# МАТЕРИАЛЫ XI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

## Наука и инновации - 2016

## ISS «SI-2016”

Материалы восьмого международного научного школы-семинара

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



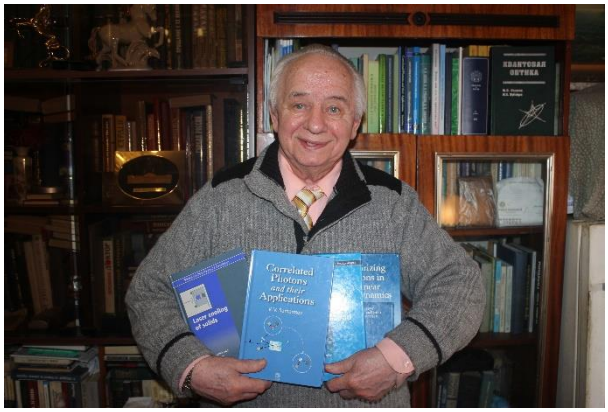
Йошкар-Ола 2016

# ХРОНИКА

# НОВАЯ АНГЛОЯЗЫЧНАЯ КНИГА ПО КВАНТОВОЙ ОПТИКЕ 2015 ГОДА ВЫПУСКА

Участникам международной научной школы «Наука и инновации» сообщаю, что издательством «Cambridge International Science Publishing», расположенном в г. Кэмбридж Соединенного Королевства Великобритании и Северной Ирландии (сайт издательства: www.cisp-publishing.com), в 2015 году издана англоязычная научная монография участника нашей научной школы – В.В. Самарцева (V.V. Samartsev) «Correlated photons and their applications», Cambridge (UK): CISP, 2015, 218 p. Она посвящена актуальным вопросам квантовой оптики и, среди них, – телепортации, бифотонной спектроскопии, однофотонным источникам и криптографии. В книге описан эксперимент по телепортации, поставленный Антоном Цайлингером в Инсбруке в 1998 году [1]. Затем, вслед за работами [2, 3], В.В. Самарцев детально описывает эксперименты своей группы [4, 5] по бифотонной спектроскопии. Далее излагаются методы поляризационной томографии, а также уделяется много внимания методам получения одиночных фотонов и принципам работы однофотонных источников. В книге также подробно обсуждаются основы криптографии и применение криптографов в технике связи [6].

Книга «Correlated photons and their applications» вышла в свет вслед за тремя другими англоязычными книгами В.В. Самарцева:




1. Yevseyev I.V., Yermachenko V.M., Samartsev V.V. «Depolarizing Collisions in Nonlinear Electrodynamics», Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2004:
2. Petrushkin S.V., Samartsev V.V. «Laser Cooling of Solids», Cambridge (UK): CISP, 2009;
3. Kozlov S.A., Samartsev V.V. «Fundamentals of Femtosecond Optics», Cambridge (UK): CISP, 2013.

На приведенной здесь фотографии В.В. Самарцев запечатлен на фоне всех четырех книг, изданных за рубежом.

Автор полагает, что приведенная информация будет полезна для слушателей школы «Наука и инновации».

**Литература:**

[1] A. Zeilinger, *Scientific American* **285** (2000) 32.
[2] G. Scarcelli et. al., arXiv.quant-ph/0407164 (July 20, 2004).
[3] A. Yabushita, T. Kobayashi, *Phys. Rev. A* **69** (2004) 013806.
[4] A.A. Kalachev et. al. *Laser Phys. Lett*. **4** (2007) 722.
[5] A.A. Kalachev et. al. *Laser Phys. Lett*. **5** (2008) 600.
[6] Ш. Имре, Ф. Балаж, Квантовые вычисления и связь: инженерный подход (перевод с англ. под ред. В.В. Самарцева), Физматлит, Москва (2008).

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 КазНЦ 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»
ЧУ «Пансионат Яльчик»

# МАТЕРИАЛЫ ОДИННАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ-СЕМИНАР «НАУКА И ИННОВАЦИИ-2016» ISS «SI-2016»

Материалы Восьмого международного школы-семинара
«Фундаментальные исследования и инновации:
нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия»

5 - 12 июля 2016 года

Йошкар-Ола
2016

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

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

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

**Сопредседатели**
Е.М. Романов – д.с.-х.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
А.В. Наумов – профессор РАН, д.ф.-м.н., заместитель директора по науке ИСАН
Козлов В.А. – чл.-корр. РАЕ, д.б.н., к.мед.н., профессор ФГБОУ ВО ЧГУ, ученый секретарь

## ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА

В.С. Абрамов (Украина – ДНР, Донецк)
А.У. Баходуров (Таджикистан)
В.А. Голенищев-Кутузов (Россия, Казань)
Ю.Б. Грунин (Россия, Йошкар-Ола)
A. Dimitrov (Bulgaria, Sofia, FL Group)
С.В. Еремеев (Россия, Москва)
Е.А. Виноградов (Россия, Москва – Троицк)
А.Г. Витухновский (Россия, Москва)
Д.В. Иванов (Россия, Йошкар-Ола)
А.А. Калачев (Россия, Казань)
А.Н. Калиш (Россия, Москва)
Д.И. Камалова (Россия, Казань)
К.Р. Каримуллин (Россия, Москва – Троицк)
С.Г. Руднев (Россия, Москва)
А.Н. Леухин (Россия, Йошкар-Ола)
С.А. Моисеев (Россия, Казань)
А.В. Наумов (Россия, Москва – Троицк)
В.Г. Наводнов (Россия, Йошкар-Ола)
Д.В. Николаев (Россия, Москва)
Л.А. Нефедьев (Россия, Казань)
И.С. Осадько (Россия, Москва – Троицк)
А.А. Роженцов (Россия, Москва – Троицк)
Р.Ф. Полищук (Россия, Москва)
М.Х. Салахов (Россия, Казань)
К.М. Салихов (Россия, Казань)
V. Serbezov (Bulgaria, Sofia, FL Group)
А.Л. Степанов (Россия, Казань)
В.В. Стреналюк (Россия, Москва)
Н.И. Сушенцов (Россия, Йошкар-Ола)
А.И. Фишман (Россия, Казань)
С.В. Чекалин (Россия, Москва – Троицк)

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

**Председатель**
И.И. Попов – д.ф.-м.н., профессор каф. КиПР, ФГБОУ ВО ПГТУ
**Сопредседатели**
А.А. Калачев – директор КФТИ КазНЦ РАН
Д.В. Иванов – проректор по НР и ИД ФГБОУ ВО ПГТУ
Т.М. Гусакова – первый заместитель министра образования и науки Республики Марий-Эл
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, Россия, Йошкар-Ола)
Н.С. Вашурин (Йошкар-Ола)
Е.А. Виноградов (Москва – Троицк)
А.И. Винокуров (Йошкар-Ола)
Е.И. Гладышева (Йошкар-Ола)
А.Н. Дедов (Йошкар-Ола)
К.Р. Каримуллин (Москва – Троицк) – **ученый секретарь**
А.В. Маслеников (Йошкар-Ола)
А.В. Мороз (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 (Йошкар-Ола)

## ЛОКАЛЬНЫЙ ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

**Председатель** - Гладышева Елена Ивановна, E-mail: e.glad76@mail.ru
**Заместитель председателя по научным вопросам** – Вашурин Никита Сергеевич
**Заместитель председателя по общим вопросам** – Масленников Антон Владимирович

## ЧЛЕНЫ ЛОКАЛЬНОГО ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

Попова Н.И. Баходуров А.У. Гладышева А.А.
Мороз А.В. Шашин Д.Е. Гладышева Е.А.

## НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

И.И. Попов – д.ф.-м.н. (председатель редакционного совета)
В.А. Козлов – д.б.н., к.мед.н., (зам. председателя редакционного совета)
В.В. Самарцев – д.ф.-м.н.

М341 Материалы Одиннадцатой международной научной школы «Наука и инновации-2016» ISS «SI-2016» / 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, 2016. – 326 с.

**ISBN 978-5-8158-1737-1**

В данный сборник вошли лекционные заметки и статьи приглашенных лекторов по актуальным научным проблемам, сообщения докладчиков по инновационно-ориентированным НИР и лучшие выступления молодых ученых по программе «У.М.Н.И.К.».

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

УДК 001.895:(53+57+316+61)
ББК 26.8

© ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», 2016

**ISBN 978-5-8158-1737-1**

**СОДЕРЖАНИЕ**

**I ИННОВАТИКА**

**Попов И.И.**
ШКОЛА «НАУКА И ИННОВАЦИИ» – ОТ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ ДО УНИКАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ И ИННОВАЦИЙ 7

**Банный Ю.В.**
НА ПУТИ К ИННОВАЦИЯМ 11

**Попов И.И., Наумов А.В.**
РЕПОРТАЖ С ПОБЕДИТЕЛЕМ «ВЫСТАВКИ-КОНКУРСА ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК НА ОСНОВЕ УНИКАЛЬНЫХ НАУЧНО-ПОИСКОВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ» 14

**Козлов В.А.**
НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ШКОЛЫ НАУКИ И ИННОВАЦИИ 17

**II НАНООПТИКА, ФОТОНИКА И КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ**

**Салихов К.М.**
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СПИНОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 20

**Виноградов Е.А.**
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОЛЯРИТОНОВ 22

**Самарцев В.В., Митрофанова Т.Г.**
КОРРЕЛИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ СТИМУЛИРОВАННОГО ФОТОННОГО ЭХА ПРИ ТРЕХКВАНТОВОМ ФЕМТОСЕКУНДНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdSe – CdS 41

**Шкаликов А.В., Латыпов И.З., Турайханов Д.А, Калачев А.А., Самарцев В.В.**
ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ ОДНОФОТОННЫХ СОСТОЯНИЙ С ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ ДЛЯ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КВАНТОВОЙ СВЯЗИ 46

**Баев А.А., Наумов А.В., Еремчев И.И., Роженцов А.А.**
МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ НАНОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ 50

**Абрамов В.С.**
ФРАКТАЛЬНАЯ МНОГОСЛОЙНАЯ НАНОСИСТЕМА С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ 54

**Добрецова Е.А., Болдырев К.Н., Чернышев В.А., Петров В.П., Мальцев В.В., Леонюк Н.И.**
ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ ЕВРОПИЕВЫХ БОРАТОВ EUM3(BO3)4, ГДЕ M = AL, CR, FE, GA, CO СТРУКТУРНЫМ ТИПОМ МИНЕРАЛА ХАНТИТА 62

**Миннегалиев М.М., Байбеков Э.И., Герасимов К.И., Малкин Б.З., Моисеев С.А., Урманчеев Р.В.**
КИНЕТИКА ОПТИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ ИОНОВ $^{166}Er^{3+}$ И $^{167}Er^{3+}$ В КРИСТАЛЛЕ $^{7}LiYF_4$ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КВАНТОВОЙ ПАМЯТИ 66

**Моисеев С.А., Губайдуллин Ф.Ф., Кириллов Р.С., Латыпов Р.Р., Перминов Н.С., Петровнин К.В., Шерстюков О.Н.**
МУЛЬТИРЕЗОНАТОРНАЯ КВАНТОВАЯ ПАМЯТЬ КАК УПРАВЛЯЕМЫЙ КВАНТОВЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР 69

**Моисеев С.А., Губайдуллин Ф.Ф., Кириллов Р.С., Латыпов Р.Р., Мухаметзянов Ф.Ф., Перминов Н.С., Петровнин К.В., Попов М.А., Световидов А.А., Шерстюков О.Н.**
ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ КВАНТОВОЙ ПАМЯТИ НА ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНОЙ РЕШЕТКЕ РЕЗОНАТОРОВ 71

**Федянин В.В., Каримуллин К.Р.**
СВЕРХБЫСТРАЯ ДЕФАЗИРОВКА В ПРИМЕСНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ 73
**Вашурин Н.С., Попов И.И., Путилин С.Э.**
ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ТОНКИХ ТЕКСТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОК НА СВОЙСТВА ФОТОННОГО ЭХА 77
**Леухин В.Н., Стрелков И.А.**
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ 81
**Леухин А.Н.**
ПРИМЕНЕНИЕ БИНАРНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В ШИРОКОПОЛОСНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ 84
**Нефедьев Л.А., Сахбиева А.Р., Гарнаева Г.И.**
ЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ С ИЗОБРАЖЕНИЕМ В ОПТИЧЕСКОЙ ЭХО-ГОЛОГРАФИИ 89
**Попов И.И., Вашурин Н.С., Путилин С.Э., Баходуров А.У.**
ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТОВ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ МАГНИТООПТИКИ НА ОСНОВЕ ФОТОННОГО ЭХА 92

## III ФИЗИКА-МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ-ТЕХНОЛОГИИ-ОБОРУДОВАНИЕ

**Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Иванов Д.А.**
**Марданов Г.Д., Хуснутдинов Р.А.**
ОПТИЧЕСКИЕ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ 95
**Сушенцов Н.И., Степанов С.А., Шашин Д.Е.**
ПРИМЕНЕНИЕ СОВМЕЩЕННОЙ СХЕМЫ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ И ДУГОВОГО ИСПАРЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО НИТРИДА ТИТАНА АЛЮМИНИЯ 102
**Кузанян М.С., Леухин В.Н., Шабдаров Е.В.**
РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТКС РЕЗИСТОРОВ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОМ 105
**Орлов А. И., Волков С. В., Савельев А. А.**
АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВОМ ВЫРАВНИВАНИЯ НАГРУЗКИ МНОГОФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 110
**Стариков П.В., Соловьёв В.Г., Орлов А.И.**
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ И ЕЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 119
**Сидорова В.Т., Карчин В.В.**
ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ МОЩНОСТЕЙ В СЛОЖНОЗАМКУТЫХ ВОЗДУШНЫХ СЕТЯХ 10 КВ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ И УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ 124
**Шабдаров Е.В., Леухин В.Н.**
ЭЛЕКТРОИСКРОВАЯ ПОДГОНКА ПЕРЕМЕННЫХ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ 127
**Игумнов В.Н.**
КОРПУС-ЭКРАН МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ 132
**Игумнов В.Н.**
ПОДЛОЖКИ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 135
**Мороз А.В., Рыжова Е.А., Сушенцов Н.И.**
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 139

## IV ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ

**Полищук Р.Ф.**
О СВЯЗИ МАССЫ МЕТАГАЛАКТИКИ С ПОСТОЯННОЙ ТЯГОТЕНИЯ 143

## V СКРИНИНГОВАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗДОРОВЬЯ

**Николаев Д.В., Щелыкалина С.П., Колесников В.А., Немычникова В.В.**
АНАЛИЗ ДВУМЕРНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ПОЛОВОЗРАСТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СОСТАВА ТЕЛА НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 155
**Щелыкалина С.П., Николаев Д.В., Колесников В.А.**
ПОЛОВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗНАЧЕНИЙ ФАЗОВОГО УГЛА РОССИЯН: ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНДЕКСА МАССЫ ТЕЛА 163
**Тенюков В.В., Ойноткинова О.Ш., Тенюкова К.Ю., Никитин В.В.**
ОПТИМИЗАЦИЯ СКРИНИГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ 168
**Аудрюс Йозенас, Тенюков В.В.**
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИЕПАЙСКОЙ ДИЕТЫ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ИЗБЫТОЧНОГО ВЕСА 183

## VI ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ИННВОАЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ

**Волков С.В., Волков В.Е.**
ПОСЛЕДСТВИЯ ПОЛНОГО УДАЛЕНИЯ ЖЕЛУДКА: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ 187
**Волков С.В., Волков В.Е.**
РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЕРАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ С ОСТРОЙ ХИРУРГИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИЕЙ ОРГАНОВ БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ 194
**Воробьева О.В., Любовцева Л.А., Любовцева Е.В.**
ЛОКАЛИЗАЦИЯ АМИНОСОДЕРЖАЩИХ СТРУКТУР В КОСТНОМ МОЗГЕ ПРИ АЛЛОПЕРЕСАДКЕ КОСТНОГО МОЗГА 198
**Воробьева О.В., Любовцева Л.А., Любовцева Е.В.**
БИОАМИНСОДЕРЖАЩИЕ СТРУКТУРЫ АППЕНДИКСА ПОСЛЕ АУТОТРАНСПЛАНТАЦИИ КОСТНОГО МОЗГА 201
**Воронов Л.Н., Константинов В.Ю., Козлов В.А.**
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВВЕННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ СТРКУТРНЫХ КОМПОНЕНТОВ В КОНЕЧНОМ МОЗГЕ ПТИЦ 206
**Ефремова О.А., Любовцева Л.А., Бычкова И.А., Сергеева К.А., Гамзалиева Ш.Я.**
ВЛИЯНИЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО КРАСНОГО СВЕТА НА БИОАМИННЫЙ СТАТУС КЛЕТОЧНЫХ СТРУКТУР СЕЛЕЗЁНКИ 221
**Козлов В.А., Сапожников С.П., Голенков А.В., Шептухина А.И., Николаева О.В., Ильина Л.Ю., Петрова Ю.В., Александрова В.Ю.**
СТРУКТУРА, БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ И ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АМИЛОИДА 224
**Козлов В. А., Митрасов Ю.Н., Авруйская А.А., Стапеева О.М., Сапожников С.П., Петрова Ю.В., Александрова В.Ю., Шептухина А.И., Николаева О.В.**
ОСТРАЯ ТОКСИЧНОСТЬ ИЗОМЕРНЫХ 4-N-НИТРОФЕНИЛ-3,5-ДИОКСО-1-ФОРМИЛ-10-ОКСА-4-АЗАТРИЦИКЛО[5.2.11.7.02.6]ДЕЦ-8-ЕНОВ 235
**Козлов В.А., Митрасов Ю.Н., Авруйская А.А., Лукичева Н.А., Васильева Т.В., Сапожников С.П., Петрова Ю.В., Александрова В.Ю., Шептухина А.И., Николаева О.В.**
ОСТРАЯ ТОКСИЧНОСТЬ 3-АМИНОФЕНИЛФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ 239
**Митрасов Ю.Н., Ильина О.Г., Козлов В.А., Соснов Д.А.**
РЕАКЦИИ ЭТАНАЛЯ СО СВОБОДНЫМИ ПРОТЕИНОГЕННЫМИ АМИНОКИСЛОТАМИ 241
**Лежнина М.Н., Шуканов Р.А., Блинова А.Д., Шуканов А.А.**
ПОСТНАТАЛЬНОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИММУННО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СВИНЕЙ В ЛОКАЛЬНЫХ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕГИОНА 246
**Муллакаев А.О., Папуниди К.Х., Шуканов А.А.**
ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ У БОРОВКОВ ПРИ НАЗНАЧЕНИИ РАЗНЫХ ЦЕОЛИТОВ 250

**Никулина А.В., Шуканов А.А.**
ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПИТАНИЯ
СТУДЕНТОВ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ 253
**Банный Ю.В.**
НАНО СЕРЕБРО – ДОСТОЙНАЯ АЛЬТЕРНАТИВА АНТИБИОТИКАМ
В БИТВЕ ЧЕЛОВЕКА С ПАТОГЕННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ 259

**VII НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Кольцова О.В., Пыльчикова Ю.Ю., Цыпленкова А.Ю., Ершов М.А.**
ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЩАВЕЛЕВОЙ КИСЛОТЫ
С АЛИФАТИЧЕСКИМИ АМИДАМИ 262
**Митрасов Ю.Н., Колямшин О.А., Иванова Е.А**.
ПЕСТИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ ФОСФОРИЛИРОВАННЫХ ЭФИРОВ
ПЕРМЕТРИНОВОЙ КИСЛОТЫ 266
**Митрасов Ю.Н., Колямшин О.А., Иванова Е.А., Кондратьева О.В., Семенова И.И.**
ПЕСТИЦИДНАЯ И ПРОТИВОВИРУСНАЯ АКТИВНОСТЬ
N-, P-, O- И S- ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ ГЕМ-ДИХЛОРЦИКЛОПРОПАНОВ 269

**VIII НАУЧНО МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ**

**Гильмутдинов Т.С., Криво В.М., Гильмутдинов Р.Т.**
МНОГОБОРЬЯ ВФСК ГТО И ПОЛИАТЛОНА – ВЕДУЩИЙ ФАКТОР
РАЗВИТИЯ МАССОВОГО СПОРТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 275
**Ендубаев А.Р., Ендубаев Я.А.**
ЗНАЧЕНИЕ ВФСК ГТО КАК МОТИВАЦИОННОГО ФАКТОРА
К ЗАНЯТИЯМ ЛЫЖНЫМИ ГОНКАМИ 291
**Желтов В.П., Желтов П.В., Козлов В.А., Сапожников С.П.**
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУТИ АНАЭРОБНОГО ГЛИКОЛИЗА
С ПОМОЩЬЮ СЕТЕЙ ПЕТРИ 295
**Парамонова Н.Г., Григорьева А.И.**
ФОРМИРОВАНИЕ ЛИЧНОСТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ
В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ 301

**ЛЕТОПИСЬ СОБЫТИЙ ИЗ ЖИЗНИ УЧАСТНИКОВ ШКОЛЫ**

**ЮБИЛЕИ** 306
**О 50-летии самарцевских выпускников КФУ** 307
**Со школой по жизни – о семье Каримуллиных** 308
**ФОТОХРОНИКА ШКОЛЫ** 311
**ПЕРВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ** 325
**Самарцев В.В., Митрофанова Т.Г.**
НОВАЯ АНГЛОЯЗЫЧНАЯ КНИГА ПО КВАНТОВОЙ ОПТИКЕ 2015 ГОДА ВЫПУСКА – вторая страница обложки
**Никифоров В.Г., Самарцев В.В.**
НОВАЯ РУССКОЯЗЫЧНАЯ НАУЧНАЯ КНИГА 2016 ГОДА ИЗДАНИЯ ПО ФЕМТОСЕКУНДНОЙ СЕЛЕКТИВНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ЖИДКОСТЕЙ И РАСТВОРОВ – третья страница обложки

**ОДИННАДЦАТЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР «ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ»**

# ШКОЛА «НАУКА И ИННОВАЦИИ» – ОТ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ ДО УНИКАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ

**И.И. Попов**

popov@volgatech.net

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.

На одиннадцатой международной научной школе «Наука и инновации 2016» (далее, Школа) решались несколько задач.

1. 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 по физическим основам спиновых технологий;

- чл. корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Е.А. Виноградов (ИСАН) раскрыл содержание и возможности новой области исследований физики поверхности на основе спектроскопии поверхностных поляритонов «Определение оптических констант ультратонких пленок методом спектроскопии поверхностных поляритонов;

- д.ф.-м.н., профессор Леухин А.Н. (проректор по научной работе МарГУ) в лекции «Оптимальные бинарные последовательности и их применение» познакомил слушателей с состоянием исследований в области кодировки сигналов и представил свои результаты, имеющие мировой приоритет.

- д.ф.-м.н., профессор Полищук Р.Ф. (ФИАН) в лекции «Введение в квантовую гравитацию и виды физических взаимодействий» познакомил участников Школы с теоретическими основами гравитометрии, с имеющимися проблемами и путями развития этого направления исследований.

- д.б.н., профессор Козлов В.А. (сопредседатель программного комитета и ученый секретарь Школы, ЧГУ) в своих сообщения представил современные сведения и свои оригинальные результаты о проблеме образования, функциях и свойствах амилоида, рассматриваемого с точки зрения супрамолекулярной химии, как нанотрубки, имеющей собственные свойства, отличные от образующих ее белковых мономеров.

Научные школы представляли ряд оригинальных научных сообщений, подготавливающих участников Школы к дискуссии по инновационной применимости докладываемых результатов, которая проходила по пяти инновационным направлениям на пяти заседаниях междисциплинарного инновационного семинара - Клуба профессорской мысли, проводимого в форме «Выставки-конкурса инновационных разработок на основе уникальных научно-поисковых компетенций»:

- профессор РАН, д.ф.-м.н. Наумов А.В. (заместитель директора по науке Институт спектроскопии РАН) познакомил всех с состоянием и динамикой развития исследований по-

сле присуждения Нобелевской премии 2014года в области химии за флуоресцентную микроскопию и состоянием инновационного бизнеса по поставках на рынок оптических наноскопов в докладе «Спектроскопия и микроскопия одиночных полупроводниковых квантовых точек». Хорошо дополнил его д.т.н., профессор Роженцов А.А. в докладе «Компьютерный анализ флуоресцентных изображений одиночных точечных излучателей: фундаментальные аспекты и приложения для оптической наноскопии», показавшим свои возможности по созданию системы обработки наноскопических изображений в масштабе реального времени.

- д.ф.-м.н., профессор Калачев А.А. (директор Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН) в докладе «Оптическая квантовая память на основе нерезонансного рамановского взаимодействия в изотопически чистых примесных кристаллах» и д.ф.-м.н., профессор Моисеев С.А. (директор Квантового центра Казанского научно-исследовательского университета – Казанский авиационный институт) в докладе «Многокубитовая квантовая память, перспективы создания и использования в квантовых коммуникациях и вычислениях» и их сотрудники со своими докладами познакомили участников Школы с современными тенденциями развития физических основ квантово-оптической передачи информации и построения оптической квантовой памяти.

- д.ф.-м.н., профессор Попов И.И. (Поволжский государственный технологический университет) в докладе «Фемтосекундная магнитооптика на основе фотонного эха» показал тенденции современного развития фемтосекундной магнитооптики и привел свои оригинальные результаты по экспериментальному обнаружению и исследованию при комнатной температуре эффекта нефарадеевского поворота плоскости поляризации фотонного эха в тонкой полупроводниковой пленке.

- директор ЗАО «НПЦ Медасс» (г. Москва) Николаев Д.В. в докладе «Двумерные представления половозрастных распределений параметров состава тела в Российской популяции» и его коллеги в своих докладах познакомили участников Школы с результатами скрининговых исследований методом биоимпедансных измерений различных групп населения РФ в рамках решения задачи повышения эффективности мероприятий по реализации программ здоровьесбережения. На примере анализа оригинальных результатов НИР обсуждаются возможные технологические компетенции авторского коллектива и перспективы создания перспективных инновационных продуктов.

3. Состоялись заседания Клуба профессорской мысли, проводимого в форме «Выставки-конкурса инновационных разработок на основе уникальных научно-поисковых компетенций» по пяти направлениям:

- «Атмосферные оптические линии связи. Перспективы использования в квантовой криптографии», ответственные: КФТИ КазНЦ РАН;

- «Перспективы создания наноскопов для динамических объемных

объектов в виде одиночных молекул и квантовых точек», ответственные: Институт спектроскопии РАН, ПГТУ

- «Перспективы квантовых информационных технологий», ответственные: Квантовый центр КНИТУ-КАИ

- «Технология экситонного приборостроения», ответственные: ПГТУ.

- «Холодильное оборудование с функцией мониторинга качества продуктов питания и наличия в них возбудителей болезней», ответственные: ЗАО НТЦ «Медасс»; ОАО «СЭРВЭТ-М».

4. Сформулировано понятие «Уникальные научно-поисковые компетенции» (УНПК) и разработана методика формулирования УНТК.

УНТК представляют собой исключительные возможности авторского коллектива вести исследования на новом научном фронте с признаками, позволяющими ставить задачу для

научных исследований в различных направлениях применения результатов исследований, позволяющих формулировать физические принципы, лежащие в основе новых уникальных технологических компетенций (УТК) данного коллектива. Порядок формулирования УНПК сложился следующий. Авторский коллектив проводит публичную аппробацию результатов фундаментальных исследований на заседания Школы. Находятся ключевые слова, позволяющие идентифицировать признаки, отличающие способности авторского коллектив от других исследователей. Формулируются исключительные возможности авторского коллектива в получении изложенных результатов фундаментальных исследований, которые проверяются способностью постановки задачи для разработки физических принципов новых УТК.

**Пример 1**. Авторский коллектив из ИСАНа доложил о результатах фундаментальных исследований по спектроскопии и микроскопии одиночных полупроводниковых квантовых точек. Находятся ключевые слова, идентифицирующие признаки новизны научного подхода. К ним относятся: признаки, объединяющие одиночные молекулы или квантовые точки в динамический ансамбль сложно движущихся и обменивающихся энергией объектов; способы избирательной манипуляции некоторыми из этих признаков, приводящей эти молекулы или квантовые точки к неравновесному состоянию; способ регистрации появления неравновесного состояния одиночных молекул или квантовых точек; математическое моделирование и эффективная алгебраическая обработка изображений в масштабе реального времени, создаваемых откликами одиночных молекул или квантовых точек, возникающими от их неравновестного состояния. УНПК звучат так: «Исключительные возможности, использующие понимание физических основ признаков, объединяющих одиночные молекулы в динамический ансамбль сложно движущихся и обменивающихся энергией объектов, избирательно манипулировать некоторыми из этих признаков, приводя эти молекулы к неравновесному состоянию с целью идентификации одиночных молекул или квантовых точек путем регистрации откликов одиночных молекул или квантовых точек, находящихся в неравновестном состоянии, а также находить алгебраические подходы к обработке изображений в масштабе реального времени, создаваемых откликами одиночных молекул или квантовых точек, возникающими от их неравновестного состояния». Проводим проверка работоспособности УНПК, заключающейся в пригодности для разработки физических принципов зарождения УТК. Для наглядности предложим два физических принципа, создающих основу для рождения новых УТК:

Первый физический принцип заключается в возбуждении неравновесных квантовых состояний на дефектных образованиях в полимерах, который закладывает основу УТК по контролю технологии получения полимерных структур различного назначения с целью повышения их качества и формирования заданных параметров.

