014 году в рамках VIII международной научной школы «Наука и инновации» был организован Сателлитный симпозиум по когерентной и квантовой оптике и физике волновых процессов, посвященный памяти Почетного профессора Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, академика РАЕН, доктора физ.-мат. наук, профессора Анатолия Петровича Сухорукова. В работе симпозиума приняли участие коллеги и ученика А.П. Сухорукова, которые поделились своими воспоминаниями и рассказали о вкладе его работ в развитие фотоники и физики волновых процессов. Идея проведения небольшого научного семинара, посвященного фундаментальным и прикладным разработкам в области оптики и спектроскопии получила поддержку организаторов и участников школы «Наука и инновации». В 2015 году был проведен Сателлитный симпозиум по когерентной и квантовой оптике, а с 2016 года на постоянной основе организуется Школа-семинар «Фундаментальные исследования и инновации: нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия». Сопредседатели программного комитета: д.ф.-м.н., профессор И.И. Попов (ПГТУ, Йошкар-Ола), д.ф.-м.н., профессор, академик РАЕН В.В. Самарцев (КФТИ КазНЦ РАН, Казань), к.э.н., профессор А.И. Каширин (ГК «Ростех», Москва). Сопредседатели организационного комитета: д.ф.-м.н., профессор И.И. Попов, д.ф.-м.н., профессор РАН А.А. Калачев (КФТИ КазНЦ РАН, Казань), д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Д.В. Иванов (ПГТУ, Йошкар-Ола). Ученый секретарь – к.ф.-м.н. К.Р. Каримуллин (ИСАН, Москва). Тематика докладов на школе-семинаре посвящена исследованиям в области фотонного эха, когерентной оптики и спектроскопии, нелинейной оптики, квантовой оптики и квантовой информатики, фотоники и нанооптики. Среди постоянных участников семинара – представители научных «оптических» школ из Йошкар-Олы (ПГТУ и МарГУ), Казани (КФТИ, КФУ, КНИТУ-КАИ (ККЦ), КГЭУ), Москвы (МГУ, ФИАН, ИСАН, МПГУ, МФТИ), Самары (СФ ФИАН), Санкт-Петербурга (СПбНИУ ИТМО) и других городов России.

О востребованности школы-семинара свидетельствует тот факт, что материалы докладов, прошедшие отбор членами программного комитета, публикуются в научном издании Российской академии наук – журнале Известия РАН. Серия физическая. Материалы XI Международной научной школы-семинара «Фундаментальные исследования и инновации: нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия» (5-9 июля 2016 г.) были опубликованы в № 5, том 81 (2017) под общей редакцией доктора физ.-мат. наук А.А. Калачева и доктора физ.-мат. наук А.В. Наумова (см. рис. 1). В выпуск вошло 10 статей (список показан на рис. 2).

По итогам XII Международной научной школы-семинара «Фундаментальные исследования и инновации: нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия» (11-15 июля 2017 г.) программным комитетом отобраны для публикации 18 статей с материалами докла-

дов. Далее представлено содержание выпуска, подготовленного для опубликования в журнале Известия РАН. Серия физическая в 2018 году, с краткими аннотациями статей.

**МАТЕРИАЛЫ XI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ-СЕМИНАРА
“ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ:
НАНООПТИКА, ФОТОНИКА И КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ”
(5–9 июля 2016 г., Йошкар-Ола, Россия)**

Председатель Оргкомитета
XI Международной школы-семинара
“Фундаментальные исследования и инновации:
нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия”
д-р физ.-мат. наук **И.И. Попов**
Сопредседатели:
д-р физ.-мат. наук **А.А. Калачев**
д-р физ.-мат. наук **Д.В. Иванов**

Материалы XI Международной школы-семинара
“Фундаментальные исследования и инновации:
нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия”
под общей редакцией д-ра физ.-мат. наук **А.В. Наумова**
и д-ра физ.-мат. наук **А.А. Калачева**

Рис. 1. Шмуцтитул выпуска журнала Известия РАН. Серия физическая № 5, т. 81 (2017)

СОДЕРЖАНИЕ

Том 81, номер 5, 2017

**Материалы XI Международной научной школы-семинара
“Фундаментальные исследования и инновации:
нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия”
(5–9 июля 2016 г., Йошкар-Ола, Россия)**