Второй физический принцип заключается в избирательном возбуждении по заданному признаку одиночных молекул или квантовых точек, составляющих неравновесную зону фотонных кристаллов, который закладывает основу УТК по контролю параметров дискретных зон, наводимых модулированным лазерным излучением в фотонных кристаллах.

**Пример 2.** Авторский коллектив из ПГТУ доложил о результатах фундаментальных исследований по фемтосекундной магнитооптике на основе фотонного эха. Находятся ключевые слова, идентифицирующие признаки новизны научного подхода. К ним относятся: признаки, объединяющие неравновестные суперпозиционные переходные состояния электрона в составе экситона в ансамбль определенным образом движущихся неравновестных электронов в составе экситонов, находящихся в суперпозиционных состояниях; способы избирательной манипуляции некоторыми из этих признаков, приводящей эти электроны в составе экситонов к неравновесному состоянию; способ регистрации появления неравновесного состояния наличия неравновесного состояния электронов в составе экситонов; определение свойств регистрируемых откликов исходя из взаимосвязи этих признаков. УНПК звучат так: «Исключительные возможности, использующие понимание физических основ призна-

ков, объединяющие неравновестные суперпозиционные переходные состояния электрона в составе экситона в ансамбль определенным образом движущихся неравновестных электронов в составе экситонов под воздействием однородного продольного магнитного поля, находящихся в суперпозиционных состояниях, избирательно манипулировать некоторыми из этих признаков, приводя эти электроны в составе экситонов к неравновесному состоянию с целью обеспечения нефарадеевского поворота плоскости поляризации фотонного эха и последующей регистрации изменяющих свое значение этих признаков по величине фиксируемого угла этого поворота, а также находить алгебраические подходы к использованию взаимосвязи этих признаков для решения практических задач». Проводим проверка работоспособности УНПК, заключающейся в пригодности для разработки физических принципов зарождения УТК. Для наглядности предложим два физических принципа, создающих основу для рождения новых УТК:

- Первый физический принцип заключается в регистрации временного интервала между возбуждающими импульсами по углу нефарадеевского поворота плоскости поляризации при постоянном значении продольного однородного магнитного поля, который закладывает основу УТК по регистрации фемтосекундных временных интервалов с разрешением от $10^{-14}$ до $10^{-16}$ секунды и соответствующих быстропротекающих процессов.

- Второй физический принцип заключается в нарушении симметрии при наличии магн. поля H ($\varepsilon_{ik}(H)=\varepsilon_{ki}(-H)$), который закладывает фундаментальную основу УТК по моделированию в параметрах резонансной среды одного из параметров кватерниона с целью создания оптического эхо-процессора, оперирующего с числами, представленными кватернионом.

Демонстрация развития кадровой политики осуществлялась путем проведения конкурса на лучший научный доклад отдельно среди молодых ученых и зрелых исследователей.

Развитие навыков формирования инновационных идей проводилось в рамках конкурса по программе «У.М.Н.И.К.».

Таким образом Школа «Наука и инновация» приобрела свои традиции воспитания молодых ученых, способных трансформировать результаты научных исследований в идеи инновационного бизнеса, междисциплинарной кооперации ученых, работающих в различных областях знаний, обучения зрелых ученых навыкам формулирования своих УНПК, порождающих физические основы для возникновения новых УТК, обеспечивающих глобальное превосходство с глобальной конкурентоспособностью создаваемых высокотехнологичных рыночных продуктов.

В рамках проведения Школы было реализовано краткосрочное обучение ее участников, организованное на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный технологический университет» по программе «Актуальные проблемы коммерциализации результатов научной деятельности».

Материалы всех школ размещены на сайте ФГБОУ ВО ПГТУ: http://old.volgatech.net/about_the_university/departments/846/ и Российской базе научного цитирования (РИНЦ).

При этом наукометрический анализ материалов Школы, издаваемых с 2007 по 2015 годы, показывает высокий интерес исследователей всего мира к проблемам, поднимаемым на школе, и к результатам научных исследований, докладываемым на ее заседаниях.

# НА ПУТИ К ИННОВАЦИЯМ

**Ю.В. Банный**

ovalburg@gmail.com

Как ни парадоксально звучит, но инновацию уже не надо изобретать. Мировые успешные практики в этой теме ясно позволяют представлять, при каких условиях и каким образом инновация эффективно реализуется и становится продуктивной для предприятий, корпораций и стран. А, с другой стороны, что её тормозит и делает лишь модным словом для делопроизводства, теоретических изысканий и дополнительных госструктур.

Анализируя многочисленные примеры инновационного успеха (в организационном плане, именно знакомство и распространение **«случаев успеха»** представляется наиболее перспективным путем для тиражирования такого опыта), можно заключить следующее:

1. Лучший путь – от выявления непокрытой необходимости рынка, или требований повышения конкурентоспособности, через науку, к технологии.

2. Приветствуются и «инновационные предложения» для улучшения/создания конкретного продукта, процесса или экономии. Предприятия должны иметь широкий доступ к инструментам, носителям такой, организованной по их интересам, информации.

3. Кратчайший путь – прямая линия и « совместный риск » минимальных, но оперативных, вложений на НИОКР проекта и пробные образцы. Лишь после того и на этой основе, вырабатываются реальные заключения и финансовые, поэтапные, масштабированные подсчеты. Даже один успех из 10 предложений оправдывает такие инвестиции. *Медлительность в инновации - неприемлема*. Хорошие идеи без хозяина не остаются; усиливают конкуренцию. Фонды для инновационного развития целесообразно напрямую, но подотчетно, выделять производственным единицам или управляющим организациям, после проделанной ими предварительной работы по анализу рынка, имеющимся на нем технологическим предложениям и тем собственных НИОКР.

Оптимальная модель развития инновационного проекта включает:

***Предварительный этап*** (ответственный: автор проекта) -

идея – теоретическое обоснование – анализ нынешних технологий – преимущества.

***Подготовительный этап*** (отв. : управляющая организация и автор) -

первичная оценка – выделение средств (1 млн. руб.) на доработку НИОКР, технологическую разведку и действующую модель – бизнес-план.

***Инвестиционный этап*** (отв. : управляющая организация) -

юридическое и финансовое обеспечение (внутренние и внешние источники финансирования) – производство – позиционирование на адекватном рынке.

4. Традиционные бизнес-планы для инновационного развития, по логике нового, не совсем приемлемы, т.к. строятся, исходя из старого или искусственно подгоняют его к новому. Первичные экспертные оценки, зачастую, субъективны - «бракуют» или тормозят ценные по сути предложения и «одобряют» бумажно-обширные формы.

5. Корпоративное «планирование» инновационного развития, так же, не отвечает новой сути инновации. *Отчетность по нововведениям, завоеванным нишам рынка и экономии средств и материалов куда более целесообразна*. Необходима, так же, ежегодно предоставляемая, обзорная информация по используемым в данной индустрии лучшим мировым технологическим практикам и их сравнительным преимуществам и недостаткам («**технологическая или конкурентная разведка**»). **Оценка и прогнозы рынка.**

6. Оценка проектов, инновационных идей и предложений, несмотря на свой многопрофильный характер, остается ответственностью руководителя организации за правильно или не-

продуктивно потраченные средства. «Эксперты» за результаты не отвечают и их интерес к проекту ограничен этапом их вовлечения.

Вопрос усложняется из-за фрагментарного подхода к оценке. Каждый анализирует аспект своей компетенции, не видя остального. Поэтому, результаты экспертизы зачастую обманчивы. *Требуются комплексные специалисты по определенному рынку, его реальностям и наиболее перспективным тенденциям, со знанием технологических процессов и их стоимости.* Таких – мало, но в рамках производственной организации их легче создавать, чем искать за её пределами. Своя рубашка - ближе к ДЕЛУ. Специфическая организация или заказ внешней экспертизы – не простой этап.

7. В инновации, как и в науке, так же поселились коррупция, бюрократия, и пустое бумаг производство; с ними надо бороться или предупреждать. Эти тормозные явления приводят к малопродуктивному распылению огромных, выделенных государством на модернизацию средств, а «воз и ныне там»: *Россия и национальные предприятия, несмотря на успехи в фундаментальных и прикладных науках, продолжают терять позиции в технологической конкуренции*. Если бы хоть часть средств, расходуемых на «аппарат» для организации инновации, предназначалась на проведение НИОКР перспективных тем и проектов, мы бы уже давно из импортера технологий превратились в **«экономику, основанную на знаниях».**

Усилия надо направлять для отбора, бизнес-анализа, НИОКР доведения, инженерно-технологического пакетирования, начального финансирования, внедрения или коммерциализации разнообразных инновационных предложений. Оптимизация достигается за счет задействования одной и той же организационной инфраструктуры для обработки не одного, а множества проектов.

При необходимости, можно задействовать аналогичные, но более специализированные экспертные возможности (внешний контур).

**Функциональная структура «Инн-Систем»**



**Преимущественные критерии отбора проектов:**

- соответствие Стратегии развития головного предприятия
- высоко конкурентный по цене, востребованный рынком продукт («unmet need")
- использование национального, доступного, возобновляемого сырья
- защищенная интеллектуальная собственность
- технология из разряда прорывных, без известных мировых аналогов по своим преимуществам
- потенциальный рынок размером не менее 100 млн.$
- соответствие экологической безопасности и приоритетным для РФ технологиям
- реализация технологического обзора, форсайта, анализа рынка, себестоимости
- Возможность эскалации, лицензирования, налаживания в регионах.

Выработка конкретных параметров для первичной технологической и бизнес экспертизы (вопросы поставленные экспертам) для оптимизации выдаваемой информации и большей ответственности экспертов первичного контура.

**1. Разработка методики классификации инновационных проектов.**
По стадии развития, сфере применения. Для внедрения, СП или трансфера.

**2. Налаживание процесса создания «технологических пакетов» с привлечение экспертов технологов первичного контура, на платной или мотивационной основе.**

**Технологический пакет или полная методика промышленного внедрения и эскалации инновационного проекта, подразумевает разработку:**

- ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТА (описание самой инновационной части технологии)
- ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕСА (процесс воспроизведения)
- ОПЕРАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ (условия для промышленного налаживания: помещения, сырьё, обслуживающий персонал и т.д.).

**3. Выбор инвестконсультантов внешнего контура (аутсорсин**г).
Для окончательного оформления, составления оперативного бизнес-плана, рыночного анализа и рекомендаций. Проведение конкурса, выработка условий для привлечения.
Основное требование к инвестконсультанту – партнерство или оплата от результата (полученного финансирования, дивидендов от внедрения и производства или коммерциализации РИД). Оценка - по полезности содержания, а не объему и художественному оформлению.

**4. Налаживание (или создание) информационных каналов для коммерческого продвижения технологических пакетов** (стоимость пакета превосходит стоимость патента, как минимум, в 10 раз). Одной из главных проблем инновационного развития остается проблема направленной коммуникации и привлекательности инновационных проектов для производственной сферы.

**5. Поиск и реестр источников финансирования:** частных партнеров-инвесторов, государственные фонды для инновации, банковские кредиты на специальных условиях, гранты от международных программ, частные венчурные фонды. Выработка приемлемых схем финансирования или участия в предприятии, доходах или собственности на РИД.

## РЕПОРТАЖ С ПОБЕДИТЕЛЕМ КОНКУРСА ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК НА ОСНОВЕ УНИКАЛЬНЫХ НАУЧНО-ПОИСКОВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

В этом году в рамках работы школы впервые проводился конкурс инновационных разработок на основе уникальных научно-поисковых компетенций. Задача конкурса состояла в демонстрации участникам школы эволюции научно-поискового процесса от фундаментальных исследований до рыночного продукта, а также обсуждение проектов, представляющих интерес для прикладного внедрения.

Победителем конкурса признан творческий коллектив из Института спектроскопии РАН, возглавляемый заместителем директора по научной работе, д.ф.-м.н., профессором РАН Наумовым Андреем Витальевичем, предложивший тему: «Перспективы создания люминесцентных 3D-наноскопов с визуализацией одиночных молекул и квантовых точек».



**Рис.** Награждение победителя Выставки-конкурса инновационных разработок на основе уникальных научно-поисковых компетенций профессора А.В. Наумова проводит председатель программного комитета школы, председатель жюри конкурса профессор И.И. Попов.

Лауреатами конкурса также стали:

- за второе место творческий коллектив из КФТИ КазНЦ РАН, возглавляемый директором института, д.ф.-м.н., профессором Калачевым Алексеем Алексеевичем, предложивший тему: «Атмосферные оптические линии связи. Перспективы использования в квантовой криптографии».
- за третье место творческий коллектив из Квантового центра КНИТУ-КАИ, возглавляемый директором Центра, д.ф.-м.н., профессором Моисеевым Сергеем Андреевичем, предложивший тему: «Перспективы квантовых информационных технологий».

Также на конкурс были представлены темы: «Технология экситонного приборостроения» (ПГТУ), «Холодильное оборудование с функцией мониторинга качества продуктов питания и наличия в них возбудителей болезней».

С победителем конкурса профессором А.В. Наумовым беседует председатель программного комитета Школы профессор И.И. Попов.

**И.И. Попов:** Здравствуйте Андрей Витальевич! Во-первых, поздравляю Вас с тем, что Вы стали победителем конкурса инновационных разработок на основе уникальных научно-поисковых компетенций, который на Международной научной школе «Наука и инновации» проходил впервые.

**А.В. Наумов:** Спасибо. Такое решение конкурсной комиссии для нас было весьма неожиданным. Мне кажется, что путь от наших исследований до реального рыночного продукта пока еще предстоит очень долгий и сложный. Тем не менее, приятно, что труд большого коллектива исследователей был оценен.

**И.И. Попов:** Вы становитесь первооткрывателем нового вида работы в рамках нашей Школы. Как Вы считаете, в чем суть этого конкурса, каков его потенциал?

**А.В. Наумов:** Знаете, есть такая избитая фраза, что «занятие наукой - это удовлетворение собственного любопытства за казенный счет». Действительно, практика показывает, что красивые фундаментальные результаты появляются практически независимо от понимания прикладной значимости проекта. И уж тем более невозможно прогнозировать рыночный потенциал будущего результата. Тем не менее, в современном мире сроки внедрения результатов фундаментальных исследований фантастически сократились. Это приводит к тому, что думать об инновационной значимости проекта стоит на довольно ранних стадиях исследований. В нашем случае участие в конкурсе заставило вновь задуматься о возможности продвижения проекта «Спектромикроскопия одиночных квантовых излучателей» в том числе и с прицелом на его инновационную привлекательность. В рамках конкурса мы проанализировали состояние дел в данной области исследований и разработок, коммерчески доступные аналоги возможных к построению инструментов, конкурентные преимущества. Результатом участия в нашем случае стала своего рода дорожная карта дальнейшего развития проекта, а совместные обсуждения позволили оценить его потенциал и риски. Стали понятны компетентностные преимущества нашего коллектива. В частности, разработанная нашим коллективом техника последовательно-параллельного детектирования спектров и изображений маркерных молекул имеет очевидные преимущества в приложениях материаловедения, физики полимеров и нанотехнологий. В то же время обсуждения и дискуссии в рамках конкурса показали, какие еще шаги необходимо сделать для получения продукта, представляющего инновационный интерес. Так, например, стало понятно, что есть необходимость в привлечении профессиональных специалистов в области распознавания и обработки оптических изображений.

**И.И. Попов:** Совершенно верно. Вы правильно сориентировались в особенностях этого нового нашего конкурса. Означает ли сказанное Вами, что Вы теперь сможете продавать на рынок результаты фундаментальных исследований?

**А.В. Наумов:** Думаю, что о продажах говорить рано. Этого намерения в нашей презентации не было. Понимание сути нашего проекта позволило участникам Школы выдвинуть ряд возможных версий по применению новых научных результатов. Из ряда обсуждавшихся практических применений у нас наибольший интерес вызвало предложение о контроле процесса формирования полимерных молекулярных структур. Возникшие после этого контакты с химиками-полимерщиками продемонстрировали наличие инновационного потенциала разрабатываемых нами методов и инструментов.

**И.И. Попов:** А в чем Вы видите основные конкурентные преимущества Вашего коллектива и потенциального продукта – методики и/или аппаратуры?

**А.В. Наумов:** В рамках сотрудничества в области физической химии полимерных структур наши уникальные технологические компетенции включают возможность контроля отклонений в процессе полимеризации химических соединений (формирование дефектов, неоднородностей, трещин, пустот и т.д.). В идеале, было бы интересно построить оптический диа-

гностический комплекс для оперативной характеризации синтезируемых полимерных (в том числе наноструктурированных) материалов, что, по сути, обеспечит их наилучшее качество. Глобальная конкурентоспособность заключается в обеспечении запросов на контроль этапов технологического процесса со стороны химических компаний, специализирующихся на получении новых материалов, конкурентоспособных на мировом рынке.

**И.И. Попов:** Спасибо, Андрей Витальевич, все наглядно и понятно. Как Вы считаете, могут ли любые результаты фундаментальных исследований стать основой рыночного продукта?

**А.В. Наумов:** Я, пожалуй, повторю слова нашего выдающегося соотечественника, лауреата Нобелевской премии Жореса Ивановича Алферова о том, что любое фундаментальное исследование становится прикладным, вопрос лишь в том, когда это произойдет. Некоторые исследования превращаются в продукт в течение месяцев, а для других требуются годы или даже десятилетия. В то же время отраслевые запросы и задачи облегчают понимание прикладного потенциала проекта, что и может стать основой новых конкурентоспособных рыночных продуктов.

**И.И. Попов:** Ваш опыт достоин подражания. Ждем новых результатов от Вашего коллектива, верим в коммерческую применимость результатов, полученных Вами в выполненных фундаментальных научных исследованиях. Успеха Вам и удачи.

**А.В. Наумов:** Спасибо! Успехов и новых эффективных шагов в своей работе Школе «Наука и инновации».

УДК: 61.001(470.344)

# НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ШКОЛЫ НАУКИ И ИННОВАЦИИ

**В.А. Козлов**
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», г. Чебоксары
pooh12@yandex.ru

Проведен библиометрический и наукометрический анализ результатов работы Международной научной школы Наука и инновации за период с 2007 по 2015. В качестве инструмента исследования был использован сайт www.researchgate.net. За указанный период нами было опубликовано 550 публикаций по основным направлениям развития науки. За период с июня 2015 года по июнь 2016 года на сайте www.researchgate.net материалы школы просмотрели 1566 раз представители 31 государства. Сделан вывод, что работа Международной научной школы Наука и инновации представляет большой интерес для международного научного сообщества.
**Ключевые слова:** наукометрия, www.researchgate.net

Held bibliometric and scientometrics analysis of the International scientific school on Science and innovation the results work for the period 2007 to 2015. As a research tool was used the site www.researchgate.net. For it the period we published 550 publications on key areas of science. For the period from June 2015 to June 2016 on the website www.researchgate.net, the school materials viewed 1566 times by representatives of 31 States. We are concluded: the work of the International scientific school of Science and innovations is of great interest to the international scientific community.
**Key words:** scientometrics, www.researchgate.net

У организаторов регулярно проводимых научных форумов (конференций, симпозиумов, научных школ) всегда возникает вопрос оценки эффективности своей работы. Такая оценка может быть осуществлена на основе наукометрического анализа библиографических показателей деятельности форума, который «призван определить приоритеты дальнейшего развития» [3]. «Возможность проводить такие исследования появилась благодаря различным библиографическим базам, которые были созданы для мониторирования творческой активности и эффективности работы ученых всего мира» [4]. Важным условием проведения наукометрического анализа является выбор информационного инструмента с помощью которого изучается востребованность научных публикаций [1, 2]. Не смотря на постоянное совершенствование, такой наукометрический инструмент, как база данных РИНЦ, имеет ряд существенных ограничений для свободного пользования непосредственно исследователями, предоставляя им преимущественно пассивную информативную часть. В частности, неоправданно затруднено размещение собственных полнотекстовых научных материалов, как опубликованных, так и неопубликованных, возможно, в связи с не дружественностью интерфейса для загрузки электронных материалов, ограничением их электронного формата, а также необходимостью заключения письменного договора, что вызывает значительные временные задержки. Кроме того, ресурс elibrary.ru рассчитан на русскоязычных пользователей, содержит небольшое число полнотекстовых публикаций, которые остаются недоступными для просмотра, даже после передачи автором всех прав на опубликование в рамках заключаемого договора. Все это резко ограничивает возможность общения исследователей в целях максимально быстрого обмена новой информацией научного характера.

Этих недостатков лишен такой инструмент международного научного общения как ResearchGate. После быстрой (минуты) регистрации на сайте ResearchGate, авторам предоставляется возможность осуществить поиск своих публикаций в международных базах данных, например, Medline, а также разместить свои публикации, как статьи, так и монографии, и сборники научных трудов в pdf, или doc формате. Затем роботами проводится быстрый поиск и индексация ссылок в этих материалах с расчетом наукометрических показателей. С этого момента материал становится доступным как для зарегистрированных, так и незарегистрированных на ResearchGate пользователей. Эта база удобна еще и тем, что после прове-

дения контекстного тематического анализа публикаций пользователя, ему активно предлагаются для просмотра тематически близкие публикации других авторов, размещающих свои статьи на этом сайте. Таким образом, можно немедленно получить как свежие публикации по интересующей тематике, так и в ретроспективе. Статьи предоставляются для чтения в полнотекстовом виде непосредственно, либо после запроса авторам статьи, если они ставят ограничения на чтение и просмотр без их ведома.

По перечисленным выше причинам, данный ресурс был выбран нами в июне 2015 года для размещения всех опубликованных материалов школы в целях изучения их востребованности международным научным сообществом. Сведения о тематике материалов, рассмотренных в течении девяти лет работы Международной научной школы Наука и инновации представлен в таблице 1. Из данных таблицы следует, что наибольшая публикационная активность пришлась на 2011 год, после чего объем публикаций, в связи с большей тщательностью предварительного отбора и рецензирования, стабилизировался. Всего за этот период без учета библиографических материалов было опубликовано 550 статей.

Библиометрические показатели сборников и сведения о числе скачиваний показаны в таблице 2. Согласно этим данным, ежегодный объем публикаций школы Наука и инновации с 2008 года соответствует количеству публикаций среднего научного журнала, выходящего ежеквартально. Количество просмотров материалов школы за год составило 1566.

**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 | Итого |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Инноватика | 2 | 7 | 4 | 4 | 6 | 2 | 3 | 2 | 2 | 32 |
| Физика | 6 | 8 | 14 | 15 | 29 | 18 | 2 | 13 | 11 | 116 |
| Технологии | 6 | 16 | 10 | 15 | 46 | 12 | 19 | 11 | 14 | 149 |
| Медицина | 6 | 6 | 11 | 13 | 14 | 13 | 16 | 8 | 14 | 101 |
| Биология | 1 | 9 | 7 | 16 | 14 | 8 | 6 | 5 | 4 | 70 |
| Химия | 2 | 3 | 5 | 13 | 6 | 5 | 4 | 6 | 1 | 45 |
| Педагогика и технологии спорта | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 8 | 5 | 19 |
| Педагогика | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 1 | 18 |
| Итого | 25 | 51 | 54 | 79 | 119 | 60 | 54 | 56 | 52 | **550** |

**Таблица 2**

Библиометрические показатели и сведения о числе скачиваний материалов Международной научной школы Наука и инновации за период с 2007 по 2015 гг.

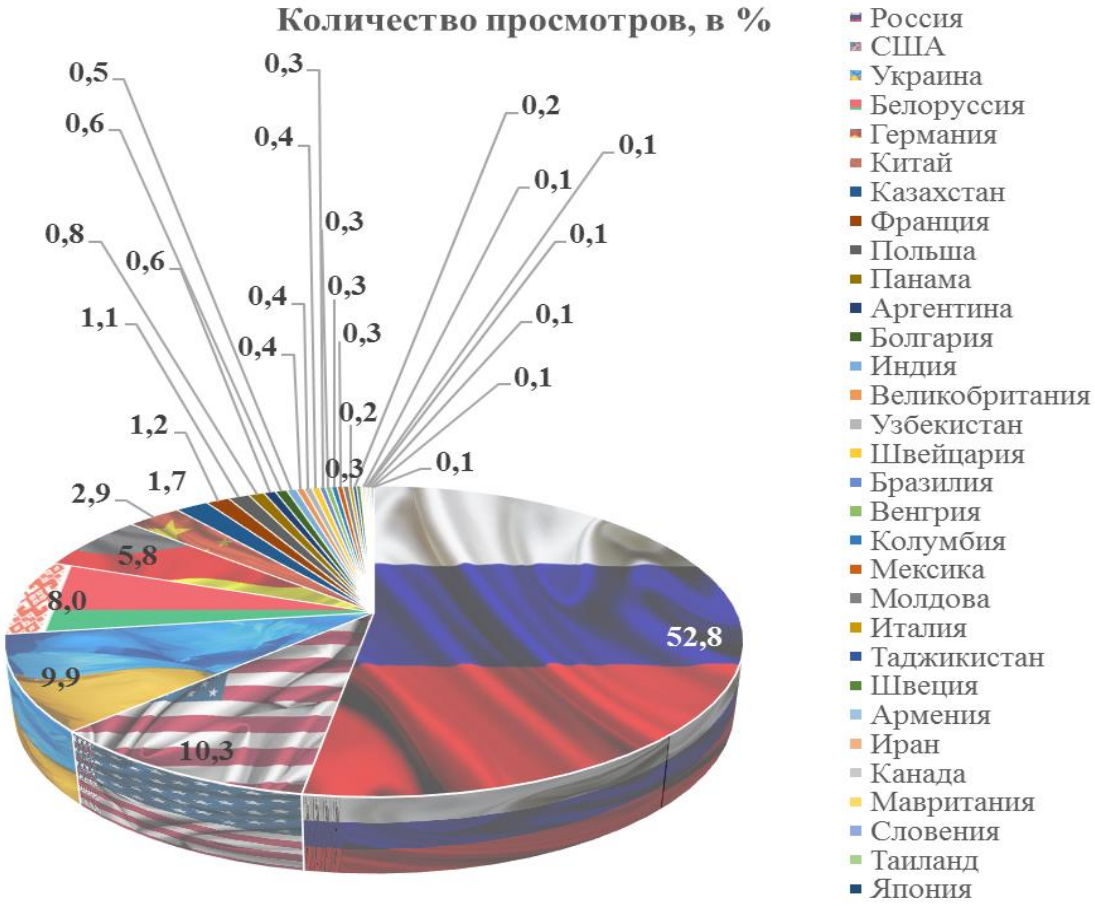
| Сборник | Объем, п.л. | Число статей | Число авторов | Число просмотров |
|---|---|---|---|---|
| Наука и инновации 2007 | 22,75 | 25 | 52 | 15 |
| Наука и инновации 2008 | 17,69 | 51 | 106 | 111 |
| Наука и инновации 2009 | 43,125 | 54 | 124 | 270 |
| Наука и инновации 2010 | 53,25 | 79 | 167 | 153 |
| Наука и инновации 2011 | 64,5 | 119 | 212 | 295 |
| Наука и инновации 2012 | 18,0 | 60 | 146 | 171 |
| Наука и инновации 2013 | 19,56 | 54 | 126 | 297 |
| Наука и инновации 2014 | 32,55 | 56 | 109 | 146 |
| Наука и инновации 2015 | 33,41 | 52 | 106 | 108 |
| Итого | 304,835 | 550 | — | 1566 |

География просмотров материалов школы представлена на диаграмме. Всего в течение года публикациями участников школы заинтересовались ученые 31 государства. Максимальное количество просмотров было осуществлено жителями Российской Федерации (52,8% просмотров). Следующими в порядке убывания государствами являются США (10,3%), Украина (9,9%), Белоруссия (8%), Германия (5,8%), Китай (2,9%). На остальные 25 государств прихо-

дится около 10% просмотров в целом. Если не учитывать большую доступность материалов для ученых, свободно владеющих русским языком (страны бывшего СССР), заинтересованность читателей в целом соответствует географии исследовательской активности.