| | |
|---|-----|
| Одинокная донор-акцепторная пара, прикрепленная к молекуле белка, как инструмент для исследования флуктуаций свертывания/развертывания белка <i>И. С. Осадько</i> | 586 |
| ИК-спектроскопия европиевых боратов $\text{EuM}_3(\text{BO}_3)_4$, где $M = \text{Al}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{Ga}$, со структурным типом минерала хантита <i>Е. А. Добрецова, К. Н. Болдырев, В. А. Чернышев, В. П. Петров, В. В. Мальцев, Н. И. Леонюк</i> | 589 |
| Фемтосекундная магнитооптика на основе фотонного эха <i>И. И. Попов, Н. С. Вашурин, С. Э. Путилин, А. У. Баходуров</i> | 594 |
| Фотонное эхо как метод исследования дефектной структуры поверхности кристаллических волокон тонких текстурированных пленок <i>Н. С. Вашурин, И. И. Попов, С. Э. Путилин</i> | 597 |
| Фемтосекундная спектроскопия квантовых точек на основе халькогенидов кадмия <i>А. Г. Шмелев, А. В. Леонтьев, Д. К. Жарков, В. Г. Никифоров, В. С. Лобков, В. В. Самарцев</i> | 601 |
| Новые методы компьютерного анализа флуоресцентных изображений одиночных точечных излучателей в режиме реального времени <i>А. А. Баяв, А. А. Рожнецов</i> | 606 |
| Оптимальные условия квантовой памяти на пространственно-частотной решетке резонаторов <i>Н. С. Перминов, Р. С. Кириллов, Р. Р. Латыпов, С. А. Моисеев, О. Н. Шерстюков</i> | 611 |
| Теорема площадей сигналов фотонного эха в оптически плотной среде <i>Р. В. Урманчеев, К. И. Герасимов, М. М. Миттегалиев, С. А. Моисеев</i> | 616 |
| Исчерпывающий поиск оптимальных минимаксных бинарных последовательностей <i>А. Н. Леухин, Н. В. Парсаев, В. И. Безродный, Н. А. Коковихина</i> | 621 |
| Квантовые точки во фрактальной многослойной наносистеме <i>В. С. Абрамов</i> | 625 |

Рис. 2. Часть оглавления выпуска журнала Известия РАН. Серия физическая № 5, т. 81 (2017) с материалами школы-семинара 2016 года

УДК 537.868.4

ИК И РАМАН СПЕКТРОСКОПИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Е.А. Виноградов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии
Российской академии наук
e-mail: evinogr@isan.troitsk.ru*

Колебательная спектроскопия успешно используется для характеристики неорганических твердых, сверхтвердых и антикоррозионных тонкопленочных покрытий, приготовленных как методами магнетронного распыления, так и методами химической реакции на поверхности. Наиболее детальную и корректную информацию о параметрах функции диэлектрической проницаемости покрытий можно получить из частотно-угловых спектров фононных поляритонов. В этом докладе рассматриваются оптические характеристики покрытий на примере пленок SiO_xN_y и SiO_x выращенных на стальных и кремниевых подложках.

УДК 535.354+621.373.8

МОРФОЛОГИЯ И СТРУКТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОЗДАННЫХ
STED-НАНОЛИТОГРАФИЕЙ ТРЕХМЕРНЫХ СТРУКТУРД.А. Чубич¹, Д.А. Колымагин¹, И.А. Казаков¹, А.Г. Витуховский^{1,2}

¹*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)»*

²*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук
e-mail: chubich.conference@gmail.com*

Представлена оригинальная методика получения 3D наноструктур с использованием фемтосекундной двухфотонной фотополимеризации и дополнительного тушащего фотополимеризацию лазерного излучения – STED-нанолитография. Проведено исследование влияние степени полимеризации фоторезиста Pentaerythritol Tetraacrylate (PETTA) в сочетании с фотоинициатором 7-Diethylamino-3-thenoylcoumarin (DETC) на его локальные механические свойства для фото- и термополимеризованных образцов. Предложен метод измерения степени конверсии мономера по спектрам ИК-поглощения при сопоставлении твердости получаемого полимера, измеренной с помощью атомно-силовой микроскопии. Предложен способ улучшения механических свойств 3D наноструктур, получаемых STED-нанолитографией, с помощью дополнительной термообработки после печати (post baking).

УДК 535.21:535.566+534.5:53.043:53.082.55

СЕЛЕКТИВНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НА ОСНОВЕ РЕГИСТРАЦИИ СВЕРХБЫСТРОГО
ОПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА КЕРРА С МНОГОИМПУЛЬСНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

В.Г. Никифоров, В.С. Лобков, В.В. Самарцев

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра Российской академии наук
e-mail: vgnik@mail.ru*

Обсуждается применение многоимпульсного лазерного возбуждения для управления молекулярными откликами, формирующими сверхбыстрый оптический эффект Керра, с целью реализации селективной спектроскопии комбинационно активных движений молекул в жидкости. Теоретический анализ и экспериментальные данные указывают, что многоимпульсные сценарии являются мощным спектроскопическим инструментом, позволяющим извлекать уникальную информацию об особенностях низкочастотной молекулярной динамики в жидкости.