**Диаграмма**

География просмотров материалов Международной научной школы Наука и инновации




Таким образом, результаты проведенного анализа позволяют утверждать, что Международная научная Школа Наука и инновации как научный форум представляет большой интерес для научной общественности мира.

**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] 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.
[4] 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.

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ:**
**НАНООПТИКА, ФОТОНИКА, КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ**

# ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СПИНОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**К.М. Салихов**

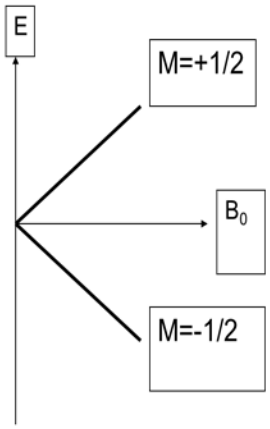
КФТИ им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН

В докладе раскрываются следующие вопросы:
1. Откуда могут быть спиновые технологии?
2. Что такое спиновая химия?
3. В чем заключается спинтроника?
4. Каков потенциал магнитного резонанса в развитии спиновых технологий?

Электрон, протон, имеют собственный механический момент и связанный с этим спиновый магнитный момент. Состояние спинов определяет важнейшие свойства веществ. Например, спиновый магнетизм определяет магнетизм ферромагнитных и антиферромагнитных материалов. Спиновое состояние двух валентных электронов атомов играет решающую роль в образовании ковалентной связи-образовании молекул, и т.д. Благодаря спину у веществ появляются новые, спиновые, степени свободы. Движение спинов может лежать в основе динамических свойств материалов.

Все больше появляется примеров, когда именно спиновые свойства, динамика спинов лежат в основе новых технологий, спиновых технологий. Вот несколько примеров спиновых технологий.

Спины электрона или спин магнитных ядер могут быть использованы в качестве кубитов в квантовых вычислениях, реализации квантовых алгоритмов и квантовой информатике. Конструируются спин-функциональные материалы. Есть много примеров спин-зависимых процессов. Одним из таких процессов является рекомбинация свободных радикалов. Действительно, два радикала рекомбинируют и дают продукт, как правило, только если суммарный спин двух неспаренных электронов радикалов равен нулю. Наличие такого спинового правила отбора для рекомбинации радикалов привело к созданию новой области науки, которая получила название спиновой химии.




Возможность использования электронов в качестве кубитов основана на том, что в постоянном внешнем магнитном поле спин электрона имеет два стационарных состояния, в которых проекция спинового момента имеет значения ±h/2 (см. схему расщепления уровней энергии электрона в магнитном поле).

**Рис.** Схема расщепления уровней энергии электрона в магнитном поле.

Эти два состояния электронного спина можно сопоставить состояниям |0> и |1> в обозначениях, принятых в квантовой информатике. Современная методология спектроскопии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) позволяет реализовать все необходимые для квантовых вычислений логические операции. Например, базовую логическую операцию НЕТ (NOT) можно просто реализовать с помощью импульса магнитного поля, перпендикулярного оси квантования ориентации спина. Спиновая эволюция

со спин-гамильтонианом H= $\omega S_x$ при определенной продолжительности действия импульса магнитного поля дает такое унитарное преобразование состояния спина, которое совпадает с логической операцией NOT:

- NOT: U $|0\rangle = |1\rangle$, U $|1\rangle = |0\rangle$
- $\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$
- U= =2 $S_x$= $i\exp(-i\pi S_x)$
- H= $\omega S_x$;
- $\exp(-iHt) = \exp(-i\omega t S_x) = \cos(\omega t/2) - i2S_x \sin(\omega t/2) = -i2S_x$, если $\omega t = \pi$

На ядерных спинах реализованы квантовые двухкубитные логические операции CNOT, обмена, алгоритм Дейча. В настоящее время идет поиск парамагнитных частиц с одним неспаренным электроном для реализации квантовых алгоритмов с использованием электронных спинов в качестве кубитов.

Основные требования к парамагнитным центрам в качестве кубитов следующие:

1. Большой разброс резонансных частот (разные g-факторы, сверхтонкое взаимодействие с магнитными ядрами, и т.д.): **до1000 МГц.**
2. Оптимальное спин-спиновое взаимодействие (обменное, диполь-дипольное).

Желательные значения порядка 10 МГц.

Значит, спины-кубиты должны быть разделены на 1-2 нм.

В докладе приводятся примеры парамагнитных частиц, которые рассматриваются как перспективные. Одной из самых популярных является так называемая NV вакансия в алмазе. Претендентами на роль кубитов являются также органические стабильные свободные радикалы, и т.д.

В качестве примера спин-функциональных материалов в докладе был рассмотрен переход комплексов ионов переходных групп из низко спинового состояния в высокоспиновое состояние при изменении температуры (термостимулированный спин-кроссоувер) или освещении (светоиндуцированный спин-кроссоувер).

В докладе обсуждаются важнейшие аспекты спиновой химии: влияние внешних магнитных полей на химические реакции, магнитный изотопный эффект и неравновесная гиперполяризация спинов в ходе радикальных химических реакций.

Среди других примеров спиновых технологий можно выделить магнитно-резонансную томографию, спиновые клапаны, нанометрологию, основанную на измерении диполь-дипольного взаимодействия между спиновыми метками по модуляции спада сигналов спинового эха в экспериментах по двойному импульсному ЭПР. ЭПР позволяет таким путем измерять расстояния между спиновыми метками в интервале 1.5-10 нм.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОЛЯРИТОНОВ

**Е.А. Виноградов**

Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Науки
Институт спектроскопии РАН, ул. Физическая 5, г.о.Троицк, г.Москва, 142190

*evinogr@isan.troitsk.ru*

Для использования тонких полупроводниковых пленок в различных приложениях требуется знать их физические свойства. Однако традиционные оптические методы (спектры отражения-поглощения (спектры в дальнем поле)) структур с тонкими пленками не дают желаемой информации. В ряде случаев для определения физических параметров нанопленок полезно использовать спектроскопию поверхностных поляритонов (ПП). 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. Это особенно важно, поскольку 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. Аналитические возможности спектроскопии ПП резко возрастают, если частота оптических фононов пленки попадает в область существования ПП подложки. Из-за резонанса между ними, возникает расщепление и сдвиг спектров поглощения ПП подложки. В этом случае экспериментальные данные позволяют восстановить все константы диэлектрической проницаемости и пленки и подложки, а также толщину пленки, и тем самым характеризовать свойства и пленки и интерфейса.

В докладе обсуждаются особенности оптической спектроскопии поляритонов кристаллов и пленок, а также как спектроскопия поверхностных фононных поляритонов может стать уникальным источником информации о физических свойствах сверхтонких пленок на поверхности монокристаллов.

В докладе использованы результаты автора опубликованные ранее в:

1. Е.А. Виноградов, Г.Н. Жижин, Термостимулированное излучение поверхностными колебаниями атомов кристаллической решетки селенида цинка. Письма в ЖЭТФ, т. 24, No. 2, С. 84-86, 1976.
2. Е.А. Виноградов, Г.Н. Жижин, Т.А. Лескова, Н.Н. Мельник, В.И. Юдсон. Колебательные состояния тонких кристаллических пленок полярных полупроводников. ЖЭТФ, т. 78, No. 3, 1030-1050, 1980.
3. G.N. Zhizhin, E.A. Vinogradov, M.A. Moskalova, V.A. Yakovlev, Applications of Surface Polaritons for Vibrational Spectroscopic Studies of Thin and Very Thin Films. Aplied Spectroscopy Review, 18, No. 2, 171-263, 1982.
4. Е.А. Виноградов, Г.Н. Жижин, В.И. Юдсон, Термостимулированное излучение поверхностных поляритонов. Поверхностные поляритоны, под ред В. М. Аграновича, Мир, Москва, С. 105-131, 1985.
5. Е.А. Виноградов, И. И. Хаммадов. Спектроскопия объемных и поверхностных фононов кристаллов, Издательство "ФАН", Ташкент, 1989. 166 с.
6. E.A. Vinogradov, Vibrational Polaritons in Semiconductor Films on Metal Surfaces. Physics Reports, v. 217, No. 4, p. 159-223, 1992.
7. Е.А. Виноградов. Поляритоны полупроводниковой микрополости. УФН, 172(12), С. 1371-1410, 2002.
8. V.A. Yakovlev, N.N. Novikova, E.A. Vinogradov, S.S. Ng, Z. Hassan, H. Abu Hassan, Strong coupling of sapphire surface polariton with aluminum nitride film phonon. Physics Letters A 373 (2009) 2382–2384.

9. Е.А. Виноградов, И. А. Дорофеев, Термостимулированные электромагнитные поля твёрдых тел. УФН, т. 179, №5, 2009. С. 449-485,
10. Е.А. Виноградов, И. А. Дорофеев. Резонансы термостимулированных электромагнитных возбуждений тонких плёнок на подложке в ближней зоне. Известия РАН, серия физическая, 2010, том 74, № 7, С. 975–983.
11. Е.А. Виноградов, И. А. Дорофеев Термостимулированные электромагнитные поля твердых тел, ISBN: 978-5-9221-1212-3 © Физматлит 2010. 484 С.
12. I.A. Dorofeyev, E.A. Vinogradov. Fluctuating electromagnetic fields of solids. Physics Reports 504 (2011) 75-143.
13. Дорофеев И.А., Виноградов Е.А., Структура электромагнитных полей вблизи поверхности ионного кристалла. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2012, № 10, С. 16-24.
14. I.A. Dorofeyev, E.A. Vinogradov, Near-surface electromagnetic fields of ionic crystal. International Review of PHYSICS, 2012, Vol. 6, n. 2, p. 202-212.
15. I.A. Dorofeyev, E.A. Vinogradov, Spectral composition and spatial distribution of thermal fields nearby solid surface, Laser Physics, 23 (2013) 065903. doi:10. 1088/1054-660X/23/6/065903
16. Виноградов Е.А., Новикова Н.Н., Яковлев В.А. Фонон-поляритонная спектроскопия ближнего поля как метод исследования оптических свойств нанопленок. Доклад на научной сессии ОФН РАН 23 октября 2013 г. УФН т. 184, №6, 653-656, 2014.

## Введение

***Из истории мотивации исследований фононов и фононных поляритонов:***

**D.W.Berriman (1963 г) обнаружил в спектре ИК отражения тонкой пленки LiF лишний пик поглощения на частоте LO фонона массивного монокристалла -- эффект Берримана.**

**При продольных колебаниях атомов кристаллической решетки**

$$\vec{u} \square \vec{E} \square \vec{q}, \ldots \rightarrow \vec{H} \equiv 0$$

***Продольное электромагнитное поле !?!***

## Введение

**Открытие A. Otto (1968 г) способа возбуждения поверхностных плазмонов металлов привело к созданию методов генерации поверхностных электромагнитных волн оптического и инфракрасного диапазона, способных распространяться вдоль плоской границы раздела двух сред на макроскопические расстояния. Это дало возможность вести исследования свойств поверхности методами оптики ближнего поля.**

**Результаты исследований поверхности кристаллов потребовали переосмысления экспериментальных данных многолетних исследований оптических свойств объема кристаллов…**
**+ эффект Берримана …**

# План доклада

**Введение**

**Объемные и поверхностные поляритоны.**

**Часть 1**

1. **ИК дальнее поле. Радиационные поляритоны в планарных структурах.**
2. **ИК ближнее поле. Нерадиационные «темные» поляритоны.**

**Часть 2**

**Некоторые приложения поверхностных поляритонов.**

## *What does it mean polariton ?*

**Polariton is dipole vibration dressed by own electromagnetic field.**

***"Half light – half matter"***

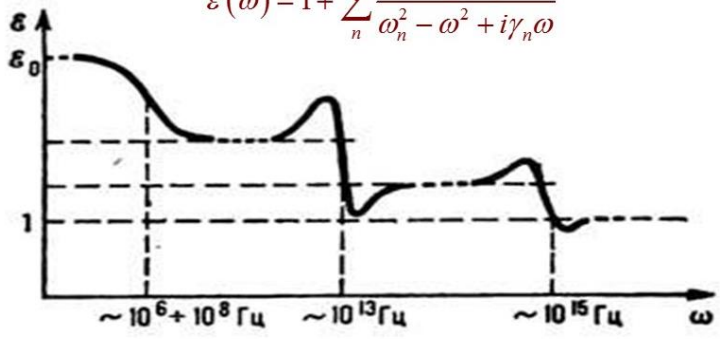
$k < k_0 = \frac{\omega}{c} \ldots \rightarrow$ ***radiative polariton, far field***

$k > k_0 = \frac{\omega}{c} \ldots \rightarrow$ ***nonradiative polariton, near field***

$$k_0 = \omega / c = 2\pi / \lambda_{вакуум}$$

***Дисперсия диэлектрической проницаемости***

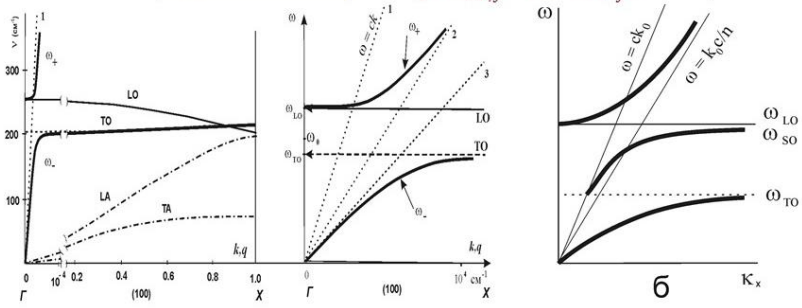
$$\varepsilon(\omega) = 1 + \sum_n \frac{S_n \cdot \omega_n^2}{\omega_n^2 - \omega^2 + i\gamma_n \omega}$$




***Если известно выражение для дисперсии диэлектрической проницаемости, то теория позволяет получить зависимость ω(k) для электромагнитных возбуждений кристалла …***

## *Phonon-polaritons of infinite crystal*

$$\frac{k^2c^2}{\omega^2}=\varepsilon(\omega)=\varepsilon_\infty+\sum_j\frac{S_{TO,j}\cdot\omega_{TO,j}^2}{\omega_{TO,j}^2-\omega^2+i\gamma_j\omega}$$




*infinite crystal* *semi-infinite crystal*

$$k_0=\omega/c=2\pi/\lambda_{vacuum}$$

## *Phonon-polariton dispersion for crystal slab with thickness d between two media with $\varepsilon_1$ and $\varepsilon_3$*

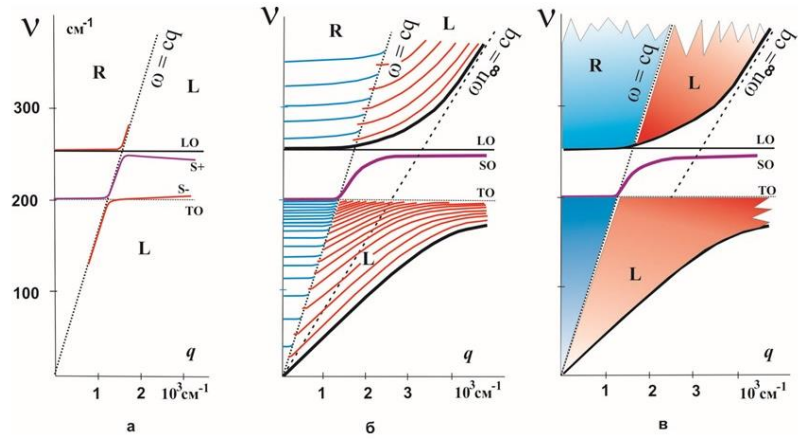
$$\coth(\beta_2 d)=i\frac{\beta_2^2\varepsilon_1\varepsilon_2+\varepsilon_2^2\beta_1\beta_3}{\beta_2\varepsilon_2(\beta_1\varepsilon_3+\beta_3\varepsilon_1)}$$

$$\beta_n=\frac{\varepsilon_n}{\kappa_n}\qquad \kappa_n=(\varepsilon_1 Sin^2\theta-\varepsilon_n)^{1/2}\qquad n=1,2,3.$$

$$\frac{k^2c^2}{\omega^2}=\varepsilon(\omega)=\varepsilon_\infty+\sum_j\frac{S_{TO,j}\cdot\omega_{TO,j}^2}{\omega_{TO,j}^2-\omega^2+i\gamma_j\omega}$$

**E.A.Vinogradov, *Physics Reports*, v.217, p.159-223, 1992.**

## *Phonon-polariton dispersion for crystal slab*




*for film with nd<<λ* *for film with nd>>λ* *semi-infinite crystal*

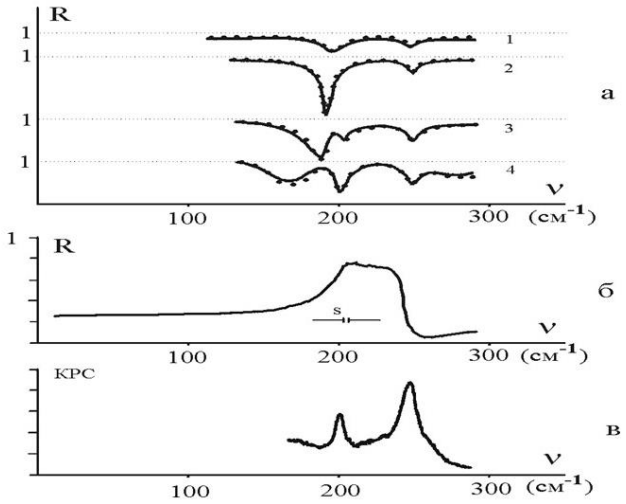
**E.A.Vinogradov, Vibrational Polaritons in Semiconductor Films on Metal Surfaces. *Physics Reports*, v.217, p.159-223, 1992.**

# Part 1

## Far field infrared spectra

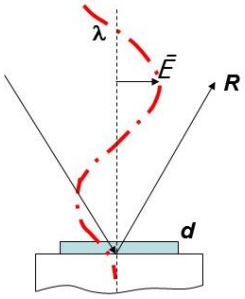
$$k_{\square} < k_0 = \frac{\omega}{c}$$

ZnSe




E.A.Vinogradov. *Physics-Uspekhi*, 45 (12) (2002)

## Reflection-absorption spectroscopy of thin films




$$k_{\parallel} = k_0 \, Sin\varphi$$

$$k_0 = \omega / c = 2\pi / \lambda_{vacuum}$$

$$R + T + A + S = 1$$

*On a metal substrate:* $R \approx 1 - A$

E.A.Vinogradov. *Physics-Uspekhi*, 45 (12) (2002)

## Calculations

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

$$r_{123}^{P,S} = \frac{r_{12}^{P,S} + r_{23}^{P,S} \exp(-2\kappa_2 h_f)}{1 + r_{12}^{P,S} r_{23}^{P,S} \exp(-2\kappa_2 h_f)}$$

$$r_{ij}^{P} = \frac{\kappa_i \varepsilon_j - \kappa_j \varepsilon_i}{\kappa_i \varepsilon_j + \kappa_j \varepsilon_i}, \qquad r_{ij}^{S} = \frac{\kappa_i - \kappa_j}{\kappa_i + \kappa_j},$$

$$\kappa_i = \left[ k_x^2 - k_0^2 \varepsilon_i \right]^{1/2}, \quad k_x = k_0 n_i \sin\theta, \qquad k_0 = \frac{\omega}{c}$$

*E.A.Vinogradov, I.A.Dorofeyev, Physics Uspekhi, 2009*

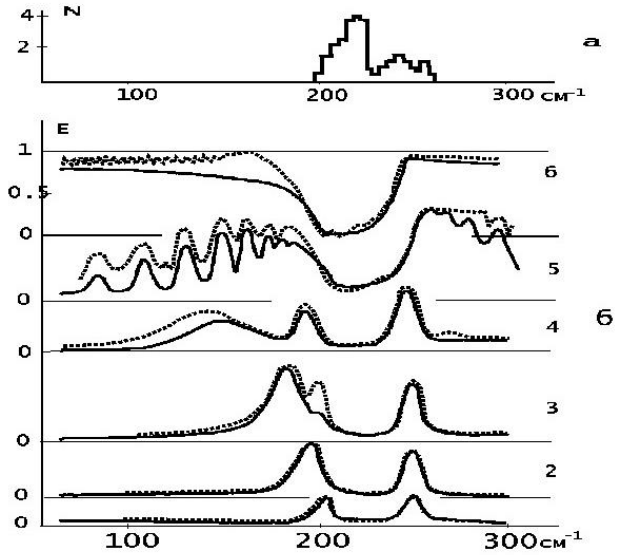
**Используя хорошо известный результат – колеблющийся заряд излучает электромагнитное поле, была разработана методика исследования спектров теплового излучения кристаллов на частотах оптических фононов.**

*Е.А.Виноградов, Г.Н.Жижин. Письма в ЖЭТФ, 1976*

**Метод оказался очень удобным для исследования пленок диэлектриков и полупроводников, особенно на металлических подложках.**

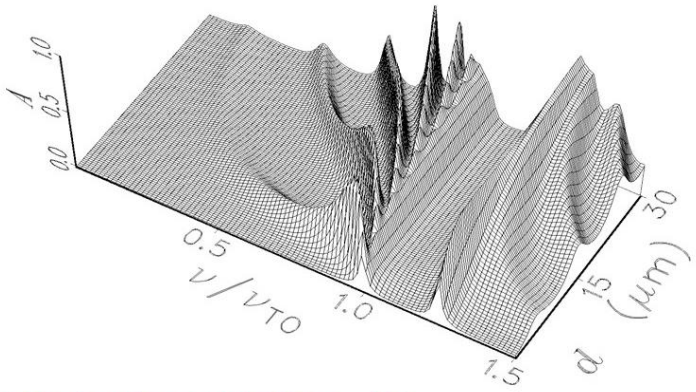
- *E.A.Vinogradov, Physics Reports, 1992: E.A.Vinogradov, Physics Uspekhi, 2002*
- *Виноградов Е.А., Дорофеев И.А.* Термостимулированные электромагнитные поля твердых тел. М.: ФИЗМАТЛИТ 2010. 484 стр. ISBN: 978-5-9221-1212-3
- *I.A.Dorofeyev, E.A.Vinogradov.* Fluctuating electromagnetic fields of solids. *Physics Reports,* 504 (2011) p.75-143.
- *I.A. Dorofeyev, E.A. Vinogradov*, Near-surface electromagnetic fields of ionic crystal. *International Review of Physics, 2012, Vol. 6, n.2, p.202-212.*

## ZnSe – Thermal emission




E.A.Vinogradov. *Physics-Uspekhi*, 45 (12) (2002)

p–polarized absorption spectra of ZnTe films on Al

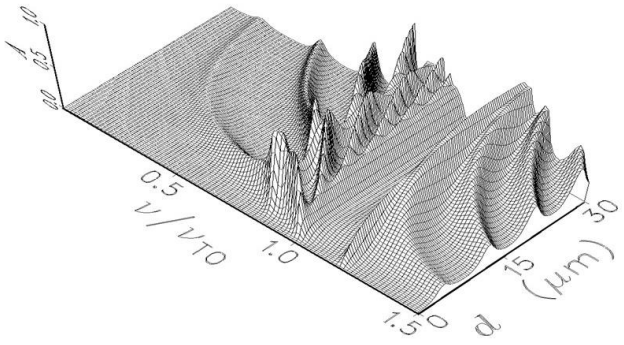



**the LBB law is not working !?!**

E.A.Vinogradov, *Physics Reports*, v.217, 1992.

$Cd_{0.05}Zn_{0.95}Te$

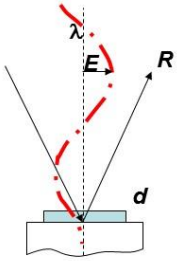
## Cavity modes

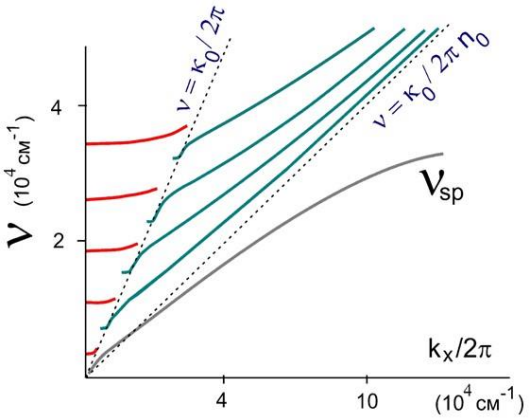



$$k_{\square} < k_0 = \frac{\omega}{c}$$

E.A.Vinogradov. *Physics-Uspekhi*, 45 (12) (2002)

**Dispersion of TM polaritons of a structure:**
**"vacuum – ideal dielectric film (ε = 6, d = 250 nm) – Cr"**

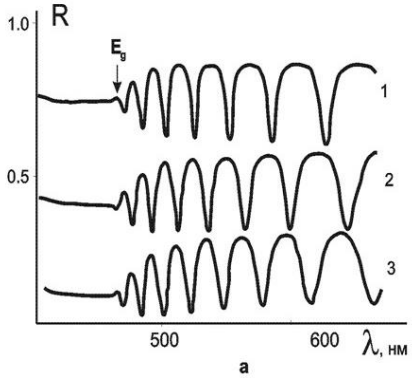


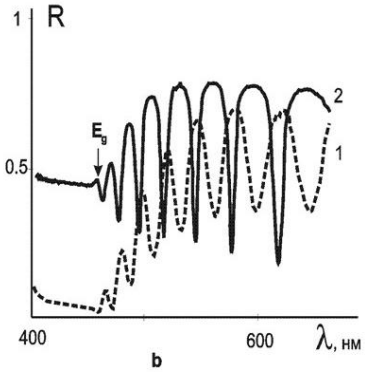




E.A.Vinogradov. *Physics-Uspekhi*, 45 (12) (2002)

$k_0 = 2\pi / \lambda$

**Reflection - Absorption spectra**
**1.25-μm-thick ZnSe film on Al substrate**



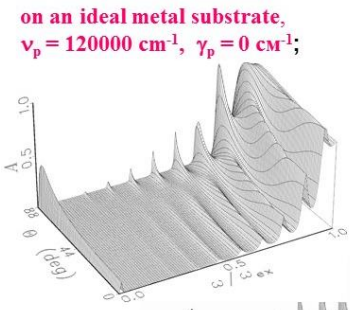

1 – φ = 65⁰, 2 – φ = 45⁰, 3 – φ = 25⁰
p-polarized light

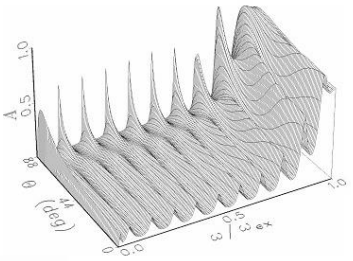
p-polarized (1), s- polarized (2) light
φ = 75⁰ > φBr

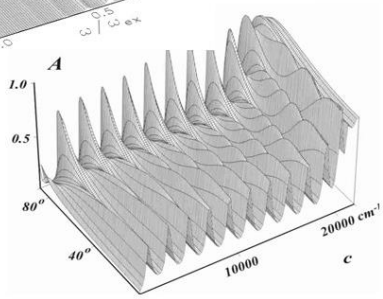
## p-polarized absorption spectra of ZnSe (1μm) film

($\nu_{ex}$ = 20000 cm$^{-1}$, $\gamma_{ex}$ = 1500 cm$^{-1}$, $\Delta\varepsilon_{ex}$ = 0,05)

on an ideal metal substrate,
$\nu_p$ = 120000 cm$^{-1}$, $\gamma_p$ = 0 см$^{-1}$;



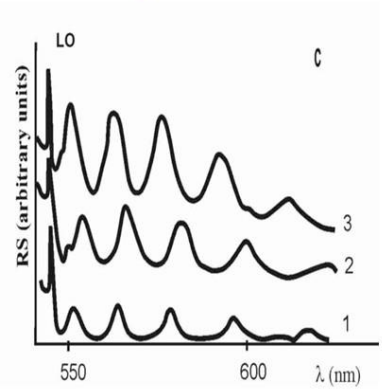




on Al substrate,
$\nu_p$ = 120000 cm$^{-1}$, $\gamma_p$ = 1000 см$^{-1}$

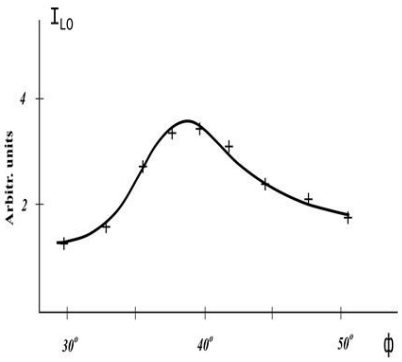
$$\varepsilon_{met}(\nu) = 1 - \frac{\nu_p^2}{\nu_p^2 - i\nu\gamma_p}$$

on Cr substrate,
$\nu_p$ = 70 000 cm$^{-1}$, $\gamma_p$ = 8000 см$^{-1}$

## Raman spectra of a 1.25-μm ZnSe film on Al




**Secondary emission spectra for different scattering angles**
**1 – φ = 76$^0$, 2 – φ = 57$^0$, 3 – φ = 12$^0$;**
**$\lambda_L$ = 488 nm. T = 300 K**




**Intensity of LO-phonon Raman lines versus incident angle of exciting light**
**$\lambda_L$ = 514. 5 nm**

E.A.Vinogradov. *Physics-Uspekhi*, 45 (12) (2002)

## *Some results*

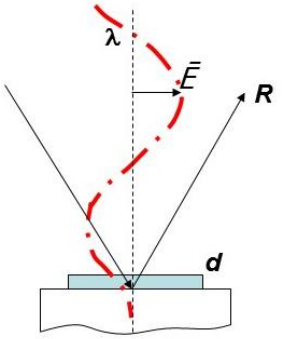
1. **Interference modes (cavity modes) absorb light;**
2. **Absorption is proportional *Im* ($\varepsilon_{met}$) ~ $\gamma_p$;**
3. **Halfwidth of absorption bands is determined by their radiative decay; Radiative life time of cavity modes is very short: for ZnSe of 400 nm thick $\tau_r \approx$ 25 fs and depends on boundary conditions;**
4. **Interference modes are observable in luminescence spectra as well;**
5. **Raman scattering is enhanced at coincidence of exciting or scattered light with frequency of cavity modes;**
6. **Enhancement of Raman scattering on LO-phonons is proportional to quality of the cavity**
7. **Cavity modes are mixed (hybrid) polariton – eigenstates of three-layered structure.**

E.A.Vinogradov. *Physics Reports*, v.217 (4), p.159-223, (1992)
E.A.Vinogradov. *Physics-Uspekhi*, 45 (12) (2002)

# Radiative surface phonons

$$k_{\square} < k_0 = \frac{\omega}{c}$$

## *Reflection-absorption spectroscopy of thin films*




$$k_{\parallel} = k_0 \, Sin\varphi$$

$$k_0 = \omega / c = 2\pi / \lambda_{vacuum}$$

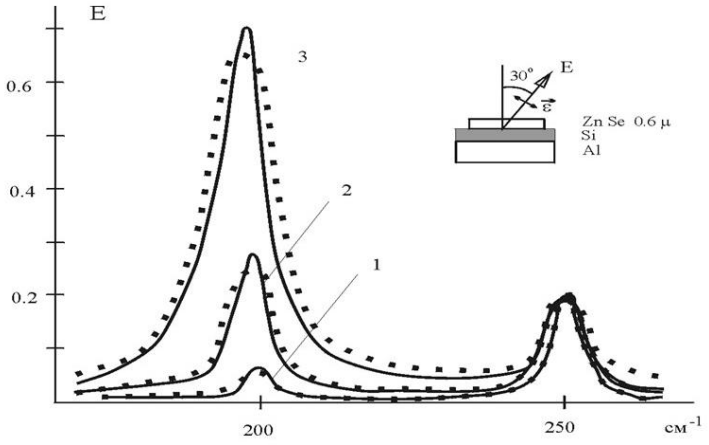
$R \approx 1 - A;$ for $d \ll \lambda$ $A \sim ad;$ $A \equiv E$

For film on metal substrate in p-polarized light

$A_{\uparrow} \sim d\,Sin^2\varphi;$ $A_{\rightarrow} \sim d^3$

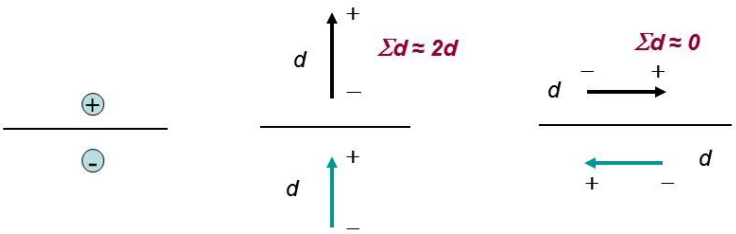
E.A.Vinogradov. *Physics-Uspekhi*, 45 (12) (2002)

## *Metal quenching of interface polariton*

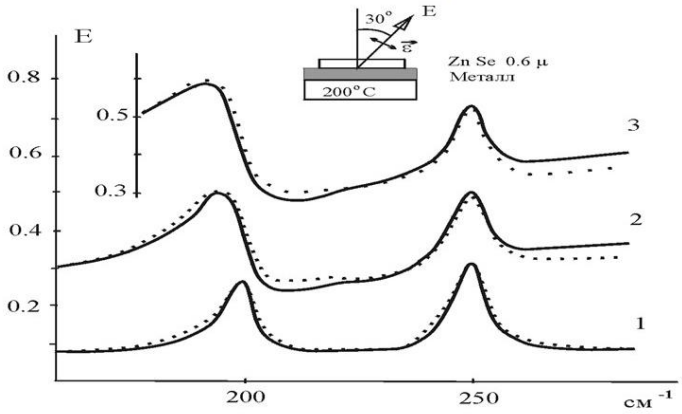



E.A.Vinogradov, *Physics Reports*, v.217, 1992.

## Charge image in a metal




## Interface and surface polaritons




$$A_{\parallel} \sim d^3\omega^3 \qquad A_{\perp} \sim d\omega \cdot Sin^2\theta.$$

E.A.Vinogradov, *Physics Reports*, v.217, 1992.

***«Темные поляритоны»***

Преобразование нерадиационных поляритонов в радиационные

*и / или*

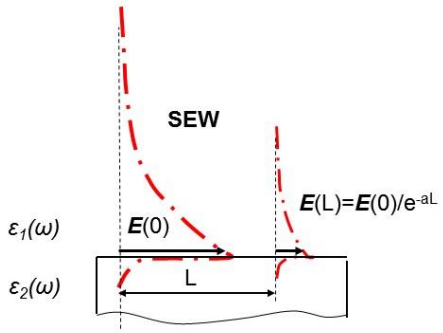
преобразование ближнего поля в дальнее

$$k_{\parallel} > k_0 = \frac{\omega}{c}$$

## Surface Electromagnetic Waves

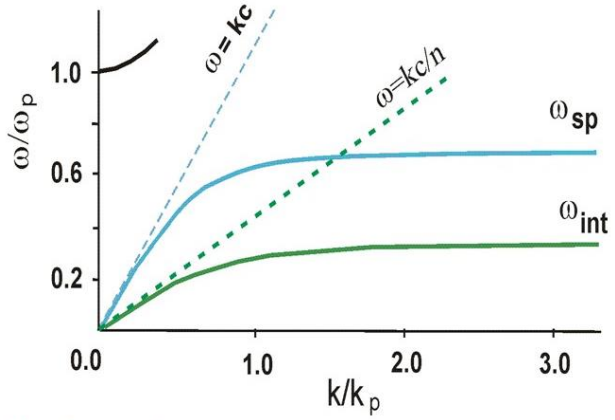
SEW exists in frequency region where

$|\varepsilon_2(\omega)| < -|\varepsilon_1(\omega)|$ , and $k_{\parallel} > k_0 = \omega/c$



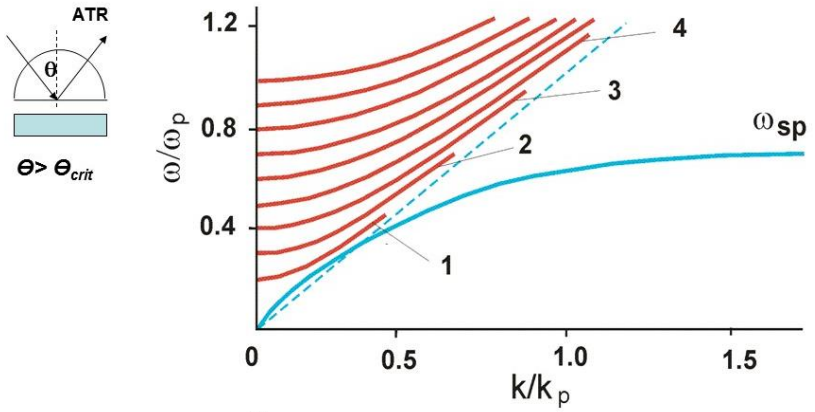

**SEW do not interact with light in ordinary conditions.**
**SEW are nonradiative polaritons.**

**Dispersion of TM polaritons of structures:**
**"vacuum – metal Cr" & "dielectric (ε = 6) – Cr"**



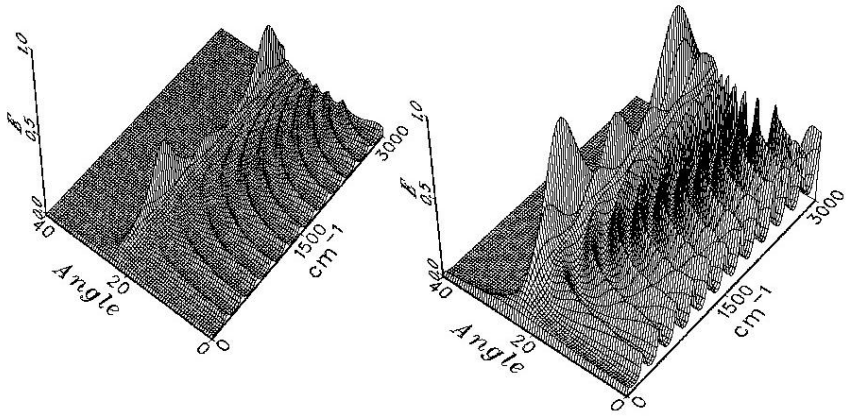

$k = 2\pi / \lambda$ ; $k_p = \omega_p / c$ E.A.Vinogradov, *Physics Reports*, v.217, 1992.

**Dispersion of TM polaritons of a structure:**
**"ideal dielectric (ε = 6) – vacuum gap (1 mkm) – Cr"**



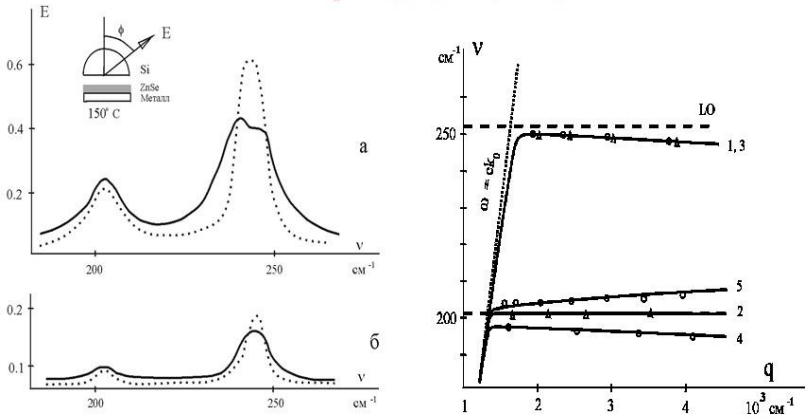

$k_{\square} = nk_0 Sin\theta > k_0 = \dfrac{\omega}{c}$ E.A.Vinogradov. *Physics-Uspekhi*, 45 (12) (2002)

**Emission spectra of "ZnSe prism – vacuum – metal" structures**
**a - Aluminum; b - Chromium**



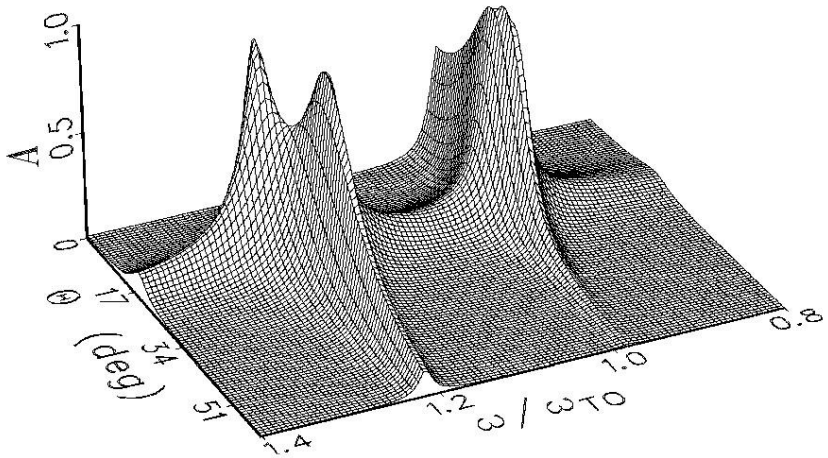

## *Surface "nonradiative" polaritons*

$$k_{\parallel} = n_{Si}\, k_0\, Sin\varphi > k_0 = \omega/c$$

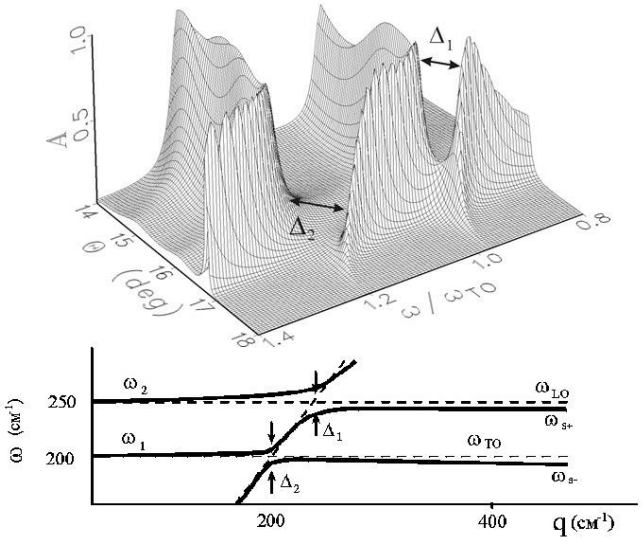



**E.A.Vinogradov.** ***Physics-Uspekhi*****, 45 (12) (2002)**

Emission of «Si prism – gap – ZnSe film» *gap is 3 mkm*



Emission of «Si prism – gap – ZnSe film» gap *is 60 mkm*




E.A.Vinogradov. *Physics-Uspekhi*, 45 (12) (2002)

## *Некоторые выводы*

1. **Исследования оптических свойств структур "пленка полупроводника на металле" методами спектроскопии поверхностных электромагнитных волн показали, что изначально нерадиационный поверхностный плазмон металла преобразуется в набор радиационных состояний, электромагнитное поле которых определяется всеми дипольно-активными возбуждениями каждого вещества структуры и, кроме того, зависит от реальной геометрии эксперимента.**
2. **В любом оптическом эксперименте мы имеем дело с электромагнитными полями гибридных поляритонов, и практически никогда не соприкасаемся с фотонами, распространяющимися в свободном пространстве.**
2. **В ближнем поле есть продольная компонента электромагнитного поля, запрещенная в дальнем поле.**

## Некоторые выводы

***4. В кристаллах конечных размеров, с которыми только и имеют дело экспериментаторы, поглощение света осуществляется не в один шаг (фотон, поглощаясь, рождает фонон или экситон), а фотон сначала превращается в промежуточное состояние электромагнитного поля в кристалле – радиационный поляритон и уже этот поляритон взаимодействует со всей совокупностью дипольно-активных состояний образца. В результате этого взаимодействия поляритон превращается в фонон или в экситон (свободный электрон или дырку), или в плазмон металлической подложки.***

## Что сейчас еще наиболее интересно?

*Spectral density of thermal field energy of a slab in vacuum*

$$u_\omega = u_\omega^{\Pr} + u_\omega^{Ev} = \frac{u_{0\omega}}{2}\left\{\int_0^{\pi/2} \sin\theta d\theta \left[\frac{\left(1-|r_{123}^P|^2\right)+\left(1-|r_{123}^S|^2\right)}{2}\right]+\right.$$

$$\left.+\int_0^{\infty} dy \exp(-2k_0 hy)\left[(y^2+1)\left(\mathrm{Im}\{r_{123}^P\}+\mathrm{Im}\{r_{123}^S\}\right)\right]\right\}$$

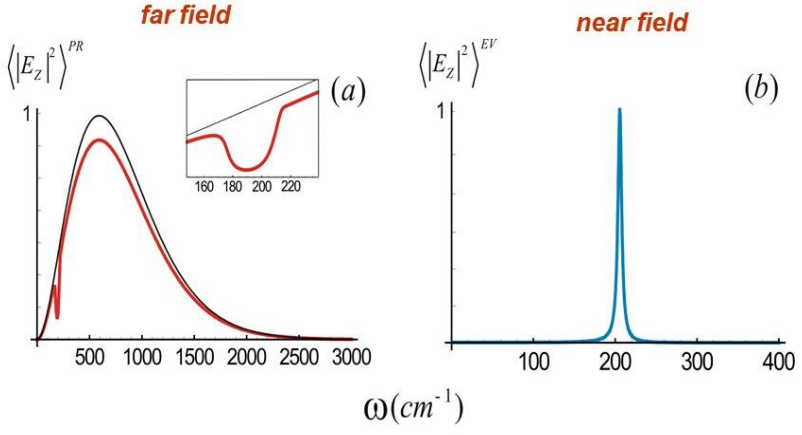
{x,y,h} – point of observation

$$u_{0\omega} = \frac{\hbar\omega^3}{\pi^2 c^3}\left(e^{\frac{\hbar\omega}{k_B T}}-1\right)^{-1}$$

*Spectral density of energy of thermal field of the BB*

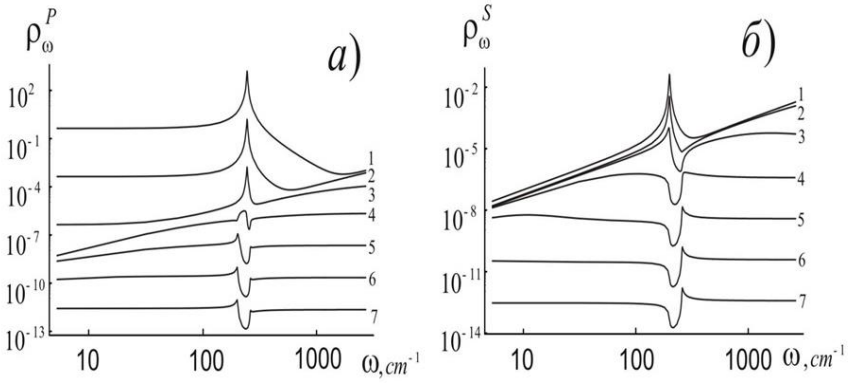
*E.A.Vinogradov, I.A.Dorofeyev, Physics Uspekhi, 2009*

***Normaliezed $E_2$-component of thermal spectra in vacuum from semi-space (ZnTe 300K)***




*E.A.Vinogradov, I.A.Dorofeyev, Physics Uspekhi, 2009*

**Spectral density of energy of thermal field in vacuum at different distances from the surface of semi-infinite ZnSe.**

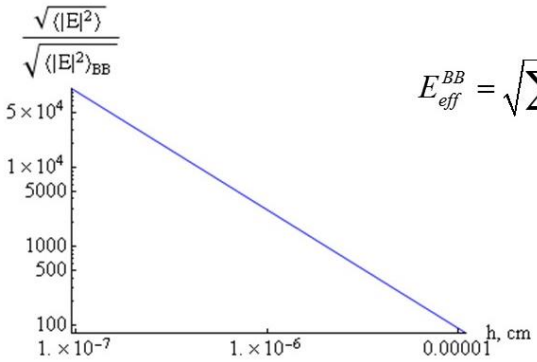



$1-h=10^{-7}\,cm$ $2-10^{-6}\,cm$ $3-10^{-5}\,cm$ $4-10^{-4}\,cm$

$5-10^{-3}\,cm$ $6-10^{-2}\,cm$ $7-10^{-1}\,cm$

*E.A.Vinogradov, I.A.Dorofeyev, Physics Uspekhi, 2009*

**Effective electric field of thermal field for semi-infinite ZnSe space at 300K**




$$E_{eff}^{BB}=\sqrt{\sum\left\langle E_{iBB}^2\right\rangle}\approx\sqrt{\int_0^\infty u_{0\omega}d\omega}$$

$$E_{eff}^{BB}\approx 8\frac{V}{cm}$$

$$E_{eff}^{ev}(h=1nm)\approx 10^3\cdot E_{eff}^{BB}\approx 10^4\frac{V}{cm} \qquad E_{cryst}\approx 10^7\frac{V}{cm}$$

## *Что надо еще сделать …*

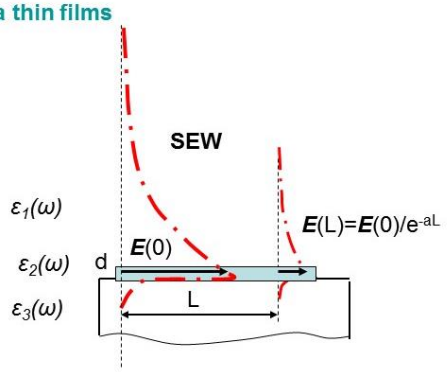
1. ***Взаимодействие атома (молекулы) с приповерхностными полями твердых тел…***
2. ***Радиационный распад поляритонов*** ***Im[ω]***
3. ***Электродинамика микрорезонатора***
4. ***Нестационарный эффект Казимира***
5. Эффективные заряды ионов, уровни прилипания носителей заряда на изотопических примесях…
6. *Продольный “свет” ?!?* $\boldsymbol{k} \parallel \boldsymbol{E}$

# Part II

## Some applications of surface polaritons

## Surface Electromagnetic Waves

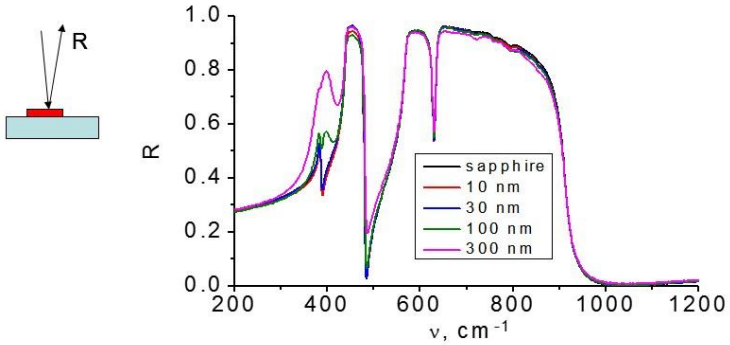
1. For analysis and characterisanion of ultra thin films




2. For new type of sensors

## Reflectivity of sapphire with magnesium oxide film

**IFS66v (BRUKER) infrared Fourier-transform spectrometer with external reflectivity unit.**




**External reflectivity spectra of MgO films on sapphire at near normal incidence;**

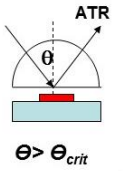
**MgO: $\nu_{TO}$= 392 cm$^{-1}$, $\nu_{LO}$= 695 cm$^{-1}$ (bulk : $\nu_{TO}$= 398 cm$^{-1}$, $\nu_{LO}$= 722 cm$^{-1}$ )**

chemical vapor deposition technique: G. Rossetto, A. Sartori, and M. Bolzan

Istituto di Chimica Inorganica e delle Superfici – CNR, C.so Stati Uniti, 4, 35127, Padova, Italy

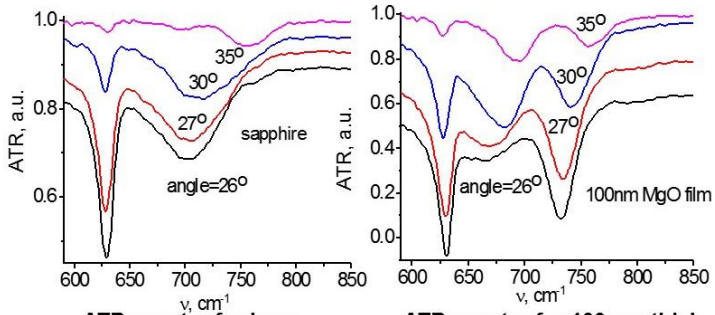
*Journal of Nanoparticle Research, 2011, 13(11), 5841-5846.*

## Sapphire surface polariton splitting due to resonance with magnesium oxide film phonon




$\Theta > \Theta_{crit}$

$$k_{\square} = nk_0 Sin\theta > k_0 = \frac{\omega}{c}$$




**ATR spectra for bare sapphire substrate**

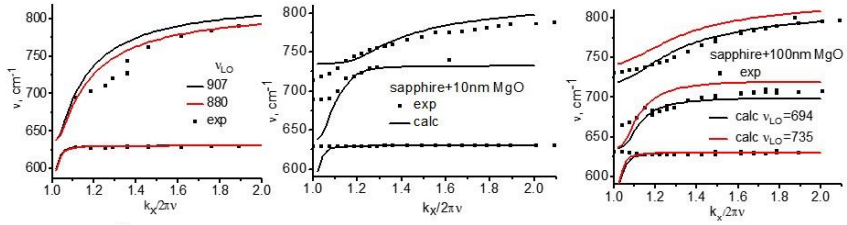
**ATR spectra for 100 nm thick MgO film on sapphire.**

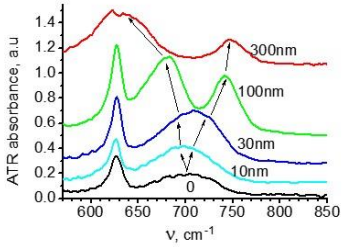
**IFS66v (BRUKER) infrared Fourier-transform spectrometer.**
**The ATR unit NPVO-1, (LOMO, St.Petersburg)**

48

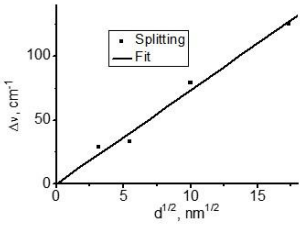
## *Surface polariton dispersion for MgO films on sapphire*

*bare sapphire* *10 nm MgO film* *100 nm MgO film*



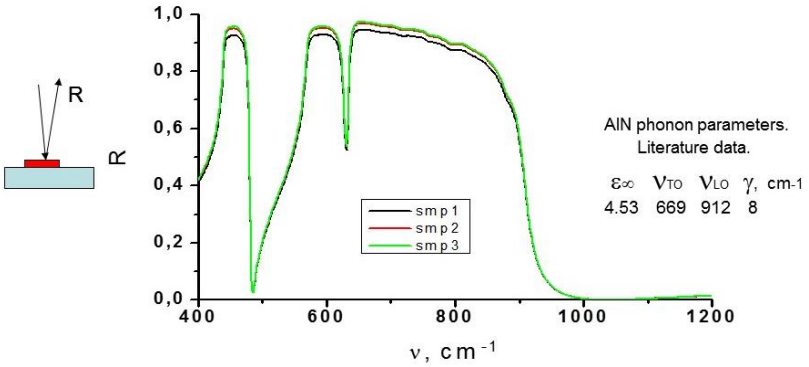




ATR absorbance (27 deg.)




Thickness dependence of the surface polariton splitting

## Reflectivity of sapphire at nitridation




AlN phonon parameters. Literature data.