УДК 535.012.1: 535.012.2: 538.958: 539.22: 539.194

УПРАВЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКОЙ В БЕНЗОНИТРИЛЕ И ФЕМТОСЕКУНДНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СВЕРХБЫСТРОГО ОПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА КЕРРА

Д.К. Жарков, А.Г. Шмелев, А.В. Леонтьев, В.Г. Никифоров, В.С. Лобков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра Российской Академии наук

e-mail: dzharkov@list.ru

В работе сообщается о разложении регистрируемого сигнала сверхбыстрого оптического эффекта Керра в бензонитриле на составляющие компоненты, соответствующие различным молекулярным вкладам. Для этого реализована оптическая схема на основе двухимпульсной нерезонансной накачки с регистрацией пробного лазерного импульса.

УДК 537.312.62:535.317.1

АКТИВНЫЕ НАНОЭЛЕМЕНТЫ С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ВО ФРАКТАЛЬНЫХ КВАНТОВЫХ СИСТЕМАХ

В.С. Абрамов

Государственное учреждение Донецкий физико-технический институт им. А.А.Галкина

e-mail: vsabramov@mail.ru

Теоретически и методом численного моделирования исследованы особенности стохастического поведения поля деформации активных наноэлементов с переменными параметрами в отдельном слое многослойной фрактальной квантовой системы. В качестве активных наноэлементов выбраны фрактальная дислокация и фрактальная квантовая точка. Показано, что поле деформации становится комплексным. Наличие переменных параметров приводит к появлению эффективного затухания, волновому поведению функции смещения. Поведение поля деформации для связанной системы из трех активных наноэлементов зависит от порядка следования отдельных наноэлементов и стохастических процессов. Выполнены оценки ряда спектроскопических параметров. Результаты могут быть использованы в атомтронике, нанооптике, когерентной спектроскопии.

УДК 538.95, 535-31, 530.182

ПИКОСЕКУНДНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ ФОТОВОЗБУЖДЕНИЙ В КРИСТАЛЛЕ $\text{LiLuF}_4:\text{Ce}^{3+}$

А.В. Леонтьев¹, Л.А. Нуртдинова², Д.К. Жарков¹, А.Г. Шмелев¹, В.С. Лобков¹

¹*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра Российской академии наук*

²*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"*

e-mail: AndreyVLeontyev@gmail.com

Во время разрешенных экспериментах в схеме «накачка-зондирование» определено характерное время обмена энергии примесных центров Ce^{3+} с решеткой в кристалле LiLuF_4 , а также характерное время жизни свободных фотовозбужденных носителей заряда. Параметры насыщения поглощения фемтосекундных лазерных импульсов с длиной волны 263 нм характерны для «медленного» поглотителя с участием поглощения из возбужденного состояния.

УДК 535.212:[538.958+530.182]

ВЛИЯНИЕ КВАНТОВОРАЗМЕРНОГО ЭФФЕКТА НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КВАНТОВЫХ ТОЧЕК НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДОВ КАДМИЯ

А.Г. Шмелев¹, А.В. Леонтьев¹, Д.К. Жарков¹, В.Г. Никифоров¹, Р.Р. Шамилов²,

И.В. Крюков³, В.С. Лобков¹, В.В. Самарцев¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра Российской академии наук

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Центр фотохимии Российской академии наук

e-mail: sgartjom@gmail.com

В работе исследуется влияние квантоворазмерного эффекта на фотофизические свойства квантовых точек – композитов наночастиц CdSe-CdS (ядро-оболочка) в растворе толуола, полученные коллоидным методом синтеза в водно-органических средах. С помощью фемтосекундной спектроскопии ап-конверсии люминесценции установлено, что квантовые точки имеют двух-экспоненциальный спад кинетики люминесценции: для наночастиц со средним размером 2 нм времена затухания составляют 1.8 и 26.8 пс, для наночастиц размером 2.9 нм — 4.5 и 68 пс.

УДК 535:530.182

ФОРМИРОВАНИЕ СВЕТОВЫХ ПУЛЬ И ГЕНЕРАЦИЯ ШИРОКОПОЛОСНОГО СУПЕР-
КОНТИНУУМА ПРИ ФИЛАМЕНТАЦИИ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИК ИМПУЛЬСОВ

С.В. Чекалин¹, В.О. Компанец¹, А.Е. Дормидонов², В.П. Кандидов²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии
Российской академии наук

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет
e-mail: chekalin@isan.troitsk.ru

При филаментации фемтосекундного лазерного импульса в прозрачных диэлектриках в условиях аномальной дисперсии групповой скорости зарегистрированы световые пули и генерация широкополосного суперконтинуума с минимальной длиной волны в УФ области. Длительность световой пули, измеренная методом лазерной колорации, была около одного периода колебаний светового поля, а диаметр менее 10 мкм. Численно рассчитанные параметры световой пули хорошо согласуются с экспериментально измеренными.