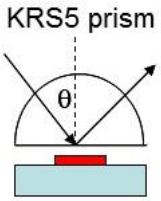
| ε∞ | νTO | νLO | γ, cm-1 |
|---|---|---|---|
| 4.53 | 669 | 912 | 8 |

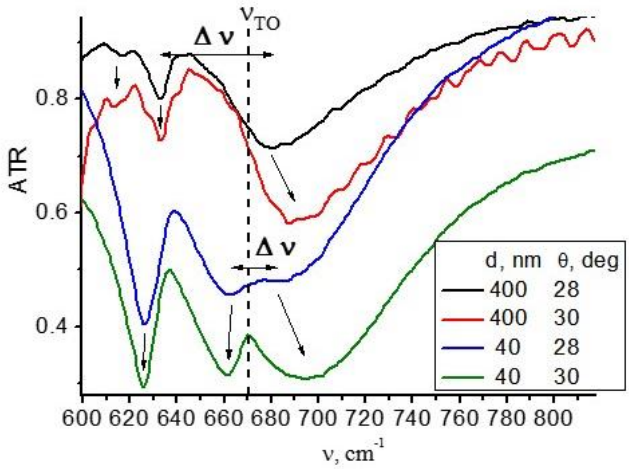
**Reflectivity spectra of sapphire: not annealed substrate (1), annealed substrate (2) and nitridated one (3).**

**Novikova N.N., Vinogradov E.A., Yakovlev V.A., Malin T.V., Mansurov V.G., Zhuravlev K.S.** Nitridation effect on sapphire surface polaritons. ***Surface & Coatings Technology 227 (2013) 58–61.***

(A.V.Rzhanov Institute of Semiconductor Physics , Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia)

# Surface polaritons for AlN films on sapphire




AlN phonon parameters. Literature data and spectra fitting results.

| Sample | eps | TO | LO | width | d, nm |
|---|---|---|---|---|---|
| Bulk (E vibr.) | 4.53 | 669 | 912 | 8 | >200000 |
| As prepared | 3.4 | 662 | 768 | 12 | 400 |
| Back cleaned | 2.46 | 670 | 762 | 9 | 40 |

**S.S. Ng, Z. Hassan and H. Abu Hassan** (the School of Physics, University Sains Malaysia, Penang, Malaysia).

# Some results

- **To study nanofilms very sensitive techniques are needed. The external reflectivity infrared spectra at near normal incidence do not feel the nanofilms on dielectric substrates. The ATR spectra demonstrates high sensitivity of surface polariton technique due to the resonance between the substrate SP and the optical phonons of the films.**
- **The resonance interaction between the substrate SP and the optical phonons of the films were observed and investigated. The splitting of the dispersion curves of substrate SP was found. This splitting is proportional to the square root of the film thickness.**
- **Film thickness and the Lorentz oscillator parameters for AlN and MgO films were obtained. The dielectric functions of the films are reconstructed from ATR spectra.**

# КОРРЕЛИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ СТИМУЛИРОВАННОГО ФОТОННОГО ЭХА ПРИ ТРЕХКВАНТОВОМ ФЕМТОСЕКУНДНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdSe – CdS

**В. В. Самарцев[1,2], Т. Г. Митрофанова[1]**

[1] Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра РАН
*Казань 420029, ул. Сибирский тракт, 10/7*
[2] Казанский (Приволжский) Федеральный университет
*Казань 420008, ул. Кремелевская, 16*
E-mail: samartsev@kfti.knc.ru

Исследованы возможность и условия возбуждения сигналов коррелированного стимулированного фотонного эха (КСФЭ) при трехквантовом фемтосекундном возбуждении образца из *N* полупроводниковых наночастиц CdSe–CdS, являющихся квантовыми точками, каждая из которых состоит из ядра CdSe, покрытого оболочкой CdS. Получены условия пространственного синхронизма сигналов КСФЭ в таком образце.

The possibility and conditions for generation of the correlated stimulated photon echo (CSPE) signals under three-quantum femtosecond excitation of a sample, which is an ensemble of *N* semiconductor nanoparticles, are investigated. Each of these nonoparticles consists of a CdSe core covered by a CdS shell. The phase matching conditions for CSPE formation in such a sample are obtained.

**1. Введение.** Квантовые точки обещают найти многочисленные применения при создании новых лазерных сред, солнечных батарей, квантовой информационной памяти, однофотонных источников [1, 2]. Среди них существенная роль принадлежит квантовым точкам CdSe–CdS [3, 4]. В этой работе мы обсудим возможность возбуждения на образцах, содержащих такие квантовые точки, оптических переходных явлений типа стимулированного фотонного эха (СФЭ).

В работе [5] нами была предсказана возможность возбуждения сигналов коррелированной свободной световой индукции (КССИ) на примере полупроводникового кристалла CdS в двухквантовом режиме при воздействии фемтосекундного излучения титан-сапфирового лазера на длине волны $\lambda = 800$ нм в направлении волновых векторов $\mathbf{k}_1$ и $\mathbf{k}_2$, расположенных друг относительно друга под углом 60°. В этом случае в кристалле CdS возникали ЭПР (т.е. Эйнштейн–Подольский–Розен) «решетки» [6] и, соответственно, пространственные «решетки» $\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2$ и $\mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_1$, на которых и рассеивались во взаимно-противоположных направлениях излучавшиеся одновременно сфазированные коррелированные сигналы свободной индукции КССИ$_1$ и КССИ$_2$. Экспериментально установлено [7], что в наноструктурированном образце при его возбуждении фемтосекундным излучением титан-сапфирового лазера (800 нм) реализуется не двухквантовый, а трехквантовый энергетический переход. Аналогичная ситуация имеет место и при возбуждении наноструктурированного образца с квантовыми точками CdSe–CdS [3]. Если вернуться к идее работы [5], то следует напомнить [8], что сигнал СФЭ является, по сути, сигналом свободной индукции, но в неравновесных условиях, которые возникают после воздействия первых двух возбуждающих импульсов. Эта же идея экспериментально воплощена в режиме четырехволнового смешения (ЧВС) в работе [9], из которой мы заимствовали ЧВС-схему (Рис.1) получения трех СФЭ сигналов в направлениях волновых векторов: $\mathbf{k}_4 = -\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3$, $\mathbf{k}_5 = \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3$ и $\mathbf{k}_6 = \mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_3$.

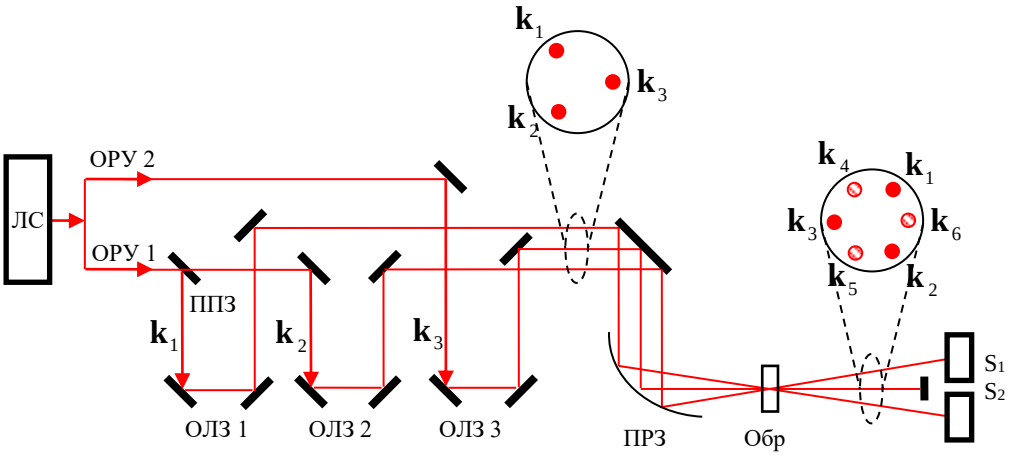
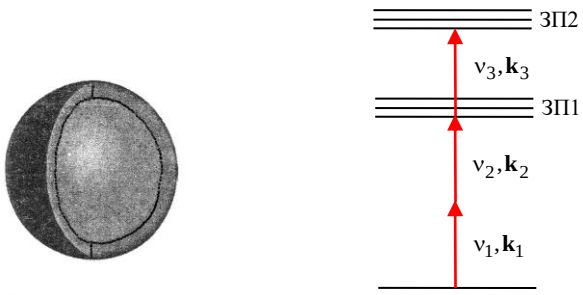



**Рис. 1.** Оптическая схема возбуждения СФЭ-сигналов [9]. ЛС – лазерная система, ОРУ 1 и ОРУ 2 – оптические регенеративные усилители, ППЗ – полупрозрачное зеркало (50:50), ОЛЗ 1, ОЛЗ 2, ОЛЗ 3 – оптические линии задержки, ПРЗ – параболическое зеркало, Обр – образец, S 1 и S 2 – оптические спектрометры, $\mathbf{k}_1$, $\mathbf{k}_2$, $\mathbf{k}_3$ – волновые векторы возбуждающих импульсов, $\mathbf{k}_4$, $\mathbf{k}_5$, $\mathbf{k}_6$ – волновые векторы СФЭ-сигналов.

Можно убедиться, что если угол между волновыми векторами $\mathbf{k}_1$ и $\mathbf{k}_3$, а также между волновыми векторами $\mathbf{k}_3$ и $\mathbf{k}_2$ равен 60°, то как будет показано ниже, ненулевыми оказываются только СФЭ сигналы в направлениях $\mathbf{k}_4$ и $\mathbf{k}_5$, а сигнал СФЭ в направлении $\mathbf{k}_6$ будет равен нулю. Таким образом, целью данной работы является доказательство утверждения, что в условиях существования в наноструктурированном образце ЭПР-пары, коррелированными сигналами стимулированного фотонного эха являются сигналы с волновыми векторами $\mathbf{k}_4$ и $\mathbf{k}_5$.

**2. Свойства ансамбля коллоидных квантовых точек CdSe–CdS.** Ранее в работе [10] было показано, что для резонансного возбуждения кристалла CdS излучением фемтосекундного титан-сапфирового лазера (800 нм) необходим двухквантовый режим. Позднее, вслед за работой [7], нами было экспериментально установлено, что для резонансного возбуждения нанопорошков CdS излучением этого же лазера необходим уже трехквантовый режим [11]. В экспериментальной работе [3] было показано, что в качестве нанопорошка могут быть использованы полупроводниковые наночастицы CdSe–CdS, известные как наноструктуры типа «ядро–оболочка», где в качестве ядра выступают наночастицы CdSe размером 3–4 нм, а в качестве покрытия – наночастицы CdS из более широкозонного полупроводника. Размер ядра к толщине покрытия в нанометрах подбирается в соотношении 2,5:1. Квантовые точки CdSe получены по коллоидному методу синтеза в водно-глицериновой среде [12]. На полученные ядра CdSe наращивалась оболочка CdS на основе ацетата кадмия и тиоацетамида. Средний размер полученных частиц составлял 5 нм (исходя из данных люминесцентной спектроскопии). По сравнению с чистым ядром (CdSe) покрытие из CdS позволяло увеличивать люминесценцию в 8 раз. В качестве исследуемых образцов использовались композиты, состоящие из ноночастиц CdSe–CdS, диспергированных в полимерную матицу полиметилкрилата (ПММА). Судя по всему, структура зон (проводимости и запрещенных) у CdSe и CdS остается близкой. Ситуация пояснена на Рис. 2.

Представляется целесообразным в этом разделе привести (Рис.3) экспериментально снятую в нашей работе [3] зависимость интенсивности люминесценции наноструктурированных образцов CdSe–CdS с различным соотношением диаметра ядра к толщине оболочки от длины волны (в диапазоне 400–800 нм).




*а* *б*

**Рис. 2.** *а* – наноструктура «ядро–оболочка» (CdSe–CdS) [3]; *б* – структура зон (проводимости и запрещенных) у CdSe и CdS: ЗП1 и ЗП2 – зоны проводимости, $\nu_i$, $\mathbf{k}_i$ – частота и волновой вектор i-го возбуждающего импульса, i = 1, 2, 3.

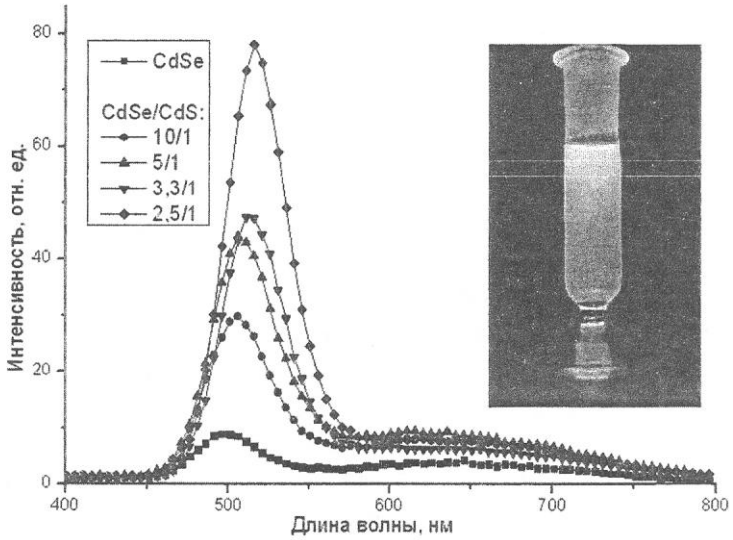



**Рис. 3.** Спектры люминесценции нанокомпозитов CdSe–CdS с различным соотношением диаметра ядра к толщине оболочки.

В зависимости от размера наноструктуры менялась ширина запрещенной зоны и имел место квантоворазмерный эффект, когда менялась длина волны люминесценции [3]. Так, частицы наноструктуры CdSe–CdS размером 2 нм имели максимум полосы излучения на 525 нм, 3 нм – 540 нм, 6,5 нм – 590 нм и 7 нм – 600 нм. Уже отмечалось, что покрытие ядра CdSe оболочкой более широкозонного полупроводника позволяет увеличить эффективность люминесценции. Это обусловлено тем, что в таких гетероструктурах возбуждение происходит более эффективно за счет особой конфигурации энергетических зон. Меньшее количество внутренних элементарных возбуждений разрушается безызлучательно. Представленные на Рис. 3 результаты свидетельствуют, что помещение «ядра» CdSe в «оболочку» CdS дает эффективное усиление люминесценции. При возбуждении излучением фемтосекундного титан-сапфирового лазера синтезированные наночастицы CdSe–CdS проявляют нелинейные оптические свойства: многофотонное поглощение и люминесценцию в области 520, 530, 590 и 600 нм. После возбуждения тремя одинаковыми по длине волны (800 нм) импульсами электроны образца оказываются на уровне 267 нм (т.е. $\lambda_{воз} = \lambda / 3$). Затем, судя по результатам экспериментальной работы [13], за счет безызлучательного перехода электроны оказываются на уровне 534 нм (т.е. 267 нм × 2 или близко к нему), с которого и люминесцируют.

**3. Сигналы коррелированного стимулированного фотонного эха.** Обсудим конкретный случай пространственного расположения волновых векторов $\mathbf{k}_1$, $\mathbf{k}_2$ и $\mathbf{k}_3$ возбуждающих

импульсов, когда угол между $\mathbf{k}_1$ и $\mathbf{k}_3$, а также между $\mathbf{k}_3$ и $\mathbf{k}_2$ равен 60°, а волновой вектор $\mathbf{k}_3$ направлен перпендикулярно плоскости наноструктурированного образца. Напомним, что сигналы трехквантового стимулированного фотонного эха будут испущены таким образцом в направлениях следующих волновых векторов [9]:

$$\mathbf{k}_4 = -\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3, \quad (1)$$

$$\mathbf{k}_5 = \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3, \quad (2)$$

$$\mathbf{k}_6 = \mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_3. \quad (3)$$

Обратим внимание на формулы (1) и (2), где волновые векторы $\mathbf{k}_1$ и $\mathbf{k}_2$ расположены как в случае коррелированных сигналов свободной индукции, и отметим, что сигнал $\mathbf{k}_6 = 0$. Ситуация пояснена на Рис. 4.

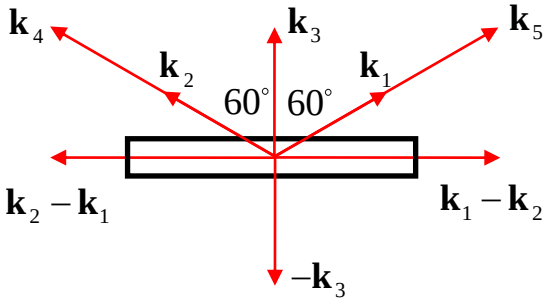



**Рис. 4.** Условия пространственного синхронизма коррелированных сигналов СФЭ ($\mathbf{k}_4$ и $\mathbf{k}_5$) при трехквантовом возбуждении наноструктурированного образца CdSe–CdS на длине волны 800 нм.

Таким образом, волновые векторы коррелированных сигналов СФЭ $\mathbf{k}_4$ и $\mathbf{k}_5$ направлены под углом 30° к поверхности образца. Их несущая длина волны равна 267 нм × 2 = 534 нм. Зафиксировать их можно либо по длине волны, либо по времени. Коррелированность этих сигналов связана с коррелированностью «решеток» $\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2$ и $\mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_1$, а она, в свою очередь, вызвана наличием ЭПР-решеток. Благодаря квантоворазмерному эффекту становится возможным управление длиной волны сигналов КСФЭ.

Остановимся коротко на методике расчета КСФЭ. Следуя [14], выражение для интенсивности сигналов СФЭ, излучаемых в телесный угол $\Delta\Omega$, записывается следующим образом:

$$\Delta I(\mathbf{k}_\alpha, t) = I_0(\mathbf{k}_\alpha) F(t) F^*(t) \Delta\Omega, \quad (4)$$

где $\mathbf{k}_\alpha$ – волновой вектор СФЭ, $\alpha = 4, 5, 6$, $I_0(\mathbf{k}_\alpha)$ – одночастичная интенсивность в направлении $\mathbf{k}_\alpha$,

$$F(t) = 2\int_0^\infty d(\Delta\omega) g(\Delta\omega) \sum_j^N W(\Delta\omega, \mathbf{r}, t) e^{-i\mathbf{k}_\alpha \mathbf{r}}, \quad (5)$$

$\Delta\omega = \omega_0 - 3\omega_L$ – параметр расстройки. Можно показать, что интенсивность сигналов СФЭ в направлениях $\mathbf{k}_4$, $\mathbf{k}_5$ и $\mathbf{k}_6$ может быть рассчитана в приближении малых «площадей» $\theta_\alpha$ по следующей формуле:

$$\Delta I(\mathbf{k}_\alpha, t) = I_0(\mathbf{k}_\alpha) N^2 \cdot \theta_4^2 \theta_5^2 \theta_6^2 e^{-i\Delta\omega(t-2\tau_1-\tau_2)} R, \quad (6)$$

где $I_0(\mathbf{k}_\alpha)$ – интенсивность спонтанного излучения в направлении $\mathbf{k}_\alpha$ трехквантово-возбужденной частицы, $\tau_1$ и $\tau_1+\tau_2$ – моменты воздействия второго и третьего возбуждающих импульсов, $R$ – релаксационный множитель. Напомним, что приближение малых «площадей» соответствует значениям $\theta_\alpha$, отвечающим условию $\sin\theta_\alpha \approx \theta_\alpha$.

Оценки показывают, что несмотря на малость трехфотонного сечения поглощения ($10^{-79}$ см$^6$·с$^2$·число фотонов$^{-2}$) эти когерентные отклики все же наблюдаемы [7]. Аналогичная ситуация, по-видимому, будет иметь место и для коррелированных сигналов аккумулированного фотонного эха [8], что, в принципе, подмечено в экспериментальной работе [15].

**Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН «Актуальные проблемы физики низких температур» и Программы ОФН РАН «Фундаментальная оптическая спектроскопия и ее приложения», а также гранта РФФИ №14-02-00041-а.**

.

**Список литературы**

[1] D. Bera, L. Qian, T.-K. Tseng, P. Holloway, *Materials* **3** (2010) 2260.
[2] In book: Nanotechnology research direction: IWGN Workshop Report, editors: M.C. Roco, R.S. Williams, P. Alivisatos (2002), 293 p.
[3] Д.К. Жарков, А.Г. Шмелев, А.В. Леонтьев, В.С. Лобков, В.В. Самарцев. Сб.: «Когерентная оптика и оптическая спектроскопия» под ред. М.Х. Салахова, К(П)ФУ: Казань (2014), С. 109-112.
[4] В.В. Самарцев, Д.К. Жарков, А.В. Леонтьев, В.С. Лобков, Т.Г. Митрофанова, А.Г. Шмелев. Сб.: «Когерентная оптика и оптическая спектроскопия» под ред. М.Х. Салахова, К(П)ФУ: Казань (2015), С. 164-166.
[5] A.V. Leontiev, V.S. Lobkov, T.G. Mitrofanova, A.G. Shmelev, V.V. Samartsev, *Laser Phys. Lett.* **9** (2012) 654.
[6] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, *Phys. Rev.* **47** (1935) 777.
[7] J.W.M. Chon, M. Gu, *Appl. Phys. Lett.* **84** (2004) 4472.
[8] И.В. Евсеев, Н.Н. Рубцова, В.В. Самарцев, *Когерентные переходные процессы в оптике*, Физматлит, Москва (2009).
[9] L.J. Mckimmie, C.H. Lincoln, J. Jasieniak, T.A. Smith, *J. Phys. Chem. C* **114** (2010) 82.
[10] F. Hillmann, I. Voigh, H. Redlin, A*ppl. Phys. Lett.* **77** (2000) 4181.
[11] K.V. Ivanin, A.V. Leontiev, V.S. Lobkov, V.G. Nikiforov, K.M. Salikhov, G.M. Safiullin, V.V. Samartsev, *Laser Phys. Lett.* **6** (2009) 644.
[12] А.В. Леонтьев, Д.К. Жарков, А.Г. Шмелев, В.Г. Никифоров, В.С. Лобков. Сб.: «Когерентная оптика и оптическая спектроскопия» под ред. М.Х. Салахова, К(П)ФУ: Казань (2015), с.146-148.
[13] Д.К. Жарков, Г.М. Сафиуллин, В.Г. Никифоров, В.С. Лобков, В.В. Самарцев, *Ученые Записки Казанского Университета, физ.-мат. науки* **155** (2013) 66.
[14] Э.А. Манькин, В.В. Самарцев, *Оптическая эхо-спектроскопия*, Наука, Москва (1984), 270 с.
[15] K. Takemoto, B.-R. Hyan, Y. Masumoto, *Jour. of Luminescence* **87-89** (2000) 485.

# ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ ОДНОФОТОННЫХ СОСТОЯНИЙ С ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ ДЛЯ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КВАНТОВОЙ СВЯЗИ

**А.В. Шкаликов[1], И.З. Латыпов[1], [1] Д.А. Турайханов, А.А. Калачев[1], В.В. Самарцев[2]**

*[1]Казанский физико-технический институт им.Е.К.Завойского,*
*420029, г.Казань, ул.Сибирский тракт, 10/7*
*[2]Казанский (Приволжский) федеральный университет,*
*420008, Казань, ул. Кремлевская, 18*
*e-mail: andrei_vs@rambler.ru*

Однофотонные состояния света необходимы для различных квантовых протоколов связи, и поэтому их разработкой занимается множество научных групп во всем мире. Лучше всего для этой цели использовать процесс спонтанного параметрического рассеяния (СПР) и четырехволнового смешения. В каналах атмосферной оптической квантовой связи при передаче информации вместо кодирования по поляризации более целесообразно применять кодирование по орбитальному угловому моменту (ОУМ). В данной работе рассмотрены методы генерации однофотонных состояний с орбитальным угловым моментом, а также методы детектирования и разделения фотонов с ОУМ.

**1. Введение.** В последние десятилетия наряду с обычной секретной передачей информации все больше внимания уделяется передачей информации по квантовым каналам связи, где секретность обусловлена принципами квантовой физики. Одиночные фотоны являются основными носителями информации в таких системах, сама же информация кодируется либо по поляризации, либо по орбитальному моменту. Среди всевозможных методов генерации однофотонных состояний уникальное место занимает процесс спонтанного параметрического рассеяния (СПР) света. Это обусловлено широкими возможностями по управлению спектром и временной формой приготавливаемых однофотонных состояний.

**2. Методы генерации фотонов с ОУМ.** Одним из простых методов генерации отдельных фотонов с ОУМ является использование СПР света, где в качестве накачки применяется лазерный пучок света с ненулевым орбитальным моментом. Тогда у получаемой в процессе СПР пары фотонов будет сохраняться сумма ОУМ. Поэтому рассмотрим методы генерации ОУМ в лазерных пучках.

**2.1. Дифракционные оптические элементы.**

Самым простым методами генерации света с ненулевым орбитальным моментом является метод амплитудно-фазовых масок, т.е применение дифракционных оптических элементов (ДОЭ), которые представляют собой пластинки с амплитудными и фазовыми структурами с дислокациями. Такие пластинки рассчитывают с помощью компьютера и изготавливают методом прецизионной лазерной или электронно-лучевой литографии.




**Рис. 1.** Дифракционные оптические элементы [1].

**2.2. Пространственный модулятор света.**

Пространственный модулятор света ПМС (рис.2.) представляет собой объект , который накладывает форму различной амплитудной и фазовой модуляции на пучок света. В его основе лежат жидкие кристаллы, управляемые с компьютера. Практически ПМС является аналогом амплитудно-фазовых масок, только позволяет менять маску с частотой до 1 кГц

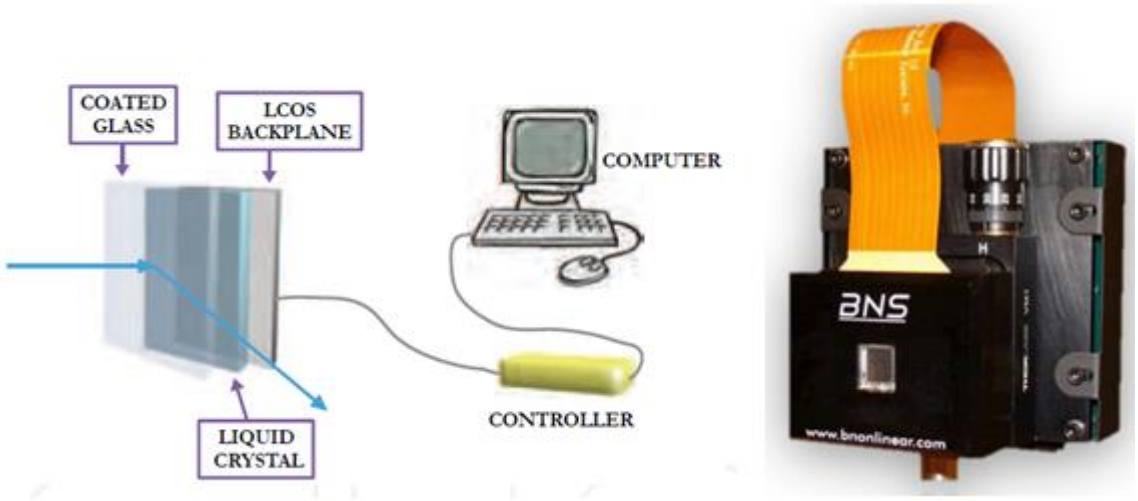



**Рис. 2.** Пространственный модулятор света BNS.

**2.3 Q-Пластина.**

Другой метод генерации орбитального углового момента света основан на переходе спинового углового момента в ОУМ, который может произойти в среде , которая является одновременно анизотропной и неоднородном. В частности, так называемая Q-пластина представляет собой устройство, которое может сгенерировать ОУМ, используя изменение поляризации. В этом случае значение ОУМ зависит входной поляризации пучка накачки (Рис.3.). Сейчас Q-пластины реализуется на основе жидких кристаллов или полимеров.

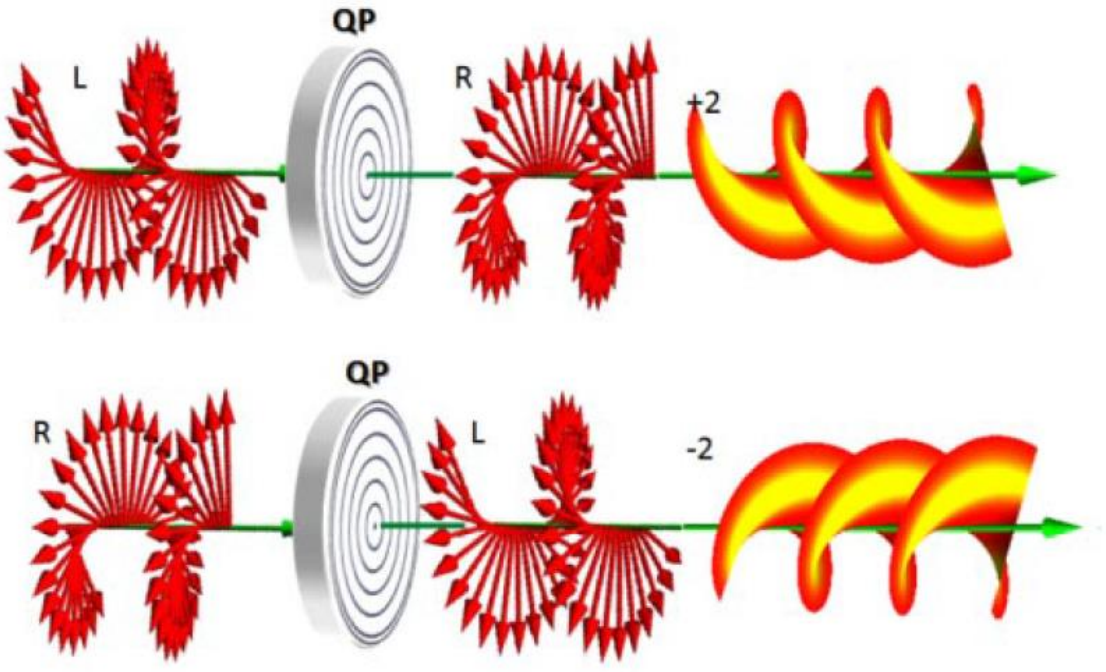



**Рис. 3.** Преобразование света с круговой поляризацией в пучки с орбитальным моментом.

2.4. **Цилиндрические линзы.**

Набор из двух цилиндрических линз позволяет конвертировать моды Эрмита-Гаусса в моды Лагерра-Гаусса (рис 4).