УДК 541.49:544.032.65

ВЛИЯНИЕ ФОТОХИМИЧЕСКИХ И ФОТОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С УЧАСТИЕМ
КИСЛОРОДА НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНКИ β -ДИКЕТОНАТНОГО
КОМПЛЕКСА ТЕРБИЯ(III)

Д.В. Лапаев¹, В.Г. Никифоров¹, В.С. Лобков¹, А.А. Князев², Ю.Г. Галяметдинов^{1,2},
К.Л. Шухина³

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра Российской академии наук

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

³Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

e-mail: d_lapaev@mail.ru

Обнаружено 18-кратное увеличение средней интенсивности люминесценции ионов Tb³⁺ в застеклованной пленке β -дикетонатного комплекса тербия(III) под действием лазерного УФ-облучения в присутствии атмосферного кислорода при температуре 300 К. Данные люминесцентной спектроскопии и комбинационного рассеяния света показали, что наблюдаемый эффект вызван фотофизическими и фотохимическими процессами изменения геометрии и структуры комплекса.

УДК 532.2

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХОХА КАК ОСНОВА МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ
ИЗОБРАЖЕНИЙ И ТРЕКИНГА ФЛЮОРЕСЦИРУЮЩИХ НАНОЧАСТИЦА.А. Баев¹, И.Ю. Еремчев², А.А. Роженцов¹, А.В. Наумов^{2,3}¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный технологический университет»²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский педагогический государственный университет»

e-mail: RozhencovAA@volgatech.net

В работе предложена методика обработки изображений и определения местоположения (трекинга) флуоресцирующих наночастиц на основе преобразования Хоха. Рассмотрены особенности анализа данных в параметрическом пространстве Хоха, обусловленные необходимостью представления координат одиночных точечных излучателей в трехмерном пространстве. Приведены примеры трекинга одиночных точечных излучателей – коллоидных полупроводниковых нанокристаллов CdSe/ZnS.

УДК 532.2

АВТОМАТИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ НАНОСКОПИЧЕСКИХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ «ДВОЙНОЙ СПИРАЛИ»А.А. Баев¹, И.Ю. Еремчев², А.А. Роженцов¹, А.В. Наумов^{2,3}¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный технологический университет»²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский педагогический государственный университет»

e-mail: RozhencovAA@volgatech.net

В работе предложена методика автоматизации обработки сдвоенных изображений флуоресцирующих наночастиц для формирования трехмерных наноскопических изображений. Показана возможность формирования трехмерного строга для прослеживания траектории спирали, обеспечивающего возможность учета межкадровой корреляции результатов съемки. Приведены примеры трекинга сдвоенных изображений точечных излучателей.

УДК 535.34

БИНАРНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛБУТИРАЛЯ:
ИК ФУРЬЕ-СПЕКТРЫ, КОНФОРМАЦИОННАЯ ДИНАМИКА, СВОБОДНЫЙ ОБЪЕМ

Д.И. Камалова, С.Н. Наумова, Л.Р. Абдразакова

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

e-mail: dina.kamalova@kpfu.ru

С помощью ИК фурье-спектроскопии конформационно-неоднородных зондов исследована локальная молекулярная динамика полимерных систем на основе поливинилбутираля. Изучены бинарные смеси поливинилбутираля и полиметилметакрилата составов 80:20, 60:40, 40:60 и 20:80. Получены температуры вторичных релаксационных переходов и разности энталпий конформаций молекул зондов в этих системах. Оценены эффективные размеры подвижных элементов свободного объема, диффузия которых обуславливает транспорт малых молекул при мембранном газоразделении.

УДК 535.212

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОГЕРЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ
ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА РАННИХ СТАДИЯХТ.Ю. Могильная^{1,2}, А.Г. Ботиков^{2,3}, А.А. Агибалов²¹Акционерное общество «Техноимпорт»²Закрытое акционерное общество «СЭРВЭТ»³Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-исследовательский
центр эпидемиологии и микробиологии имени почётного академика Н.Ф. Гамалеи»

e-mail: mogilnay@mail.ru

В данной работе представлены исследования, направленные на разработку оптического экспресс-метода контроля онкологических заболеваний, основанного на нелинейном явлении вынужденного рассеивания Манделъштамма – Бриллюэна. С этой целью были исследованы спектры карцином H29 и HELA и спектры наномаркеров для ПЦР реакции.

УДК 004.27:530.145

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕТЕРОДИННОЙ СХЕМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ КВАНТОВОЙ КОММУНИКАЦИИ НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ

К.С. Мельник¹, Н.М. Арсланов¹, О.И. Банник¹, Л.Р. Гилязов¹, В.И. Егоров², А.В. Глейм^{1,2},
С.А. Моисеев¹¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», Казанский квантовый центр²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

e-mail: aglejm@yandex.ru

Используемые в системах квантовой коммуникации детекторы фотонов накладывают существенные ограничения на скорость регистрации сигналов и уровень темновых срабатываний, требуют охлаждения до низких температур, а также имеют высокую стоимость. В качестве альтернативы ранее были предложены схемы гомодинного и гетеродинного детектирования квантовых сигналов. В данной работе исследуется возможность реализации гетеродинной схемы детектирования в системе квантовой коммуникации на боковых частотах, перспективной для создания квантовых сетей.

УДК 535.2

ФОТОННОЕ ЭХО – КАК МЕТОД ФЕМТОСЕКУНДНОЙ МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ
СПЕКТРОСКОПИИ ТОНКИХ ТЕКСТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОКИ.И. Попов¹, Н.С. Вашурин¹, Е.А. Виноградов², В.О. Компанец², С.В. Чекалин², А.У. Баходуров¹¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный технологический университет»²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии
Российской академии наук

e-mail: biht.orol@gmail.com

Показаны результаты обнаружения периодической модуляции спада интенсивности фемто-секундного СФЭ при изменении величины временных интервалов между возбуждающими импульсами и дискретном значении напряженности продольно приложенного однородного магнитного поля. По величине периода этой модуляции проведена оценка g-фактора квантового перехода. По значению g-фактора сделан вывод о формировании эффекта нефарадеевского поворота плоскости поляризации фотонного эха на сложных (заряженных) экситонных состояниях тонких пленок.

УДК 004.27:004.056.55

КВАНТОВЫЙ ТРАНЗИСТОР НА АТОМНО-ФОТОННОЙ МОЛЕКУЛЕ

С.О. Тарасов¹, С.Н. Андрианов², Н.М. Арсланов¹, С.А. Моисеев¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», Казанский квантовый центр

²Государственное научное бюджетное учреждение «Академия наук Республики Татарстан», Институт перспективных исследований
e-mail: samoi@yandex.ru

Предложен квантовый транзистор на атомно-фотонной молекуле, представляющей собой линейную цепочку трех связанных микрорезонаторов, каждый из которых содержит по одному резонансному атому. Схема предложенного квантового транзистора обладает свойством масштабируемости и может использоваться для выполнения квантового логического вентиля CNOT.

УДК 535.42

АЛМАЗНАЯ ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА,
СФОРМИРОВАННАЯ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ

А.Л. Степанов^{1,2}, В.И. Нуждин¹, М.Ф. Галяутдинов¹, В.Ф. Валеев¹, Н.В. Курбатова¹,
В.В. Воробьев^{1,2}, Ю.Н. Осин^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра Российской академии наук

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Междисциплинарный центр «Аналитическая микроскопия»
e-mail: aanstep@gmail.com

В работе показан принципиально новый способ создания дифракционной решетки на поверхности алмаза при его имплантации ионами бора через наложенную маску. Установлено, что в процессе ионного облучения в немаскированных областях имплантируемого алмаза в его приповерхностной области происходит графитизация, приводящая к набуханию поверхностного слоя и формированию фазовой периодической структуры.

УДК 51-74

ФОРМИРОВАНИЕ 3D РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РЕЖИМЕ SAR

А.А. Роженцов¹, А.Н. Леухин², В.И. Безродный², А.А. Воронин², Н.А. Коковихина²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный технологический университет»

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Марийский государственный университет»
e-mail: RozhencovAA@volgatech.net

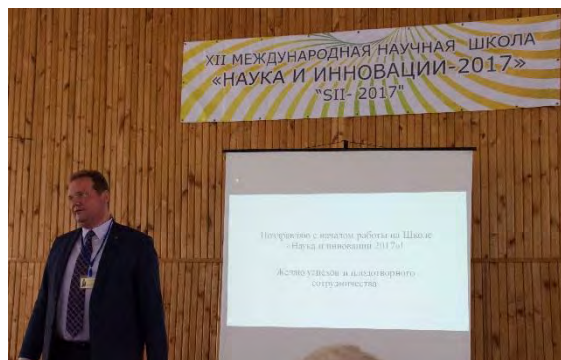
Рассмотрены алгоритмы формирования 3D радиолокационных изображений в многопозиционных интерферометрических системах дистанционного зондирования Земли. Представлены примеры восстановления карты рельефа для систем с одной и двумя передающими антеннами.

Мы уверены, что проведение ежегодной научной школы-семинара «Фундаментальные исследования и инновации: нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия» с опубликованием материалов докладов в журнале Известия РАН. Серия физическая станет еще одной доброй традицией Международной научной школы «Наука и инновации».