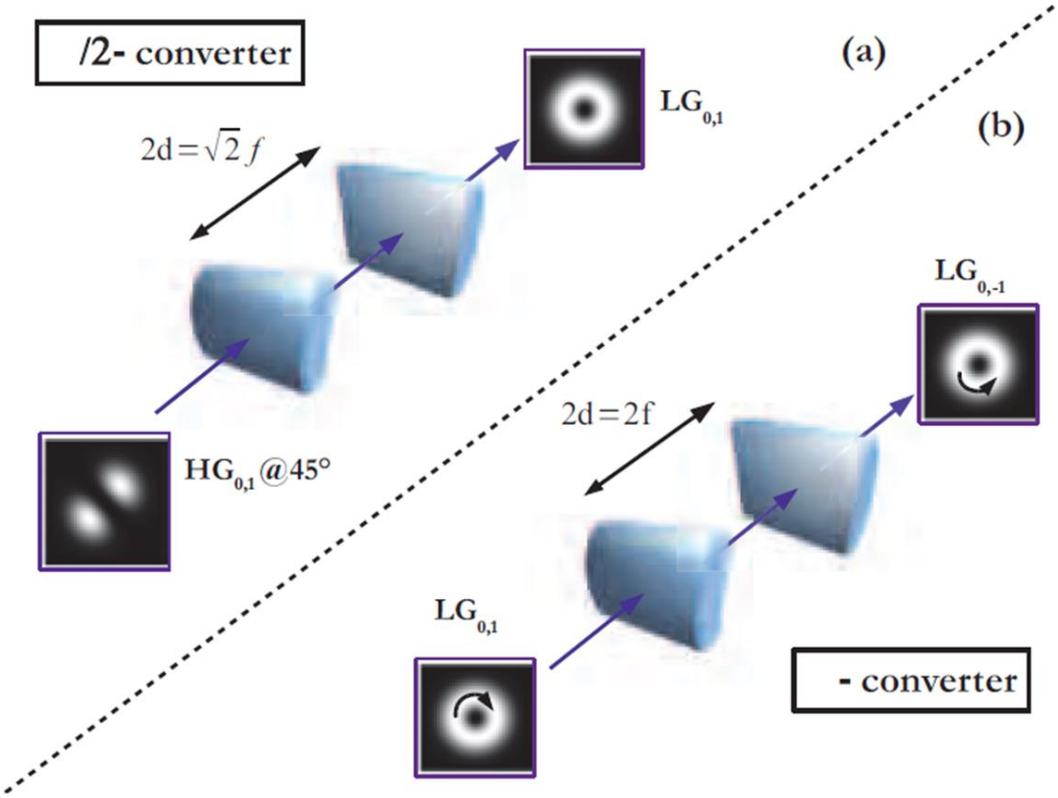



**Рис. 4.** Конвертация мод Эрмита-Гаусса в моды Лагерра-Гаусса.

**3. Методы детектирования и разделения фотонов с ОУМ.** В основе методов детектирования фотонов с ОУМ лежат методы разделения и сортировки фотонов с ОУМ. В настоящее время существует несколько простых и эффективных методов для разделения фотонов с различными орбитальными моментами. Остановимся подробнее на трех из них. Наиболее простой метод основан на свойстве ДОЭ решетка с «вилкой» отклонять под разными углами луч с разным ОУМ (рис. 5). Этот метод уже ставший стандартным применен в работе [2], где исследуется перепутывание состояний фотонов с ОУМ.

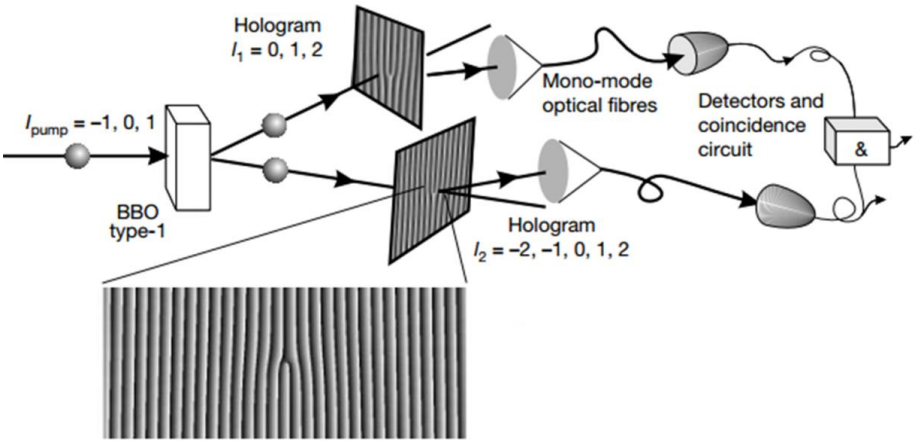



**Рис. 5.** Метод детектирования фотонов с ОУМ [2].

Второй способ сортировки фотонов с орбитальным моментом описан в работе [3], авторы которой предлагают использовать ряд интерферометров и призм Дове для разделения фотонов. Однако, чтобы разделить на N различных состояний потребуется N-1 интерферометр. Схема эксперимента представлена на рисунке 6.

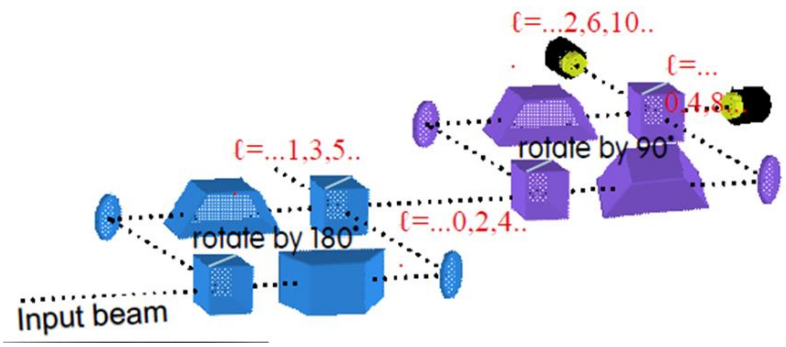



**Рис. 6.** Метод сортировки фотонов с ОУМ [3].

Следующий метод использует два пространственных модуляторов света, чтобы сначала преобразовать орбитальный градиент фазы в поперечный, а затем, чтобы сфокусировать пятно в боковом положении, которое зависит от этого градиента рис. 7 [4].Этот метод был использован в [5] чтобы отделить до 50 состояний с разным ОУМ.

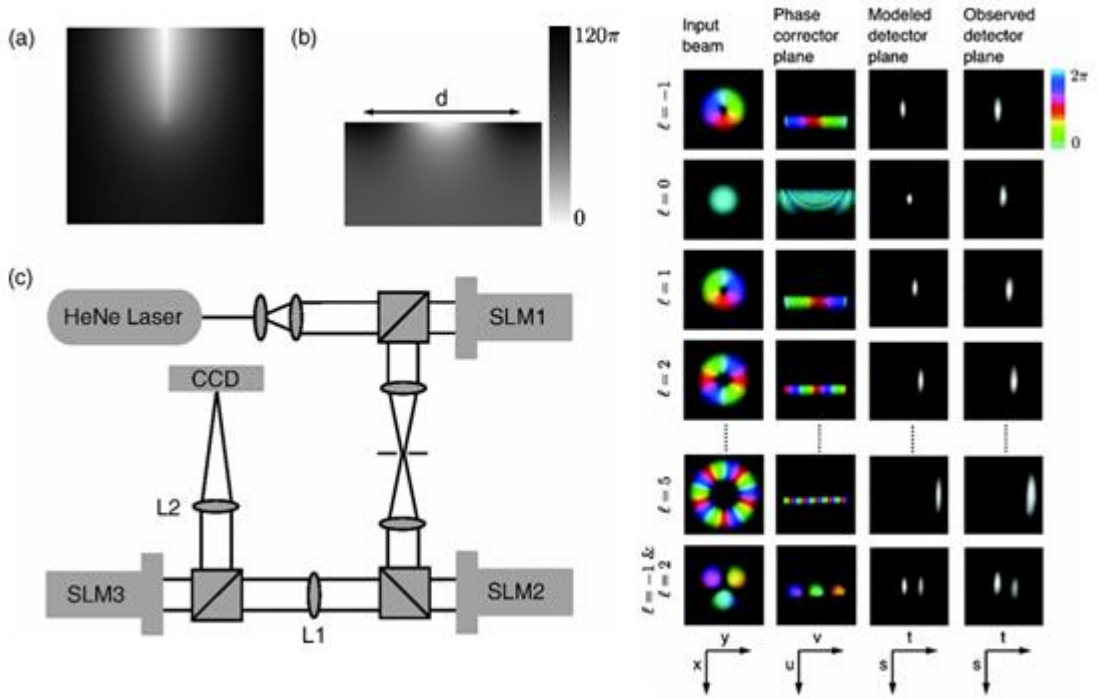



**Рис. 7.** Метод разделения состояний фотонов с ОУМ [4,5].

**4. Заключение.** В работе рассмотрены способы генерации однофотонных волновых пакетов с ненулевым ОУМ, а также методы их детектирования.

**Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 16-02-01055.**

**Список литературы**

[1] Дифракционная компьютерная оптика. под ред. В.А. Сойфера. М.: Физматлит (2007)
[2] A. Mair, A. Vaziri, G. Weihs & A. Zeilinger Entanglement of the orbital angular momentum states of photons, Nature (2001)
[3] J. Leach, M. J. Padgett, S. M. Barnett, S. Franke-Arnold, and J. CourtialPhys. Measuring the Orbital Angular Momentum of a Single Photon Rev. Lett. **88**, 257901 (2002)
[4] G. C. G. Berkhout, M. P. J. Lavery, J. Courtial, M. W. Beijersbergen, and M. J. Padgett Efficient Sorting of Orbital Angular Momentum States of Light Phys. Rev. Lett. **105**, 153601 (2010)
[5] M.P.J. Lavery, D.J. Robertson, A. Sponselli, J. Courtial, N.K. Steinhoff, G.A. Tyler, A.E. Willner, M.J. Padgett Efficient measurement of an optical orbital-angular-momentum spectrum comprising more than 50 states J. Phys. **15** 013024 (2013).

# МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ НАНОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

**А.А. Баев[1], А.В. Наумов[2], И.И. Еремчев[2], А.А. Роженцов[1],**

[1] Поволжский государственный технологический университет
424000, г.Йошкар-Ола, пл.Ленина, д.3
[2]Институт спектроскопии РАН
108840 г. Москва, г.Троицк, ул. Физическая5,

*e-mail: RozhencovAA@volgatech.net*

**1. Введение.** Развитие методов исследования объектов нанометровых размеров является актуальным направлением современной науки. Из-за ограничений, связанных с существованием дифракционного предела, возможности обычной оптической микроскопии в настоящее время практически исчерпаны и необходимо создание новых методов формирования и обработки изображений наноразмерных объектов. В этом плане перспективным направлением является наноскопия, позволяющая на основе анализа микроскопических изображений с внедренными флюоресцирующими метками синтезировать изображения, разрешение которых выше дифракционного предела [1]. Получение таких результатов невозможно без применения современных подходов к цифровой обработке изображений, основанных на решении ряда задач, в том числе, статистического анализа характеристик фона, формы аппаратной функции и т.д. для обеспечения возможности оптимального решения задач фильтрации и обнаружения точечных и малоразмерных отметок, их разрешения и оценки параметров. Особого внимания заслуживает решение задачи обеспечения возможности обработки наноскопических изображений в реальном масштабе времени. Это обусловлено высокой скоростью поступления данных и их большим объемом, высокой трудоемкостью применяемых в настоящее время алгоритмов, необходимостью контроля за ходом эксперимента в реальном или близком к нему масштабе времени. В вязи с этим требуется разработка высокоэффективных в вычислительном плане алгоритмов, обеспечивающих необходимое качество обработки наноскопических изображений, обладающих возможностью распараллеливания выполняемых операций.

Целью данной работы является разработка подходов к обработке наноскопических изображений, базирующихся на методах оптимальной обработки сигналов, обеспечивающих возможность их анализа в реальном или близком к нему масштабе времени.

**2. Базовые задачи обработки наноскопических изображений.** Оценка статистических характеристик фона. Информация о статистических характеристиках фона необходима для решения задач обнаружения точечных отметок и при моделировании наноскопических изображений. Для оценки статистических характеристик в наноскопических изображениях выделялись фрагменты, не содержащие сигнальные отметки. Для них были построены гистограммы и получены оценки моментов распределения. Проверка гипотезы о виде закона распределения показала, что отсчеты фона распределены по нормальному закону. Благодаря этому, решение последующих задач (обнаружение, разрешение, оценка параметров) может базироваться на использовании согласованной фильтрации, минимизации среднеквадратических отклонений и т.п.

*Оценка параметров аппаратной функции устройства получения наноскопических изображений.* Под аппаратной функцией при обработке наноскопических изображений понимается отклик регистрирующей системы, формируемый при обработке изображения от одиночной точечной отметки. По своей сути аппаратная функция является аналогом импульсной характеристики системы и ее знание является необходимым для оптимального решения

задач обработки наноскопических изображений. Теоретически было показано, что аппаратная функция описывается функцией Эйри [1], но ее применение неудобно и с достаточной точностью вместо нее в большинстве практически важных случаев может использоваться двумерная гауссоида [1]. Оценка параметров аппаратной функции теоретически возможна по изображениям каждой точечной отметки, однако на практике препятствием к этому является перекрытие откликов от разных отметок. В связи с этим в работе предложен подход к определению параметров аппаратной функции по автокорреляционной функции изображения, характеристики которой в окрестности главного максимума однозначно связаны с аппаратной функцией системы. Для получения числовых оценок значений ширины аппаратной функции, шумового слагаемого, амплитуды использовался метод Левенберга-Марквардта [11-13].

*Обнаружение точечных и малоразмерных объектов в наноскопических изображениях*. Изображения флюоресцирующих меток в наноскопическом изображении представляют собой наборы точечных или малоразмерных объектов, параметры которых определяются видом аппаратной функции. Поскольку, как было показано ранее, параметры аппаратной функции могут быть предварительно оценены, то обнаружение точечных отметок может быть сведено к решению задачи обнаружения сигнала с известной формой на фоне нормального шума [2, 14]. В результате процедура обнаружения сводится к согласованной фильтрации сигнала и выявлению отсчетов, превышающих заданный порог, установленный исходя из требуемых значений вероятности ложной тревоги. Экспериментальная проверка предложенного подхода подтвердила его эффективность при обнаружении пиков в наноскопических изображениях.

*Разрешение точечных отметок*. При решении задачи разрешения точечных отметок необходимо определить, какие отметки и с какими параметрами привели к формированию тех или иных пиков в наноскопическом изображении, т.е. в результате необходимо определить координаты и амплитуды разрешаемых отметок. Для разрешения сигналов в настоящее время используются различные подходы. Возможно использование специальных видов модуляции, обеспечивающих близкий к дельтовидному результат обработки согласованным фильтром, однако в наноскопических изображениях применение дополнительных видов модуляции затруднено. Хорошие результаты могут быть получены с помощью инверсных фильтров, но для этого эталонный сигнал должен иметь широкий квазиравномерны или равномерный спектр. Гауссоида, используемая для аппроксимации аппаратной функции, не удовлетворяет этим требованиям. Близкой к задаче разрешения является задача деконволюции [3-10], однако универсальных и однозначных рекомендаций по выбору того или иного способа деконволюции, пригодного для всех приложений в настоящее время нет. Выбор метода деконволюции зачастую определяется опытом разработчика, требованиями к точности и быстродействию, чувствительностью к различным помеховым факторам, имеющимися аппаратными и программными средствами. В работах по обработке наноскопических изображений для разрешения пиков в наноскопических изображениях выполняется их аппроксимация двумерной функцией Гаусса с подбором необходимых параметров (количество пиков, координаты, амплитуды) с помощью метода Левенберга-Марквардта. В качестве критерия качества разрешения используется величина погрешности аппроксимации. Вариант размещения пиков с минимальной погрешностью используется в качестве результата разрешения. Недостатком метода является чувствительность к краевым эффектам, зависимость результата от начальных условий, неоднозначность получаемого решения, относительно высокая вычислительная трудоемкость и значительная вариабельность требуемого для разрешения пиков времени. В вязи с этим в работе был предложен оригинальный подход к решению задачи разрешения отметок в наноскопических изображениях, который можно представить в виде алгоритма, приведенного на рис. 1.

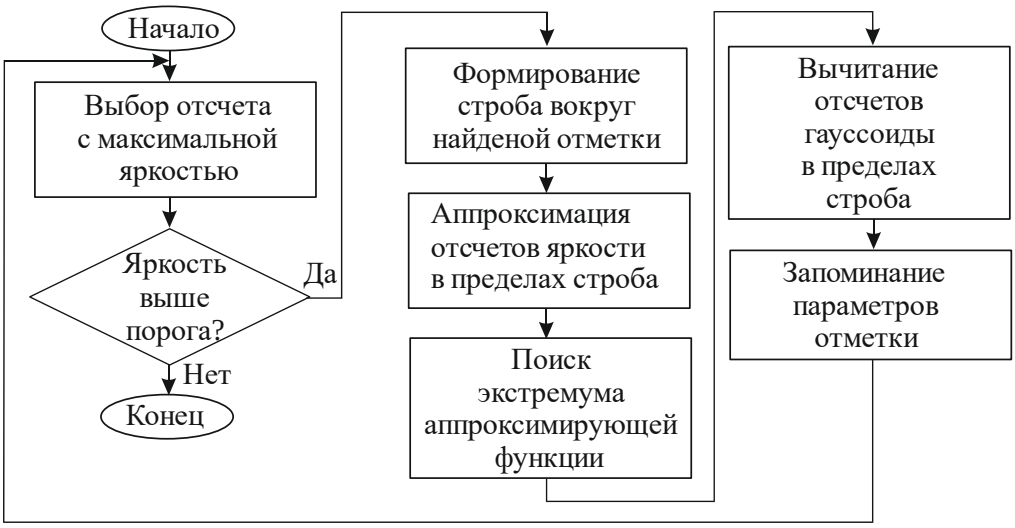



**Рис. 1.** Алгоритм разрешения точечных отметок в наноскопическом изображении

*Оценка параметров точечных отметок.* Важнейшими параметрами отметок, оцениваемыми при обработке наноскопических изображений, являются координаты пиков и их амплитуды. Наряду с ними также оценивается шумовое слагаемое и ширина пика. Начальные значения параметров при использовании численных методов на базе алгоритме Левенберга-Марквардта задаются на основе информации, полученной при решении задач оценки статистических характеристик фона, оценки параметров аппаратной функции, обнаружения и разрешения. Если расстояние от точечной отметки для которой выполняется оценка параметров до ближайшей отметки больше некоторого порога, то отметка считается изолированной и влиянием откликов других отметок при оценке ее параметров можно пренебречь. В этом случае для аппроксимации пика используется одиночная функция Гаусса. Если отметка не является изолированной, то аппроксимация выполняется для суммы системных функций всех отметок. На рис. 2 приведен результат обработки наноскопического изображения.

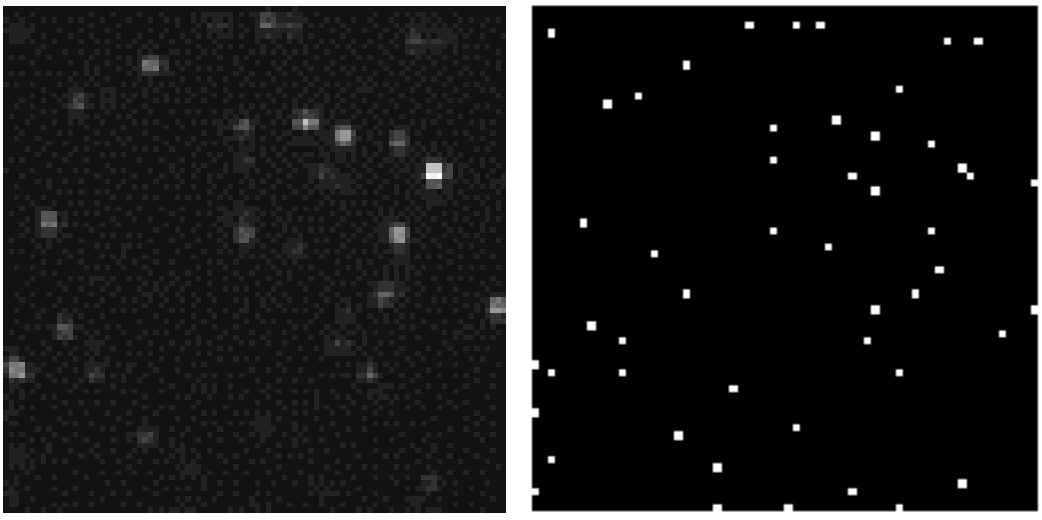


**Рис. 2.** Пример обработки наноскопического изображения: а) исходное изображение; б) результат выделения точечных отметок

*Обеспечение требуемого быстродействия системы обработки данных.* Как отмечалось ранее, обработку наноскопических изображений желательно выполнять в реальном или близком к нему масштабе времени. Поскольку темп поступления информации (до 100 кадров в секунду) и размерность изображений (до 1024*1024 при 16-битном квантовании) могут быть

очень высокими, то обеспечение режима реального времени требует использования специальных алгоритмических, аппаратных и программных средств для достижения указанной цели. Предложенные в работе подходы к обработке наноскопических изображений обладают значительным потенциалом с точки зрения построения эффективных в вычислительном плане алгоритмов, поскольку обладают свойствами, необходимыми для их глубокого распараллеливания с использованием различных аппаратных средств. На аппаратном уровне распараллеливание может быть реализовано путем использование многопоточности на процессорах общего назначения; за счет применения технологий, реализующих параллельные вычисления на графических сопроцессорах; за счет разработки специализированных аппаратных средств, например, на базе программируемых логических интегральных схем.

**3. Заключение.** В работе рассмотрены основные этапы обработки наноскопических изображений и предложены подходы к реализации соответствующих вычислительных процедур, базирующиеся на методах оптимальной обработки сигналов. Их использование гарантирует получение характеристик обработки изображений, близких к потенциально достижимым. Достоинством предложенных подходов является их относительно низкая трудоемкость, обеспечивающая возможность обработки данных в реальном масштабе времени, что было подтверждено экспериментально при тестировании разработанного программного обеспечения. Так на процессоре Intel® Core™ i5-2520M была достигнута скорость обработки данных до 22 кадров в секунду размерностью 128*128 пикселей. Это свидетельствует о значительном потенциале предложенных подходов даже в случае увеличения размерности обрабатываемых кадров и частоты их поступления.

**Список литературы**

[1] А.В. Наумов, *Успехи физических наук*, (2013).
[2] *Радиотехнические системы,* Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др.; под ред. Ю.М. Казаринова, Высш.шк., Москва, (1990).
[3] Tianwei Yu, Hesen Peng, *Bioinformatics,* (2010).
[4] Charles Soussen, Jérôme Idier, *Ieee transactions on signal processing,* (2011).
[5] Deborah Pereg, Doron Benzvi. *Blind Deconvolution via Maximum Kurtosis Adaptive Filtering*.
[6] Jun S. Liu, Rong Chen. *Journal of the American Statistical Association,* (1995).
[7] Yonina C. Eldar. *Robust deconvolution of noisy signals*.
[8] Е.М. Хилькевич, А.Е. Шевелев, И.Н. Чугунов, В.О. Найденов, Д.Б. Гин, Д.Н. Дойников, *Письма в ЖТФ,* (2013). [9] А. Е. Базулин, Е. Г. Базулин, *Акустический журнал,* (2009).
[10] А.В. Томилов, Б.А. Калинин, О.Е. Александров, В.Д. Селезнёв, *Аналитика и контроль*, (2008).
[11] Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт, *Практическая оптимизация*, Мир, Москва, (1985).
[12] K. Levenberg, *Quart. Appl. Math.,* (1944).
[13] Е. З. Демиденко, *Оптимизация и регрессия*, Наука, Москва, (1989).
[14] *Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов*. Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев, А.А.Роженцов и др. ФИЗМАТЛИТ, Москва, (2002).

# ФРАКТАЛЬНАЯ МНОГОСЛОЙНАЯ НАНОСИСТЕМА С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ

**В.С. Абрамов**

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

Теоретически и методом численного моделирования исследовано стохастическое поведение поля деформации связанной системы: фрактального слоя, наноловушки и квантовых точек во фрактальной многослойной наносистеме.. Показано, что уменьшение полуосей квантовой точки приводит к уменьшению амплитуды и появлению «наплыва» у основного пика, сужению области стохастического поведения. При увеличении полуосей образуется уширенный пик на фоне стохастического основания (форма сигнала типа гало).
**Ключевые слова:** квантовые точки, фрактальный слой, наноловушка, связанная система, численное моделирование, стохастическое поведение, фрактальная многослойная наносистема.

Theoretically and by method of numerical simulation the stochastic behavior of the deformation field of coupled system: fractal layer, nanotrap and quantum dots in the fractal multilayer nanosystem. It is shown that a decrease of semi-axes of the quantum dot leads to a decrease of the amplitude and the appearance of "influx" from the main peak and a narrowing of the range of stochastic behavior. With increasing the semi-axes a broadened peak is formed on the background of the stochastic base (signal in the form of halo type).
**Keywords:** quantum dots, fractal layer, nanotrap, coupled system, numerical simulation, stochastic behavior, fractal multilayer nanosystem.

**1. Введение.** Современные технологии в атомтронике позволяют создавать многослойные, фрактальные фотонные и фононные квантовые наносистемы, искусственные среды (метаматериалы) [1], конденсат Бозе-Эйнштейна (БЭК) [2 - 4] в ловушках. Такой конденсат сверхжидкости получен в [2] испарением газа атомов $^{23}$Na при лазерном охлаждении, сначала в магнитной, затем в кольцеобразной оптической дипольной ловушках. Элементарными возбуждениями в такой сверхжидкости могут быть вихри, антивихри, пары вихрь-антивихрь [2]. В [3] исследованы особенности БЭК квазичастиц типа поляритонов в ловушке (суперпозиция полупроводниковых экситонов с фотонами в микрополостях). В [4] анализируется кинетика БЭК магнонов после импульсного возбуждения в ферромагнетике при комнатной и низких температурах. Вблизи поверхности кристалла, тонкой пленки [5 - 7] поведение отдельных объектов (диполя, спина, квадруполя, атома, молекулы [8]) резко изменяется по сравнению с поведением этих объектов вдали от поверхности. Это связано с наличием ближней и дальней зоны электромагнитного поля, создаваемого как активными объектами, так и самой поверхностью [9, 10]. Так в [5 - 7] показано, что в результате взаимодействия фотонов с микрополостью образуются новые квазичастицы типа поляритонов. Для корректного описания таких возбуждений необходимо учитывать как влияние фотонов на микрополость, так и микрополости на фотоны. Другими словами, возникает необходимость исследования физических свойств таких связанных систем. Активные объекты в этих связанных системах могут приводить к переходным эффектам типа индукции, лавины, сверхнутации, эхо [11 - 15]. При этом возникают различные корреляционные связи между фотонами [16], активными объектами [17 - 19], которые приводят к новым эффектам группировки, антигруппировки бозонов и фермионов [9, 10, 16, 20].

Фрактальные многослойные наносистемы, активные фрактальные объекты и связанные фрактальные системы имеют отличительные особенности поведения физических свойств по сравнению с кристаллами, тонкими пленками. Это связано с шероховатостью, рыхлостью отдельных плоскостей в многослойной наносистеме, с фрактальной геометрией активных объектов (фрактальных квантовых точек, фрактальных дислокаций, фрактальных осцилляторов) и их взаимодействием как между собой, так и с отдельными плоскостями. Эффективная функция смещения узлов объемной решетки многослойной наносистемы становится комплексной.