ФОТОХРОНИКА ШКОЛЫ



Почетные лектора Школы: председатель Школы д.ф.-м.н., профессор И.И. Попов и академик РАН, научный руководитель КФТИ КазНЦ, почетный лектор Школы д.-ф.-м.н К.М. Салихов на открытии Школы



Проректор по научной работе ПГТУ чл. корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор РАН Д.В. Иванов открывает заседания Школы



Сопредседатель Школы академик РАЕН, почетный лектор Школы, д.ф.-м.н., профессор В.В. Самарцев приветствует участников Школы



Ученый секретарь Школы, почетный лектор Школы, чл. корр РАЕ, д.биол.н., к.мед.н., профессор В.А. Козлов на открытии Школы



Почетный лектор Школы чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Е.А. Виноградов во время чтения лекции



Почетный лектор Школы, секретарь Комиссии РАН по лженауке, д.ф.-м.н., профессор Р.Ф. Полищук



Почетный лектор Школы, ген. директор НПФ «Медасс» (г. Москва) Д.В. Николаев



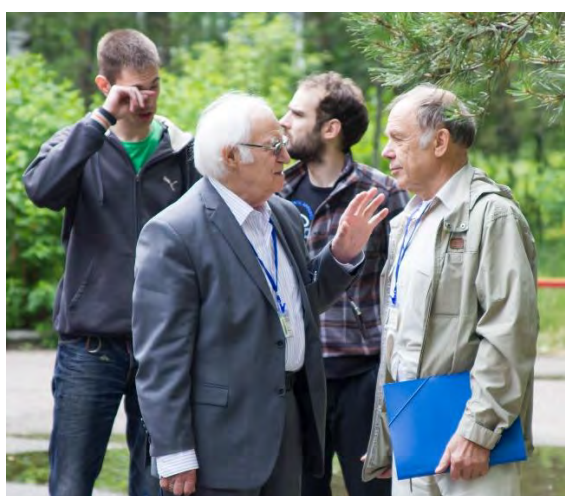
Организатор Школы, зав. кафедрой ПГТУ, к.т.н., доцент Н.И. Сушенцов



Обмен мнениями во время перерыва



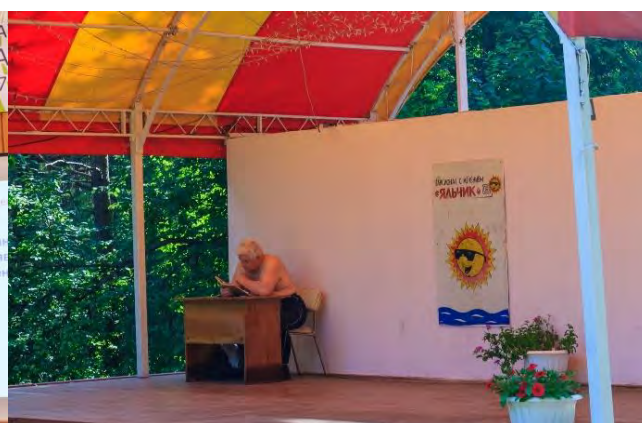
Во время заседания Школы



У каждого поколения своя тема для общения



Лекцию читает академик РАН
К.М. Салихов



Рабочий кабинет профессора Р.Ф.
Полищука



Профессор В.А. Козлов читает лекцию о методах исследования амилоида, причинах старения и смерти



Кажется, я сегодня подзалетел:
А.В. Масленников



Фото на память о незабываемой встрече



После окончания заседания секции



Во время дискуссии на Школе



Профессора в работе



К.т.н., доцент А.А. Баев и зав. кафедрой РТиМБС ПГТУ, д.т.н., профессор А.А. Роженцов во время заседания



Лекцию читает проректор по научной работе Марийского государственного университета, д.ф.-м.н., профессор А.Н. Леухин



Профессора В.Г. Наводнов и С.В. Чекалин



Докладчик профессор В.С. Абрамов



Представитель Донбаса
В.С. Абрамов



А.А. Баев во время
кофе-брейка



У нас в Одессе –
это очевидно



Разработчик спортивной ча-
сти ВФСК ГТО, к.п.н., до-
цент Т.С. Гильмутдинов



Хозяйский взгляд
на кофе-брейк



М.Ю. Щелькалин ФГУП
МОКБ «МАРС»



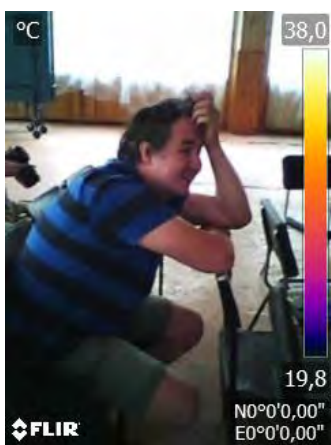
Докладчик О.Е. Рыжакова



Я не торгую, я угощаю



Хозяйка Школы
Е.И. Гладышева



Ученый секретарь Школы-семинара К.Р Каримуллин (светлая голова)



Профессор В.А. Голенищев-Кутузов (светлая голова)
Профессор Р.Ф. Полищук (светлая не только голова)



Руководитель Школы профессор И.И. Попов (светлая голова)



Угадайте кто такой?



Докладчик, д.мед.н.,
профессор С.Д. Бородуллин



В дискуссию вступает Ю.В. Банный



Обмен мнениями



Во время туристического похода на
о. Глухое



Каждый вечер начинается у этого огонька



Рыбаки приглашают на уху



Таджикский плов



Собрались на таджикский плов



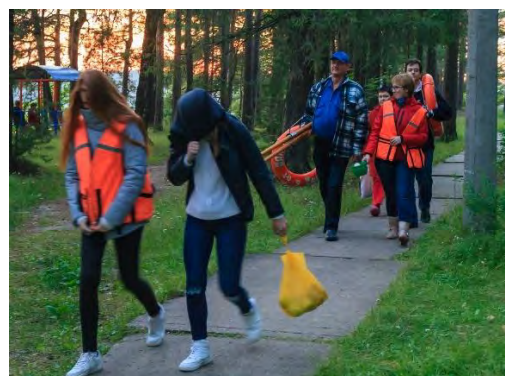
Первый вечер был плов, второй – уха, на третий – грибы (тьфу, какая противная пища, потом был плов). Надеюсь, сегодня чего-нибудь съедобное подадут?



Хороший летний вечер вместе



Наше любимое место пребывания



Тайное бегство на лодочную прогулку



Члены локального оргкомитета: Н.И. Попова, Е.И. Гладышева, А.А. Гладышева



Представители «Медасс» хорошо усвоили: в армии надо держаться поближе к кухне, а на Школе – поближе к локальному оргкомитету

ПРЕКРАСНЫЕ ВЕСТИ – 50 ЛЕТ ВМЕСТЕ!

В.В. Самарцев



23 декабря 2017 года исполнилось 50 лет со дня регистрации моего бракосочетания с Валентиной Александровной Самарцевой (урожденной – Байковой). Самое время сказать моей жене слова благодарности за любовь и верность, благодаря которым я мог заниматься наукой и творчеством в течение полувека. На приведенной здесь фотографии мы с женой изображены во время празднования одного из юбилеев этой даты.

Моя жена окончила в 1967 году вечернее отделение филологического факультета Казанского государственного (ныне – федерального) университета по специальности «английский язык» (второй язык – французский), одновременно работая преподавателем английского языка в различных школах г. Казани и республики Татарстан. Помимо того, что Валя была отличной женой и замечательной хозяйкой, она помогала мне в переводе статей на английский язык (а их у меня – 300) и в подготовке англоязычных книг (их у меня – 4), а также в проверке англоязычных докладов. Кроме того, мне было легко с ней в общении с зарубежными учеными (Свеном Хартманом, Джамалем Манассахом и Дитером Нитцольдом), как в России, так и за границей (в Париже, Лозанне, Братиславе и Будапеште). Отмечу, что Валентина Александровна была всегда красивой и модной, в том числе, и сейчас. Мой друг и коллега А.В. Марин всегда говорил: «Повезло Самарцеву с женой!». Я с ним полностью согласен и в юбилей нашего счастливого брака восклицаю: «Спасибо Валюше – любимому человеку, с которым мы прожили уже полвека!»



Участники Школы после ее закрытия

ПЕРВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

Наука и инновации
ISS«SI-2018»

Тринадцатая международная научная школа
«Наука и инновации — 2018»:

**Золото России — не в рудниках,
Золото России — в умах!**



Йошкар–Ола 2018

С 2 июля по 8 июля 2018 года в г. Йошкар–Оле на базе Поволжского государственного технологического университета с участием Казанского физико-технического института КазНИЦ РАН и Института спектроскопии РАН проводится Тринадцатая международная научная школа «Наука и инновации – 2018».

Организаторы Школы

Научно-технический совет Государственной корпорации «Ростех»
Российский фонд фундаментальных исследований
Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере
Министерство образования и науки Республики Марий Эл
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»
ФГБУН «Казанский физико-технический институт им. Е. К. Завойского
Казанского научного центра 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»
Российская академия естественных наук
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 – 2018»
10. Конкурс ученых-инноваторов «Оригинальный научный доклад»
11. Выставка-конкурс инновационных разработок

Научное издание

**МАТЕРИАЛЫ
ДВЕНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ
«НАУКА И ИННОВАЦИИ – 2017»
ISS «SI–2017»**

**МАТЕРИАЛЫ
ДВЕНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ-СЕМИНАРА
«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ:
НАНООПТИКА, ФОТОНИКА И КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ»**

Ответственный за выпуск И. И. Попов

Дизайн и компьютерная верстка В. А. Козлова

Все статьи публикуются в авторской редакции

Подписано к печати 25.08.2017. Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Тип Таймс.
Усл. печ. л. 31,85. Тираж 500 экз. Заказ № 357

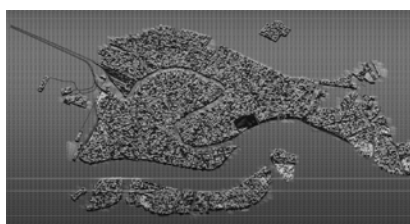
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано в ООО издательско-полиграфическая фирма «СТРИНГ»
424000 Йошкар-Ола, ул. Строителей, 95