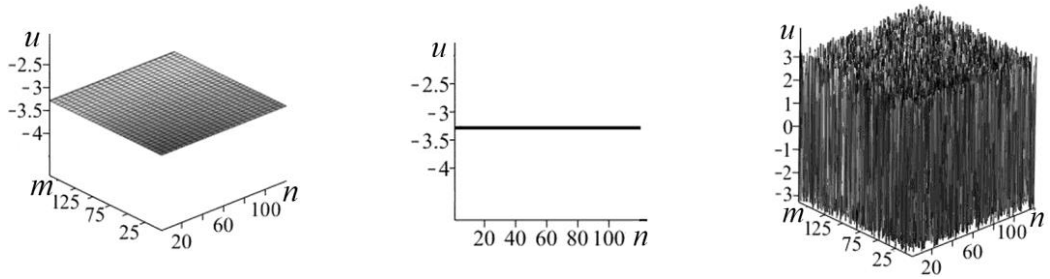
Поэтому для описания особенностей корреляционных связей вводятся корреляционные функции первого и второго порядка [13, 17, 18]. Изучение влияния различных стохастических полей на физические свойства отдельных объектов (квантовых точек [21], квазидвумерных структур) в ловушках [22 - 24] представляет собой одну из фундаментальных проблем. В [25] исследованы особенности поведения полей деформации и напряжения во фрактальной многослойной наносистеме с активным наноэлементом (ультрахолодные атомы $^{23}$Na в оптической ловушке). Показано, что некоторые физические свойства элементарных возбуждений типа пары вихрь-антивихрь связаны с влиянием на них Бозе-Эйнштейновского конденсата сверхтекучей жидкости (где элементарным возбуждением является бозон Хиггса [26]). Связанные системы на основе фрактальных структур рассматривались в [13, 19, 22, 23, 25].

Целью данной работы является исследование особенностей поведения поля деформации квантовых точек во фрактальной многослойной наносистеме.

**2. Связанная система: фрактальный слой – фрактальная квантовая точка.** Рассмотрим модельную многослойную наносистему в виде объемной дискретной решетки $N_1 \times N_2 \times N_3$, узлы которой задаются целыми числами $n, m, j$ ($n = \overline{1, N_1}$; $m = \overline{1, N_2}$; $j = \overline{1, N_3}$). Внутри этой наносистемы исследуем поведение поля деформации связанной системы: отдельный фрактальный слой – фрактальная квантовая точка. Нелинейное уравнение для функции смещения $u$ узла решетки слоя $j$ имеет вид [8]

$$u = u_1 + u_2; \quad u_i = (1 - a_i)(1 - 2sn^2(u_i - u_{0i}, k_i)) / Q_i; \quad i = 1,2;$$
$$Q_1 = p_{01}; \quad Q_2(n,m) = p_{02} - (n - n_{02})^2 / n_{c2}^2 - (m - m_{02})^2 / m_{c2}^2. \qquad (1)$$

Здесь $a_i$ – фрактальные размерности полей деформации $u_i$ вдоль оси $Oz$ ($a_i$ O[0,1]); $u_{0i}$ – критические смещения; $k_i$ – модули функции эллиптического синуса; постоянные $p_{0i}$ характеризуют различные состояния слоя $j$; $n_{02}$, $m_{02}$ – координаты центра и $n_{c2}$, $m_{c2}$ – полуоси квантовой точки; $u_1$ и $u_2$ – функции смещения узла решетки отдельного слоя $j$ и квантовой точки. В данной работе параметры $k_i(j)$, $p_{0i}(j)$, $n_{c2}(j)$ и $m_{c2}(j)$ зависят от индекса слоя $j$. Отдельный слой и квантовая точка, находящиеся в одном слое или в разных слоях, влияют друг на друга и на состояние всей многослойной наносистемы. Решение нелинейных уравнений (1) выполнялось методом итераций по переменной $m$ при значениях $N_1 = 120$; $N_2 = 162$; $a_i = 0.5$; $u_{0i} = 29.537$; $k_2 = 0.5$; $p_{02} = -3.457 \cdot 10^{-5}$; $n_{02} = 59.1471$; $m_{02} = 80.3267$. Поведение поля деформации для различных модулей $k_1$ отдельного слоя с $p_{01} = 0.1523$. дано на рис. 1.

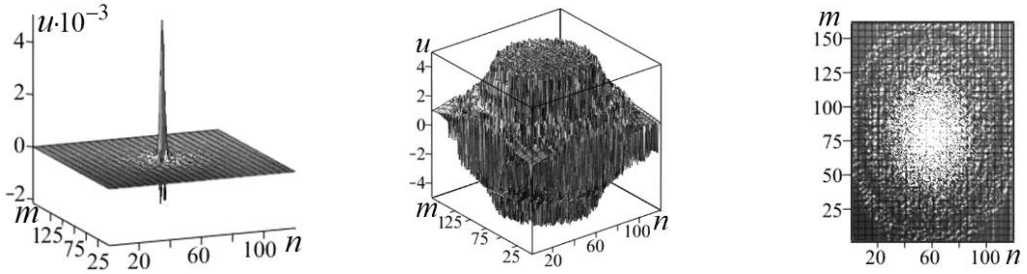



*а)* $k_1 = 1$ *б)* $k_1 = 1$ *в)* $k_1 = 0.5$

**Рис. 1.** Поведение $u = u_1$ от $n, m$ для различных $k_1$ (*а, в*); проекция на $nOu$ (*б*).

При $k_1 = 1$ из (1) имеем $u_1 = (1 - a_1)(1 - 2th^2(u_1 - u_{01})) / p_{01}$. Решением этого уравнения является отдельная плоскость с отрицательным значением $u_1 = -u_{11} = -3.2829$ (рис. 1 *а, б*). Изменения $k_1$ приводят к образованию стохастического слоя (рис. 1 *в*) вместо отдельной

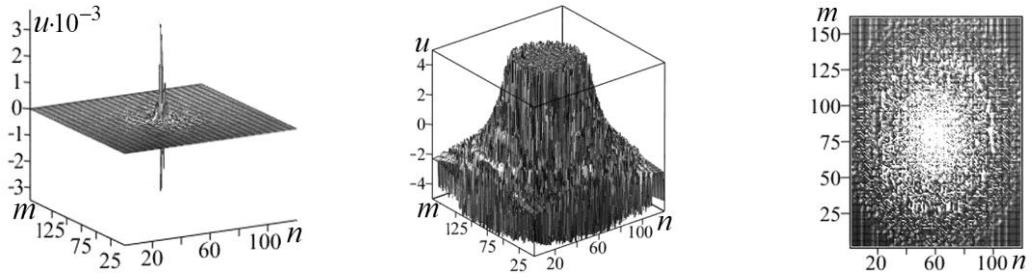
плоскости (рис. 1 *а, б*). Для значений $k_1 \in [k_{1C}, 1)$ ($k_{1C}$ – критическое значение близкое к единице) выполняется условие $\mathrm{sn}^2(u_1 - u_{01}, k_{1C}) < 0.5$. Поэтому весь стохастический слой находится вблизи нижней граничной плоскости $u_1 = -u_{11}$. Для значений $k_1 \in [0, k_{1C}]$ смещения узлов решетки изменяются в интервале $(-u_{11}, u_{11})$. Изменение знака у параметра $p_{01} = -0.1523$ приводит к появлению при $k_1 = 1$ отдельной плоскости с положительным значением $u_{11} = 3.2829$. Теперь для $k_1 \in [k_{1C}, 1)$ весь стохастический слой находится вблизи верхней граничной плоскости $u_1 = u_{11}$. На основе (1) получено решение для квантовой точки (рис. 2) с полуосями $n_{c2} = 119.5172$, $m_{c2} = 161.718$. Наблюдаются острые пики с большими амплитудами (аналог Бозе-Эйнштейновского конденсата) в области их локализации (рис. 2 *а*), стохастическое поведение с малыми амплитудами вблизи ядра локализации пиков (рис. 2 *б*), эллиптическое кольцо (рис. 2 *в*) с малыми амплитудами смещений (в $2 \div 10^3$ раз меньшими) по сравнению с пиками рис. 2 *а*. В сечении (рис. 2 *б, в*) внутри кольца формируется дыра с фрактальной структурой. Полуоси кольца $n_{ck} \approx 55$, $m_{ck} \approx 75$, центр кольца имеет такие же значения $n_{02}$, $m_{02}$, что и у квантовой точки.




*а)* *б)* *в)*

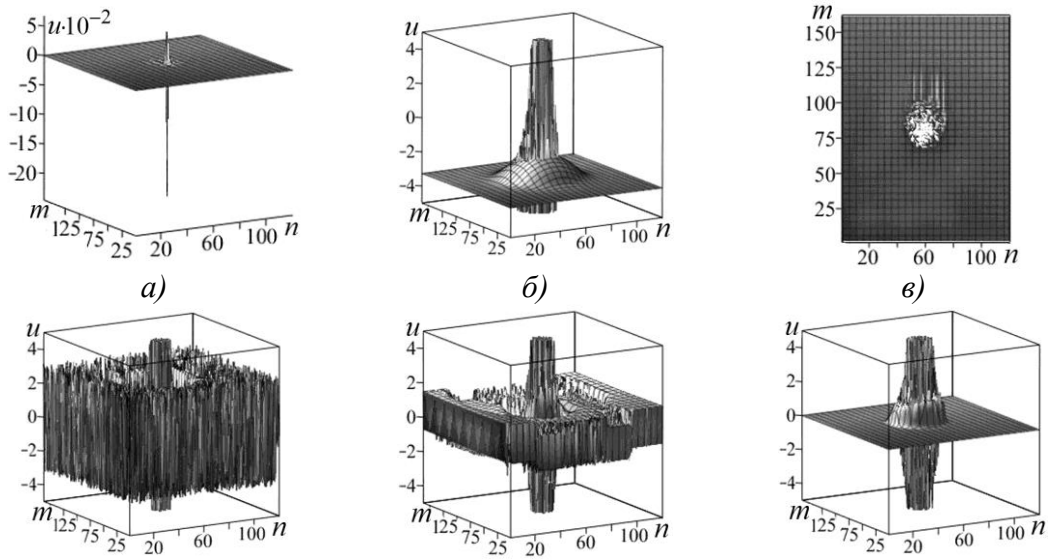
**Рис. 2.** Поведение $u = u_2$ от $n, m$ (*а*); сечение $u_2 \in [-5; 5]$ (*б*); вид сверху (*в*).

Результаты влияния отдельного слоя и квантовой точки друг на друга даны на рис. 3 - 5. Поведение поля деформации **связанной системы I** (отдельной плоскости с параметрами из рис. 1 *а, б* и квантовой точки с параметрами из рис. 2) дано на рис. 3. Стохастическое поведение поля деформации этой связанной системы определяется в основном стохастическим поведением квантовой точки. При этом наблюдаются сдвиги (вниз) регулярного поведения поля деформации за счет влияния отдельной плоскости. Поведение поля деформации **связанной системы II** (отдельная плоскость с параметрами из рис. 1 *а, б* и квантовая точка с уменьшенными в 4 раза полуосями $n_{c2} = 29.8793$, $m_{c2} = 40.4295$ по сравнению с рис. 2) дано на рис. 4 *а, б, в*. При этом наблюдаются уменьшение амплитуд основного пика (рис. 4 *а*) по сравнению с рис. 3 *а*; сужение области стохастического поведения (рис. 4 *б, в*) по сравнению с рис. 3 *б, в*; появление «наплыва» (практически регулярной выпуклой области) вблизи основного пика (рис. 4 *б*). Поведение поля деформации **связанной системы III** (стохастический слой с $k_1 = 0.5$, различными $p_{01}$ и квантовая точка с полуосями $n_{c2} = 29.8793$, $m_{c2} = 40.4295$) дано на рис. 4 *г, д, е*. Увеличение параметра $p_{01}$ у стохастического слоя приводит к уменьшению амплитуд поля деформации вне области локализации квантовой точки в **связанной системе III**. Поведение поля деформации **связанной системы IV** (стохастический слой с $k_1 = 0.5$, $p_{01} = 0.1523$ и квантовая точка с увеличенными полуосями по сравнению с рис. 2) дано на рис. 5. Увеличение полуосей у квантовой точки приводит к расширению зоны влияния стохастического поведения квантовой точки на весь слой (рис. 5 *а, б, в*); появлению уширенного пика на фоне стохастического основания с большими амплитудами (форма сигнала типа гало).




*а)* *б)* *в)*

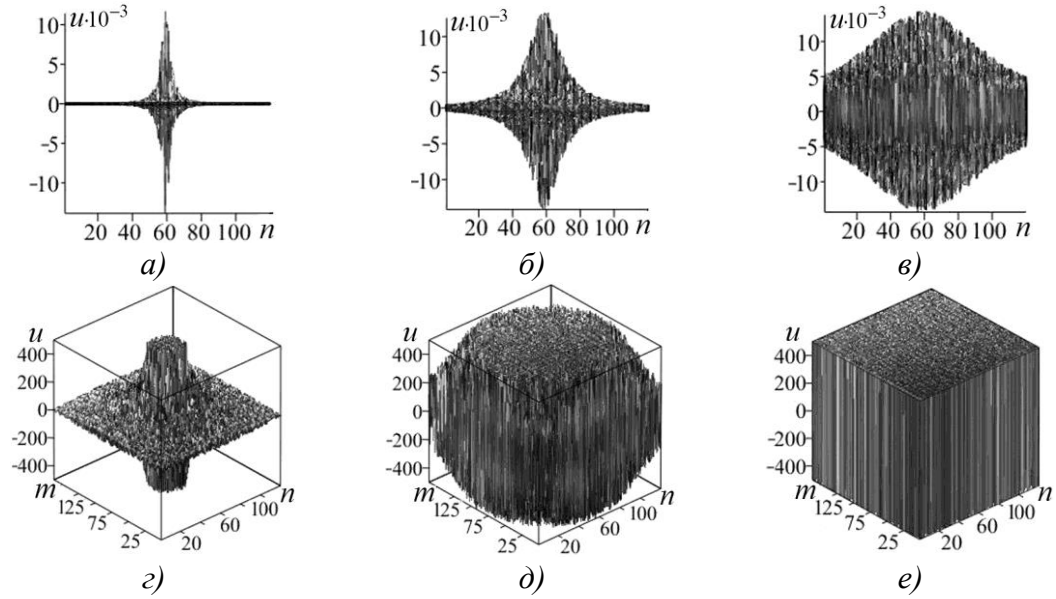
**Рис. 3.** Поведение $u$ системы I от $n, m$ при $k_1 = 1$, $k_2 = 0.5$ (*а*); $u$ O[- 5;5] (*б*); вид сверху (*в*).




*а)* *б)* *в)*

*г)* $p_{01} = 0.1523$ *д)* $p_{01} = 0.3169$ *е)* $p_{01} = 1.0171$

**Рис. 4.** Поведение $u$ связанных систем от $n, m$ : II – $k_1 = 1$, $p_{01} = 0.1523$ (*а, б, в*), $u$ O[- 5;5] (*б*), вид сверху (*в*); III – $k_1 = 0.5$, $u$ O[- 5;5] для различных $p_{01}$ (*г, д, е*).




*а)* *б)* *в)*

*г)* *д)* *е)*

**Рис. 5.** Поведение $u$ (*а, б, в*) и сечений $u$ O[- 500;500] (*г, д, е*) системы IV от $n, m$ для различных полуосей: $n_{c2}, m_{c2}$ увеличены в 4 (*а, г*), 16 (*б, д*), 64 (*в, е*) раза по сравнению с рис. 2.

**3. Квантовые точки во фрактальной ловушке.** Нелинейное уравнение для безразмерной

функции смещения $u$ узла решетки связанной системы (фрактальная ловушка – две квантовые точки) задается в виде [23]

$$u = R_1(1- a_i)(1- 2sn(u- u_{0i},k_i))/Q_3 + R_2(1- \ _i)(1- 2sn^2(u- u_{0i},k_i))/Q_4 + \\ + R_3(1- a_i)(1- 2sn^2(u- u_{0i},k_i))/Q_5; \quad (2)$$

$$Q_i = p_{0i} - b_{1i}(n- n_{0i})^2/n_{ci}^2 - b_{2i}(m- m_{0i})^2/m_{ci}^2 - b_{3i}(j- j_{0i})^2/j_{ci}^2; \quad (3)$$

$$p_{0i} = p_{00i} + p_{1i}n + p_{2i}m + p_{3i}j \ ; \ i=3,4; \quad (4)$$

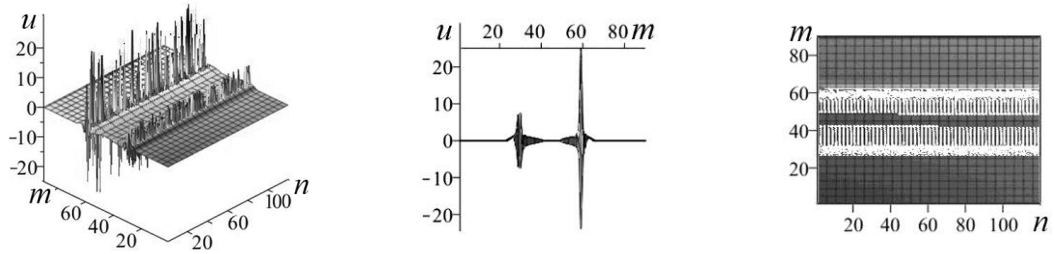
$$Q_5 = p_{05} - b_{15}(n- n_{05})^2/n_{c5}^2 - b_{25}(m- m_{05})^2/m_{c5}^2 - b_{35}(j- j_{05})^2/j_{c5}^2; \quad (5)$$

$$p_{05} = p_{005} + p_{15}n + p_{25}m + p_{35}j \ ; \quad n = N_1 - n + 1. \quad (6)$$

В выражении (2) для смещения $u$ первое слагаемое характеризует наноловушку (НЛ), а второе и третье – фрактальную объемную структуру (ФОС) в виде двух фрактальных квантовых точек ФКТ1 и ФКТ2. Параметры $R_i$, $p_{00i}$, $p_{1i}$, $p_{2i}$, $p_{3i}$, $b_{1i}$, $b_{2i}$, $b_{3i}$, $n_{0i}$, $n_{ci}$, $m_{0i}$, $m_{ci}$, $j_{0i}$, $j_{ci}$ характеризуют НЛ и различные ФОС. В качестве наноловушки (НЛ) выбрана расщепленная дислокация (РД) – фрактальная структура с параметрами $p_{03} = 1.0123$; $b_{13} = 0$; $b_{23} = 1$; $b_{33} = 0$; $p_{13} = p_{23} = p_{33} = 0$, $n_{03} = 89.1471$; $n_{c3} = 19.4793$; $m_{03} = 44.3267$; $m_{c3} = 14.7295$ (рис. 6). При этом параметры $R_1 = 1$; $R_2 = R_3 = 0$. Решение нелинейного уравнения (2) выполнено методом итераций по переменной $n$ при следующих фиксированных значениях: $N_1 = 120$; $N_2 = 90$; $a_i = 0.5$; $u_{0i} = 29.537$; $k_i = 0.5$.

Для каждой из двух ветвей расщепленной дислокации характерно стохастическое поведение смещения $u$ вдоль осей дислокации (рис. 6 *а*). Координаты ядер дислокации на оси $Om$ определяются по формулам

$$m = m_1 = m_{01} - m_0; \quad m = m_2 = m_{01} + m_0; \quad m_0 = (m_{c1}^2 \ln p_{001})^{1/2}. \quad (7)$$




*а)* *б)* *в)*

**Рис. 6.** Наноловушка: (*а*) – зависимость $u$ от решеточных индексов $n, m$; (*б*) – проекция $u$ на плоскость $mOu$; (*в*) – сечение $u$ O[- 0.001;1] (вид сверху).

Расчетные значения $m_1 = 29.507$, $m_2 = 59.147$ по формулам (7) согласуются с положениями пиков из рис. 6 *б*. Внутри области расщепленной дислокации для $m$ O$(m_1, m_2)$ наблюдаются зоны с тонкой квазипериодической (вдоль оси $On$) структурой и зона с практически постоянным отрицательным смещением $u \approx -0.001$ (рис. 6 *в*). Практически регулярное изменение положительного смещения наблюдается вне указанной области дислокации $m$ O$(m_1, m_2)$ со значением $u \approx 0.003$ при граничных значениях $m = 1$ и $m = 90$.

Отдельные узлы расщепленной дислокации можно рассматривать как отдельные квантовые точки с областью локализации вблизи узла объемной решетки. Таким образом, расщепленная дислокация представляет собой совокупность отдельных квантовых точек с малыми радиусами ядер локализации. Возможность получения таких квантовых точек подтверждается экспериментально методикой формирования контурных оптических ловушек с

помощью четырехканального жидкокристаллического фокусатора [24].

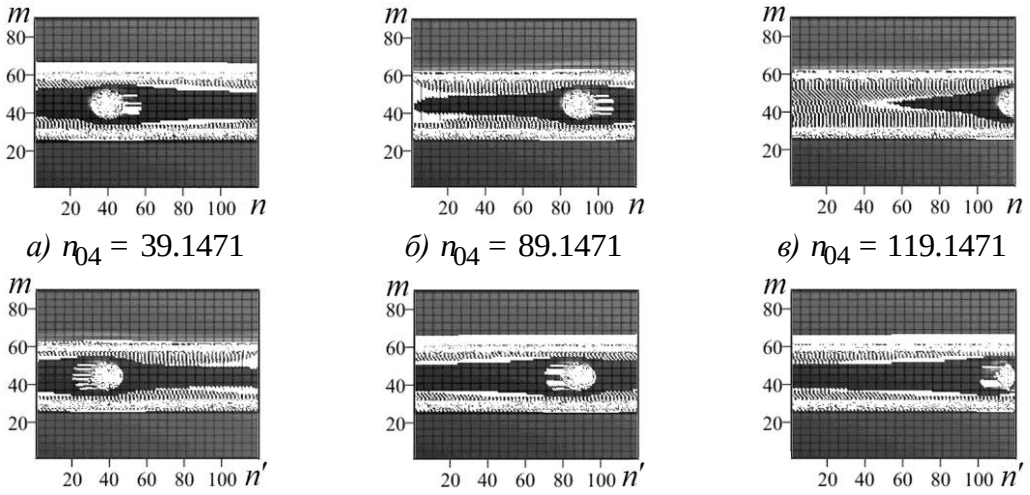
Далее рассмотрим связанные системы НЛ-ФОС, для которых наноловушка выбрана в виде РД с параметрами (рис. 6), а ФОС представляют собой квантовые точки с большими радиусами ядер локализации по сравнению с радиусами отдельных ядер объемной решетки в многослойной наносистеме. Квантовые точки находятся внутри наноловушки.

**Связанная система V**: РД-ФКТ1. ФКТ1 (i=4) описывается параметрами: $p_{0i} = -3.457 \cdot 10^{-11}$; $b_{1i} = b_{2i} = 1$; $b_{3i} = 0$; $p_{1i} = p_{2i} = p_{3i} = 0$; $n_{ci} = 19.4793$; $m_{0i} = 44.3267$; $m_{ci} = 14.7295$. При этом $R_1 = R_2 = 1$; $R_3 = 0$. Детальное поведение функции смещения $u$ для **связанной системы V** приведено на рис. 7.

При изменении параметра $n_{04}$ наблюдаются перемещения фрактальной структуры ФКТ1 (рис. 7 *а, б, в*) внутри ловушки вдоль оси $n$. Для многослойной наносистемы эти перемещения можно учесть изменением параметра $n_{04}(j)$ от слоя к слою по формуле

$$n_{04}(j) = n_{04} + a_{04}(j - j_{04}) / j_{c4}, \qquad (8)$$

где параметры $j_{04} = 31.5279$; $j_{c4} = 11.8247$; $n_{04} = 165.5064$; $a_{04} = 591.0165$. Согласно (8) значение $n_{04} = 39.1471$ соответствует слою с $j = 29$, $n_{04} = 89.1471$ – слою с $j = 30$, а $n_{04} = 119.1471$ – положению фрактальной структуры между слоями с $j = 30$ и $j = 31$. При этом наблюдаются существенные изменения структуры как внутри ловушки, так и самой ловушки. Если функции $Q_i = Q_i(n', m)$ из (2) зависят от $n'$, где $n' = N_1 - n + 1$, то процесс итераций по переменной $n'$ выполняется в обратном порядке.




*а)* $n_{04} = 39.1471$ *б)* $n_{04} = 89.1471$ *в)* $n_{04} = 119.1471$

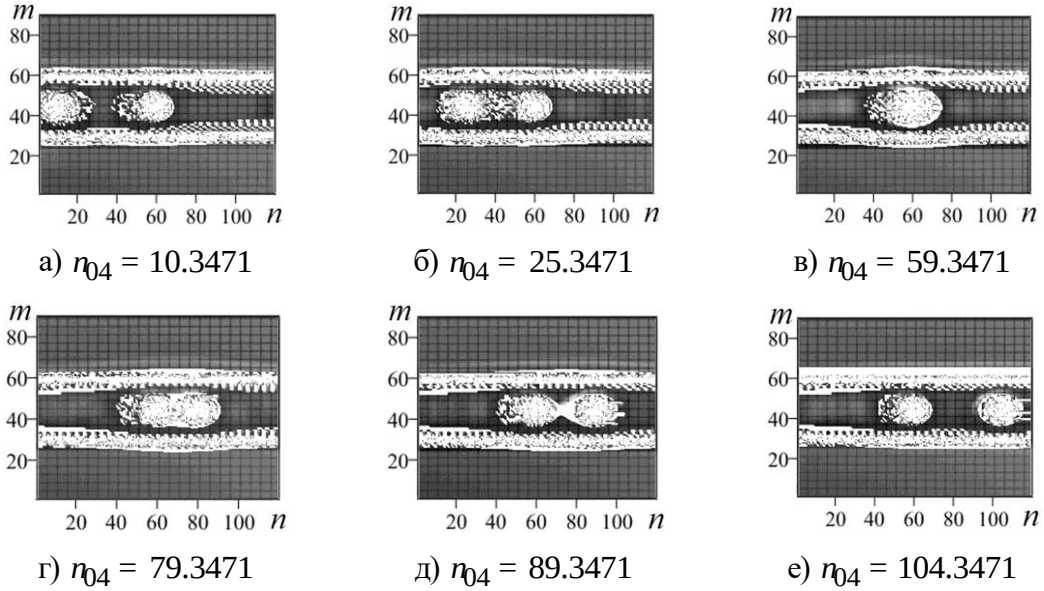
*г)* $n_{04} = 39.1471$ *д)* $n_{04} = 89.1471$ *е)* $n_{04} = 119.1471$

**Рис. 7.** Сечение функции $u \in [-0.001; 1]$ (вид сверху). Прямой (*а - в*) и обратный (*г - е*) итерационный процессы для связанной системы V.

При этом поведение поля деформации ФКТ1 в ловушке (рис. 7 *г*) существенно изменяется по сравнению с (рис. 7 *а*). «Хвосты» у квантовой точки переходят из положения справа относительно центра квантовой точки (рис. 7 *а*) в положение слева (рис. 7 *г*). Также происходит изменение структуры РД. Изменение параметра $n_{04}$ приводит к эффекту смещения ФКТ1 в ловушке (рис. 7 *г, д, е*). Такое изменение параметра в отличие от (8) может быть связано с временной зависимостью типа $n_{04}(t) = n_{04} + g_{04}(t - t_{04}) / t_{c4}$ в отдельном слое.

**Связанная система VI**: РД-ФКТ1-ФКТ2. ФКТ2 (i=5) описывается теми же парамет-

рами, что и ФКТ1. При этом $R_1 = R_2 = R_3 = 1$. Однако, параметр $n_{04}$ является переменным для ФКТ1, а для ФКТ2 параметр $n_{05} = 60.6529$ является постоянным. Фрактальная квантовая точка ФКТ2 является неподвижной, а ФКТ1 перемещается внутри наноловушки за счет изменения параметра $n_{04}$ (рис. 8).




а) $n_{04} = 10.3471$ б) $n_{04} = 25.3471$ в) $n_{04} = 59.3471$

г) $n_{04} = 79.3471$ д) $n_{04} = 89.3471$ е) $n_{04} = 104.3471$

**Рис. 8.** Связанная система VI. Перемещение первой квантовой точки. Сечение функции $u \, O[-0.001;1]$ (вид сверху).

Анализ этих результатов показывает, что прямой (для ФКТ1) и обратный (для ФКТ2) итерационные процессы для двух квантовых точек в наноловушке влияют друг на друга. Когда ФКТ1 находится на значительном расстоянии от ФКТ2 (рис. 8 *а, д*) взаимовлияние практически отсутствует. При сближении квантовых точек их «хвосты» перекрываются, и наблюдается ярко выраженное стохастическое поведение между ними (рис. 8 *б, г*). Когда параметр $n_{04}$ находится в окрестности $n_{05}$ ядра квантовых точек перекрываются, а амплитуды смещений $u$ резко возрастают (рис. 8 *в*). Когда $n_{04}$ становится больше чем $n_{05}$, область перекрытия ядер квантовых точек уменьшается и, между ними образуется сужение (рис. 8 *д*). При изменении параметра $n_{04}$ в связанной системе с двумя квантовыми точками также наблюдается отличие структуры самой РД по сравнению с рис. 7, где рассматривается вариант связанной системы с одной квантовой точкой.