доктор физико-математических наук,
кандидат технических наук,
научный руководитель

**Леухин Анатолий
Николаевич**



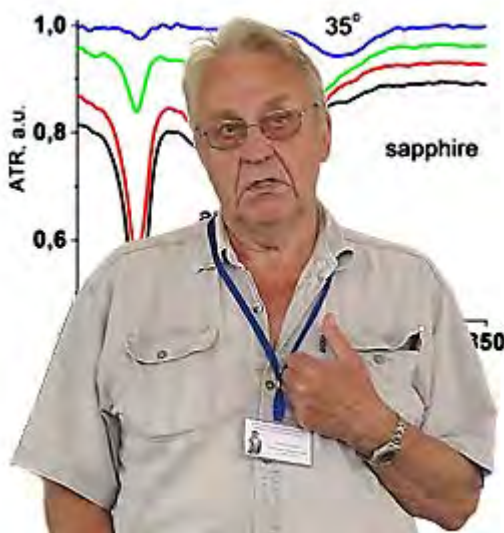
ЛАУРЕАТ КОНКУРСА «ОРИГИНАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ – 2017»

за цикл работ в области разработки алгоритмов и программного обеспечения по моделированию процессов формирования радиолокационных изображений, построенных с помощью радиолокационных систем с синтезированной апертурой антенны.

Научным коллективом разработаны математические модели и алгоритмы формирования радиоголограмм, а также построения 2D и 3D радиолокационных изображений в радиолокаторах с синтезированной апертурой антенны для X, C и P диапазонов, размещаемых на летательных аппаратах в воздушном и космическом пространстве в различных режимах съемки: поляризационном, интерференционном, режиме обнаружения и сопровождения подвижных наземных целей.

С использованием разработанного математического и алгоритмического обеспечения реализовано программное обеспечение для моделирования процесса формирования радиоголограмм и радиолокационных изображений при обзоре 3D моделей поверхности Земли с учетом значений удельных эффективных площадей рассеяния более 20 типов материалов подстилающей поверхности на различных поляризациях и под различным углом обзора, а также с учетом физических особенностей распространения, поглощения и отражения электромагнитных волн в различных частотных радиодиапазонах.

Разработанное программное обеспечение является уникальным и реализовано на различных устройствах: многопроцессорных, высокопроизводительных, вычислительных кластерах на базе многоядерных CPU, на графических станциях с многопроцессорными GPU, а также на устройствах платформы VPX с применением ПЛИС-технологий. Адекватность разработанного алгоритмического и программного обеспечения подтверждена результатами летных испытаний с использованием бортовых радиолокационных комплексов с синтезированной апертурой в X диапазоне.



ЛАУРЕАТ КОНКУРСА

«ОРИГИНАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ – 2017»

За разработку ИК и Раман спектроскопии для контроля и исследования тонкопленочных покрытий.

Член-корреспондент РАН
доктор физико-математических наук, профессор
Евгений Андреевич Виноградов

Рассмотрено применение колебательной спектроскопии для характеристики неорганических сверхтвердых и антикоррозионных покрытий, приготовленных как методами напыления, так и методами химичкой реакции на поверхности. Экспериментальные данные положения максимумов полос поглощения в спектрах НПВО дают дисперсионные кривые поляритонов. Оптические константы и пленки, и подложки получаем при наилучшем совпадении экспериментальной и расчетной дисперсией. Метод спектроскопии НПВО из качественного превращается в количественный и может быть использован для характеристики очень тонких пленок на диэлектрических подложках, что может быть полезно при отработке технологии приготовления тонкопленочных структур с заданными физическими свойствами.

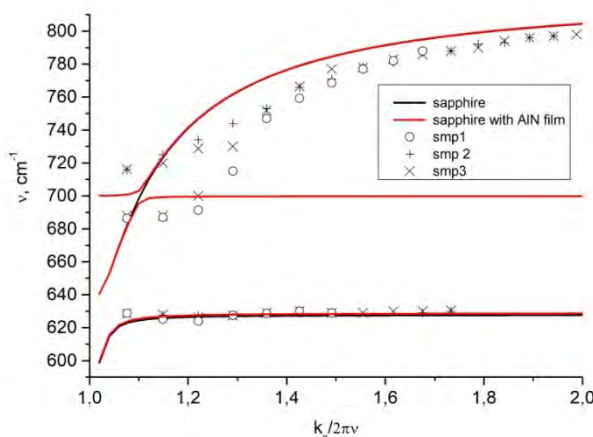


Рис. Дисперсия поверхностных поляритонов не отожженного (o), отожженного (+) и нитризованного сапфира (x). Расчетные кривые получены для сапфира (черная кривая) и сапфира с пленкой AlN толщиной 2 нм. Частота поперечных колебаний AlN 700 см^{-1} и частотой продольных колебаний сапфира 890 см^{-1} (красные кривые).