**4. Заключение**

В многослойной наносистеме смещения узлов решетки слоя при модуле $k_1 = 1$ представляют собой отдельную плоскость, а при $k_1$ №1 образуют стохастический слой. Ширину и область локализации стохастического слоя можно контролировать изменениями модуля $k_1$, параметра $p_{01}$. Для квантовой точки при модуле $k_2$ №1 характерно наличие острых пиков с большой амплитудой (аналог Бозе-Эйнштейновского конденсата) и стохастического поведения вблизи ядра локализации основных пиков. Дополнительно для квантовой точки наблюдается эллиптическое кольцо с малыми амплитудами смещений по сравнению с пиками. В сечении внутри кольца формируется дыра с фрактальной структурой.

В связанной системе отдельный слой и квантовая точка влияют друг на друга. Это объясняется влиянием стохастических процессов друг на друга в результате решения нелинейных уравнений методом итераций для связанных систем. Наблюдаются эффекты смещения

фрактальных структур внутри ловушки при изменении параметра фрактальной структуры $n_{04}$ от слоя к слою или в отдельном слое во времени. При этом существенно изменяется тонкая квазипериодическая структура внутри ловушки, дополнительно появляется тонкая структура вне ловушки.

Прямой и обратный итерационные процессы для двух квантовых точек в наноловушке также влияют друг на друга. При сближении квантовых точек их «хвосты» перекрываются, и наблюдается ярко выраженное стохастическое поведение между ними. Когда ядра квантовых точек перекрываются, то амплитуды смещений $u$ резко возрастают.

Результаты работы докладывались на XI Международной научной школе-семинаре «Фундаментальные исследования и инновации: Нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия» (Йошкар-Ола, 5-9 июля 2016 г.).

**Список литературы**

[1] *Нелинейности в периодических структурах и метаматериалах*, Физматлит, М. (2014).
[2] S. Eckel, J.G. Lee, F. Jendrzejewski et al, *Nature*, **506**, 7487 (2014) 200.
[3] G. Tosi, G. Christmann, N.G. Berloff et al, *Nature physics*, **8**, 3 (2012) 190.
[4] S.N. Andrianov, V.V. Bochkarev, S. Moiseev, *Eur. Phys. J. B*, **87** (2014) 128.
[5] I.A. Dorofeyev, E.A. Vinogradov, *International Review of Physics*, **6**, 2 (2012) 202.
[6] Е.А. Виноградов, *УФН*, **172,** 12 (2002) 1371.
[7] E.A. Vinogradov, *Laser Physics*, **6,** 2 (1996) 326.
[8] А.В. Наумов, *УФН*, **183,** 6 (2013) 633.
[9] Л. Мандель, Э. Вольф, *Оптическая когерентность и квантовая оптика*, Физматлит, М. (2000).
[10] Л. Новотный, Б. Хехт, *Основы нанооптики*, Физматлит, М. (2009).
[11] И.В. Евсеев, Н.Н. Рубцова, В.В. Самарцев, *Когерентные переходные процессы в оптике*, Физматлит, М. (2009).
[12] В.С. Абрамов, *Материалы X международного симпозиума по фотонному эхо и когерентной спектроскопи (ФЭКС'2013): Йошкар-Ола, 30 июня-6 июля 2013 г.*, Йошкар-Ола: ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет» (2013) 78.
[13] V.S. Abramov, *Chaotic Modeling and Simulation Journal*, 1 (2015) 3.
[14] В.С. Абрамов, *Вестник Донецкого университета*. *Сер. A*, **Вып. 1** (2014) 116.
[15] А.А. Калачев, В.В. Самарцев, *Когерентные явления в оптике*, Казань: Каз.ГУ (2003).
[16] В.В. Самарцев, *Коррелированные фотоны и их применение.* Физматлит, М. (2013).
[17] V.S. Abramov, *Chaotic Modeling and Simulation Journal*, 3 (2013) 357.
[18] V.S. Abramov, *Applied Non-Linear Dynamical Systems / Ed. Jan Awrejcewicz*, Springer Proc. *Mathematics & Statistics*, **93** (2014) 337.
[19] В.С. Абрамов, *Вестник Донецкого университета*. *Сер. A*, **Вып. 2** (2014) 81.
[20] J. Dubois, T. Jullien, F. Portier et al, *Nature*, **502,** 7473 (2013) 659.
[21] I.I. Popov, N.S. Vashurin, S.E. Putilin et al, *Physics of Wave Phenomena*, **23**, 2 (2015) 1.
[22] O.P. Abramova, S.V. Abramov, *Nonlinear Dynamics and Systems Theory*, **15**, 1 (2015) 4.
[23] О.П. Абрамова, *Вестник ДонНУ. Сер. А: Естественные науки,* 2 (2016) 55.
[24] А.В. Коробцов, С.П. Котова, Н.Н. Лосевский и др., *Квантовая электроника*, **44,** 12 (2014) 1157.
[25] В.С. Абрамов, Известия РАН. Сер. Физ., **80**, 7 (2016) 938.
[26] P.W. Higgs, *Physical Review Letters*, **13** (1964) 508.

# ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ ЕВРОПИЕВЫХ БОРАТОВ $EUM_3(BO_3)_4$, ГДЕ $M$ = AL, CR, FE, GA, СО СТРУКТУРНЫМ ТИПОМ МИНЕРАЛА ХАНТИТА

**Е. А. Добрецова[1], К. Н. Болдырев[1], В. А. Чернышев[2], В. П. Петров[2], В. В. Мальцев[3], Н. И. Леонюк[3]**

*[1]Институт спектроскопии РАН*
*142190, Москва, Троицк, ул. Физическая, 5*
*[2]Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина*
*620002, Свердловская обл., Екатеринбург, ул. Мира, 19*
*[3]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*
*119991, Москва, ул. Ленинские Горы, 1*
E-mail: elenadobretsova89@gmail.com

Huntite-like $EuM_3(BO_3)_4$ crystals ($M$ – Al, Cr, Fe или Ga) were obtained as a result of spontaneous crystallization. Crystal structures were identified by the method of infrared spectroscopy. The data of *ab initio* DFT calculations for the $R32$ phase are in good agreement with the experimental ones, which, in turn, confirms the assumption of predominantly non-centrosymmetric rhombohedral structure of europium borates. This indicates a potential of owning magnetoelectric and nonlinear optical properties.

**1. Введение.** Редкоземельные (РЗ) бораты с общей формулой $RM_3(BO_3)_4$ ($R$ = РЗ элементы или иттрий, $M$ = Al, Ga, Fe или Cr) кристаллизуются в ряде пространственных групп (пр.гр.) со структурным типом минерала хантита $CaMg_3(CO_3)_4$ [1]. Эти соединения интересны своими оптическими, магнитными и магнитоэлектрическими свойствами [2, 3]. РЗ алюминиевые бораты обладают замечательными люминесцентными, нелинейно-оптическими, тепловыми и механическими свойствами, являются химически устойчивы и широко используются в лазерах с самоудвоением и самосмешением частот. EuAl- и EuGa-бораты могут иметь практическое применение в твердотельных лазерах, оптической связи, плазменной панели и светодиодах благодаря своей термической и химической стабильности. Ион $Eu^{3+}$ может использоваться как эффективный центр люминесценции в устройствах отображения информации. Бораты с магнитными катионами $Fe^{3+}$ и $Cr^{3+}$ демонстрируют интересное магнитное поведение, связанное с квази-одномерной структурой магнитного момента $M^{3+}$ и с взаимодействием двух магнитных подсистем: $R^{3+}$ и $M^{3+}$. РЗ железистые, алюминиевые и галлиевые бораты обладают потрясающими магнитоэлектрическими свойствами. Материалы с высоким магнитоэлектрическим эффектом имеют потенциальное применение в качестве магнитоэлектрических сенсоров, магнитоэлектрических и электромагнитных элементов памяти и др.

РЗ бораты имеют политипную природу и кристаллизуются в ряде модификаций. Структура зависит от условий роста и типов катионов, входящих в соединение. Более того, сосуществование различно упорядоченных фрагментов в одном монокристалле является характерной особенностью РЗ боратов. Важно отметить, что нелинейно-оптические и магнитоэлектрические свойства характерны только для нецентросимметричных структур. Ранее [4-6] была обнаружена связь магнитоэлектрического эффекта с динамикой решетки, что объясняется электрон-фононными и спин-фононными взаимодействиями. В [7] были проведены исследования величины магнитоэлектрического эффекта в зависимости от типа редкоземельного иона в соединениях с одним $M$-катионом – $Fe^{3+}$. В настоящей работе будут представлены результаты исследования фононной структуры в боратах с разными $M$-ионами (Al, Cr, Fe, Ga), но с одним редкоземельным ионом - Eu. Ион Eu выбран нами в связи с тем, что он имеет наиболее простую электронную структуру среди редкоземельных ионов и является традиционно модельным ионом. Итак, задача настоящей работы – исследование зависимости фононной структуры Eu-боратов от типа $M$-катиона методом ИК спектроскопии.

Как было указано выше, РЗ бораты имеют структурный тип минерала хантита $CaMg_3(CO_3)_4$, кристаллизующегося в пр.гр. *R*32 [8]. В структуре можно выделить три типа координационных полиэдров, а именно: искаженные тригональные призмы $CaO_6$, октаэдры $MgO_6$ и два типа плоских треугольников $CO_3$ [9]. Октаэдры $MgO_6$ связаны по вершинам, образуя цепочки, закрученные вдоль оси *c*. Тригональные призмы $CaO_6$ изолированы друг от друга. В РЗ двойных боратах атомы Ca замещены РЗ элементами, а на месте атомов Mg находятся *M* катионы, которые образуют квазиодномерную магнитную систему в случае ионов $Fe^{3+}$ и $Cr^{3+}$ [10]. Группы $CO_3^{2-}$ замещены треугольниками $BO_3^{3-}$(рисунок 1).

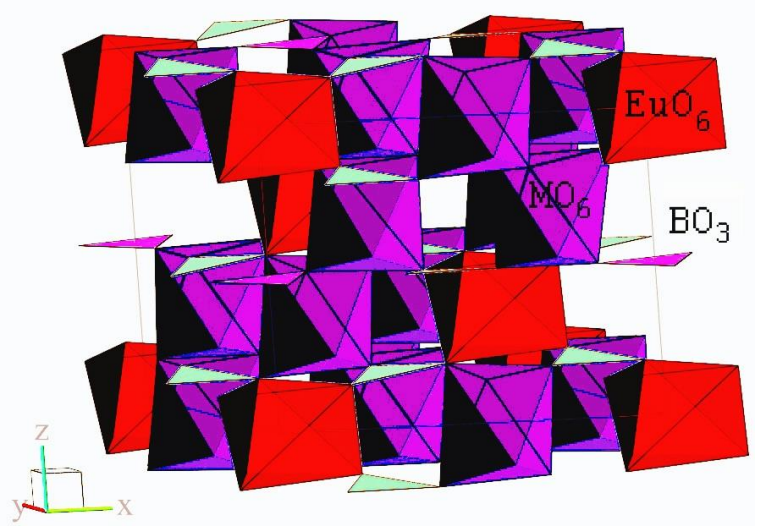



**Рис. 1.** Кристаллическая структура $EuM_3(BO_3)_4$ с пр.гр. *R*32

## 2. Экспериментальные и расчетные данные

Кристаллы $EuM_3(BO_3)_4$ были получены методом спонтанной кристаллизации из раствора в расплаве. В качестве растворителя использовался тримолибдат калия для EuCr-бората, а также более сложные системы: $K_2Mo_3O_{10}$ - $B_2O_3$ и $K_2Mo_3O_{10}$-$R_2O_3$ -$B_2O_3$ для EuAl- и EuGa-боратов и $Bi_2Mo_3O_{12}$–$Li_2MoO_4$–$B_2O_3$ для EuFe-бората.

Спектры поглощения порошковых образцов $EuM_3(BO_3)_4$ в далекой инфракрасной области (ДИК) 50–550 $см^{-1}$ были зарегистрированы на фурье-спектрометре Bruker IFS 125HR со спектральным разрешением 2 $см^{-1}$ в полиэтиленовых таблетках. Инфракрасные спектры поглощения в средней ИК области 550-1600 $см^{-1}$ были зарегистрированы на том же спектрометре с использованием техники нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) при помощи алмазной приставки. Спектральное разрешение при этом также составило 2 $см^{-1}$. Для понимания особенностей структуры боратов $EuM_3(BO_3)_4$ мы использовали методы колебательной спектроскопии в комплексе с теоретико-групповым анализом [11].

*Ab initio* расчеты частот фононов и интенсивностей ИК-активных мод в $EuM_3(BO_3)_4$ были проведены для структур *R32* в рамках теории функционала плотности (DFT) с гибридным функционалом B3LYP. Расчеты проводились в рамках MO LCAO подхода, реализованного в программе CRYSTAL14. Нерелятивистский псевдопотенциал был использован для описания внутренних оболочек редкоземельного иона. Подробности расчетов можно найти в работе [12].

На рисунке 2 представлены ИК спектры $EuM_3(BO_3)_4$ в области 50-1600 $см^{-1}$, характерные для РЗ боратов с пр.гр. *R*32. Большинство наблюдаемых мод находят свои аналоги в расчетных энергетических спектрах для $EuM_3(BO_3)_4$ с данной структурой. Не представляется возможным извлечь силы осцилляторов из экспериментальных спектров порошковых образцов. Но мы должны отметить, что, в общем, большие расчетные силы осцилляторов соответствуют сильным линиям в измеренных спектрах, в то время как слабые расчетные силы осцилляторов соответствуют слабым линиям или отсутствию линий в экспериментальных спектрах. Как видно на рисунке 2 моды, соответствующие трансляционным колебаниям $Eu^{3+}$ и $M^{3+}$ и внешним колебаниям $BO_3^{3-}$ групп, смещаются в низкочастотную область по мере увеличения ионного радиуса *M*-катиона в ряду Al (0.52 Å) → Cr (0.61 Å) → Ga (0.63 Å) → Fe (0.64 Å). В то же время сложно говорить об однозначном влиянии ионного радиуса *M* катио-

на на внутренние колебания $BO_3^{3-}$ групп (рис. 2). Смещение полос колебаний к меньшим частотам в ряду Al→Fe наблюдается для внутренних валентных колебаний $BO_3^{3-}$.

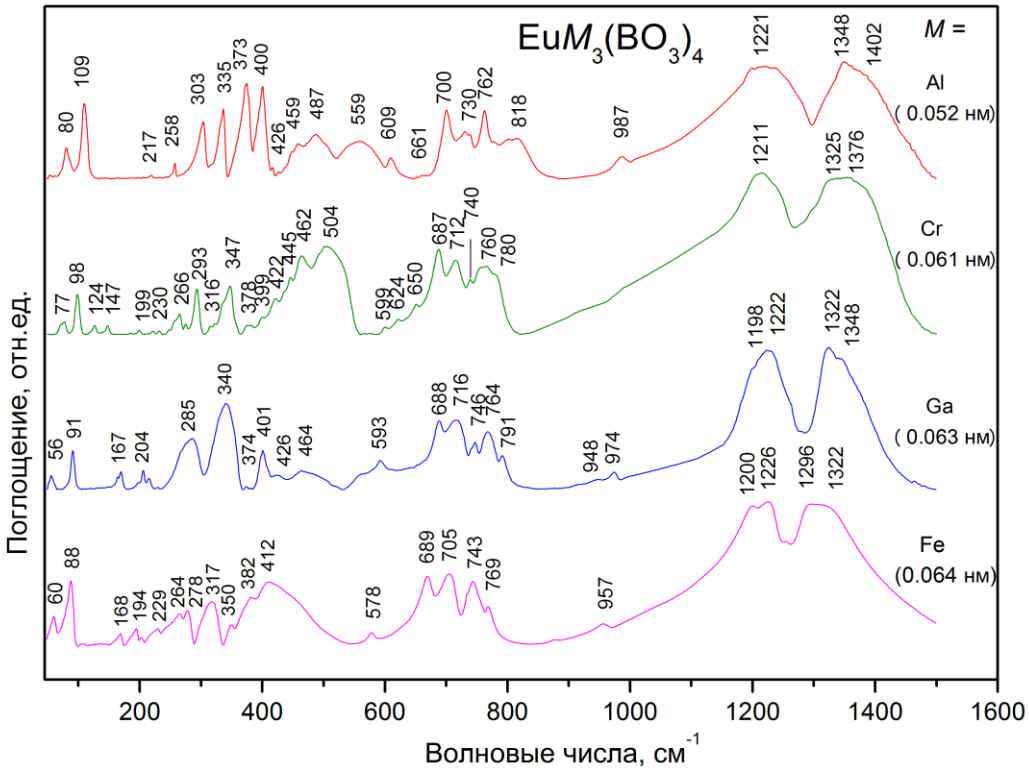



**Рис. 2.** Экспериментальные ИК спектры европиевых боратов $EuM_3(BO_3)_4$, где $M$= Al, Cr, Ga, Fe. В скобках указаны величины ионных радиусов в нанометрах.

Несмотря на то, что $EuM_3(BO_3)_4$ кристаллизуются преимущественно в ромбоэдрической структуре, некоторые особенности в ИК спектрах этих боратов указывают на присутствие фрагментов дополнительных политипных фаз. В ДИК области признаками включений второй фазы могут служить: (1) полоса 70 $см^{-1}$ в области колебаний $Eu^{3+}$ (EuCr-борат), (2) слабые полосы 124, 147 $см^{-1}$ (EuCr-борат), (3) небольшие плечи 275 и 336 $см^{-1}$ в области внешних колебаний $BO_3^{3-}$ (EuCr-борат), (4) плечо 445 $см^{-1}$ в области внешних колебаний $Cr^{3+}$ (EuCr-борат) (рисунок 2). Для внутренних колебаний $BO_3^{3-}$ это: (1) плечо 739 $см^{-1}$ (EuAl-борат), (2) расщепление полосы 760-780 $см^{-1}$ в области симметричных деформационных колебаний (во всех Eu-боратах), (3) расщепление полосы 970 $см^{-1}$ в области симметричных валентных колебаний (EuGa-борат) и (4) слабая полоса 1256 $см^{-1}$ (EuFe-борат), плечи 1260 $см^{-1}$ (EuGa-борат), 1293 $см^{-1}$ (EuCr-борат) и 1320-1400 $см^{-1}$ в области асимметричных валентных колебаний (рисунок 2).

**3. Выводы.** Итак, нами проведены исследования фононной структуры в европиевых боратах с различными $M$-катионами: Al, Cr, Fe, Ga. Установлена зависимость положения ИК - мод от типа $M$-иона. А именно: полосы трансляционных колебаний $Eu^{3+}$, $M^{3+}$ и $BO_3^{3-}$ смещаются к меньшим частотам по мере увеличения радиуса $M^{3+}$. Помимо основной ромбоэдрической фазы с пр.гр. $R32$ во всех соединениях присутствует небольшое содержание второй политипной фазы, что может в некоторой степени ухудшить физические свойства боратов. Как показали результаты спектроскопических исследований, наименее «чистую» структуру имеет EuCr-борат. Следующим этапом исследований планируется получение крупных монокристаллов Eu-боратов хорошего оптического качества и измерение величины магнитоэлектрического эффекта в этих соединениях.

**Благодарность**

**Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-12-01033) и Президента РФ (Д.Е.А., проект СП-754.2015.1).**

**Список литературы**

[1] N.I. Leonyuk and L.I. Leonyuk, *Prog. Cryst. Growth and Charact*. **31** (1995) 179.
[2] L.M. Dorozhkin, I.I. Kuratev, N.I. Leonyuk, T.I. Timchenko and A.V. Shestakov, *Sov. Tech. Phys. Lett.* **7 (11)** (1981) 555.
[3] N.I.Leonyuk, V.V.Maltsev, E.A.Volkova, E.V.Koporulina, N.V.Nekrasova, N.A.Tolstik and N.V.Kuleshov, *J. Physics: Conf. Series* **176** (2009) 012010A.
[4] K.N.Boldyrev, T.N.Stanislavchuk, S.A.Klimin, M.N.Popova and L.N.Bezmaternykh, *Phys. Lett. A* **376** (2012) 2562.
[5] M.N.Popova, K.N.Boldyrev, S.A.Klimin, T.N.Stanislavchuk, A.A.Sirenko and L.N.Bezmaternykh, *J. Magn. Magn. Mater.* **383** (2015) 250.
[6] K.N.Boldyrev, T.N.Stanislavchuk, A.A.Sirenko, L.N.Bezmaternykh and M.N.Popova, *Phys. Rev. B* **90** (2014) 121101.
[7] A.M.Kadomtseva, Yu.F.Popov, G.P.Vorob'ev, A.P.Pyatakov, S.S.Krotov, K.I.Kamilov, V.Yu.Ivanov, A.A.Mukhin, A.K.Zvezdin, A.M.Kuz'menko, L.N.Bezmaternykh, I.A.Gudim and V.L.Temerov, *Low Temp. Phys.* **36(6)** (2010) 511.
[8] A.D.Mills, *Inorg. Chem*. **1(4)** (1962) 960.
[9] W.A.Dollase and R.J.Reeder, *Amer. Miner.* **71(1-2)** (1986) 163.
[10] J.A.Campá, C.Cascales, E.Gutiérrez-Puebla, M.A.Monge, I.Rasines and C.Ruíz-Valero, *Chem. Mater.* **9(1)** (1997) 237.
[11] D.Fausti, A.A.Nugroho, P.H.M. van Loosdrecht, S.A.Klimin, M.N.Popova and L.N.Bezmaternykh, *Phys. Rev. B* **74** (2006) 024403.
[12] V.A.Chernyshev, A.E.Nikiforov, V.P.Petrov, A.V.Serdtsev, M.A.Kaschenko and S.A.Klimin, *Phys. Sol. St.* **58 (8)** (2016) 1587.

# КИНЕТИКА ОПТИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ ИОНОВ $^{166}Er^{3+}$ И $^{167}Er^{3+}$ В КРИСТАЛЛЕ $^{7}LiYF_4$ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КВАНТОВОЙ ПАМЯТИ

**[1,*] М. М. Миннегалиев, [1,2] Э. И. Байбеков, [1] К. И. Герасимов, [2] Б. З. Малкин, [1]С. А. Моисеев, [1]Р. В. Урманчеев**

*[1]Казанский квантовый центр, КНИТУ-КАИ*
*420011, Россия Казань, ул. К.Маркса, д.11*
*[2]Казанский (Приволжский) Федеральный Университет*
*420008, Россия Казань, ул. Кремлевская, д.18,*
*[*]Mansur@kazanqc.org*

We performed the high-resolution magneto-optical spectroscopy of the hyperfine transitions from $^4I_{15/2}$ to the $^4I_{13/2}$ and $^4I_{9/2}$ multiplets of $^{167}Er^{3+}$ and $^{166}Er^{3+}$ in the isotopically purified $^7LiYF_4$ crystal in various external magnetic fields up to 0.7 T. The obtained experimental results are interpreted in the framework of the generalized theoretical approach. Also we burned spectral hole on the transition from $^4I_{15/2}$ to $^4I_{9/2}$ multiplet and measured it's lifetime.

**1. Цель.** На данный момент в кристалле $Er^{3+}$:$LiYF_4$ известны спектроскопические данные для переходов $^4I_{15/2}\rightarrow{}^4I_{13/2}$, $^4I_{11/2}$, $^4I_{9/2}$, $^4F_{9/2}$. Отметим, что переходы $^4I_{15/2}\rightarrow{}^4I_{9/2}$ и $^4I_{15/2}\rightarrow{}^4I_{13/2}$ вызывают особой интерес при разработке квантовых репитеров, так как длины волн данных переходов совпадают с первым и третьим окном прозрачности оптоволокна, соответственно. Однако до сих пор нет данных о сверхтонкой структуре перехода $^4I_{15/2}\rightarrow{}^4I_{9/2}$, как и данных о её параметрах во внешнем магнитном поле. Целью данной работы является определение спектроскопических параметров оптических переходов $^4I_{15/2}\rightarrow{}^4I_{13/2}$ и $^4I_{15/2}\rightarrow{}^4I_{9/2}$ редкоземельных ионов эрбия путем лазерной магнитооптической спектроскопии высокого разрешения при температуре 4К.

**2. Решаемые проблемы.** В последние годы диэлектрические кристаллы, активированные редкоземельными ионами, вызывают большой интерес при разработке оптической квантовой памяти. Такое внимание связано с большими временами оптической когерентности редкоземельных ионов. Однако осуществить перенос оптической когерентности на отдельные долгоживущие сверхтонкие подуровни довольно сложно, так как требуется проводить дополнительное опустошение определенных подуровней. Трудности обусловлены тем, что сверхтонкие расщепления во многих кристаллах меньше неоднородного уширения оптических переходов. Вместе с тем, как было показано ранее [1], неоднородная ширина оптической линии в кристалле $Er^{3+}$:$^7LiYF_4$ составляет всего 16 MHz. В данном случае переходы между сверхтонкими подуровнями уже наблюдаются непосредственно в спектрах поглощения. Более того, наличие узких линий в спектре дает возможность для реализации в кристалле протокола квантовой памяти в нерезонансной рамановской схеме [2]. Для кристалла с нечетным 167 изотопом иона Er, можно также перенести оптическую когерентность на ядерные подуровни, обладающие большими временами когерентности, а используя специально подобранные условия для величины и ориентации магнитного поля и технику динамической развязки, можно еще на порядки увеличить данные времена [3]. Подбор оптической трехуровневой системы и подготовка начального квантового состояния остается одной из главных проблем в реализации оптической квантовой памяти.

**3. Поставленные задачи:**

1. Проведение эксперимента для получения оптических спектров поглощения для кристаллов $^{166}Er^{3+}$:$^7LiYF_4$ и $^{167}Er^{3+}$:$^7LiYF_4$ как в магнитном поле, так и без него.
2. Теоретическая интерпретация полученных экспериментальных данных.
3. Определение g-факторов основного и возбужденного состояний.
4. Проведение эксперимента по выжиганию спектральных провалов для оптических переходов $^4I_{15/2}\rightarrow{}^4I_{9/2}$.
5. Оценка однородной ширины линии и времени жизни спектральных провалов для оптических переходов $^4I_{15/2}\rightarrow{}^4I_{9/2}$.

**4. Материал и методы исследований.** Изотопически обогащенные кристаллы $^7LiYF_4$:$^{166}Er^{3+}$ (c=0,005%) и $^7LiYF_4$:$^{167}Er^{3+}$ (c=0,005%) были выращены методом Бриджмэна-Стокбергера. Спектры поглощений для π- и σ- поляризаций были измерены с помощью одночастотного перестраиваемого лазера на кристалле титан-сапфира Tekhnoscan TIS-SF-777 (для перехода

$^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ ) и диодного лазера New Focus TLB-6728 (для перехода $^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$). Исследуемые кристаллы были помещены в криостат “Montana Instr.” с возможностью приложения внешнего магнитного поля. Во время проведения экспериментов кристаллы охлаждались до температуры 4К, направление магнитного поля устанавливалось как параллельно, так и перпендикулярно с-оси кристалла.

**5. Полученные результаты.** На рис. 1 приведены экспериментальные и теоретические спектры поглощения кристалла $^7LiYF_4:{}^{167}Er^{3+}$ для двух поляризаций во внешнем магнитном поле H=0.133 Т. Спектры поглощения состоят из узких линий (~110 и ~37 МГц для переходов $^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ и $^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$, соответственно). Полученные экспериментальные данные были интерпретированы аналогично работе [4] с учетом зеемановского взаимодействия. Данная модель успешно объяснила все экспериментально наблюдаемые оптические переходы с помощью одного набора основных параметров, найденных для взаимодействия кристаллического поля, магнитного дипольного и электрического квадрупольного сверхтонких взаимодействий и зеемановского взаимодействия для различных ориентаций внешнего магнитного поля. Это позволило сопоставить все линии поглощения с определенными оптическими переходами и установить лямбда-схемы, перспективные для нерезонансной рамановской схемы квантовой памяти. Например, для перехода $^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$, среди 17 и 28 переходов для π и σ – поляризаций выделено 27 возможных лямбда-схем, связывающих два уровня в основном состоянии через один уровень в возбужденном состоянии.

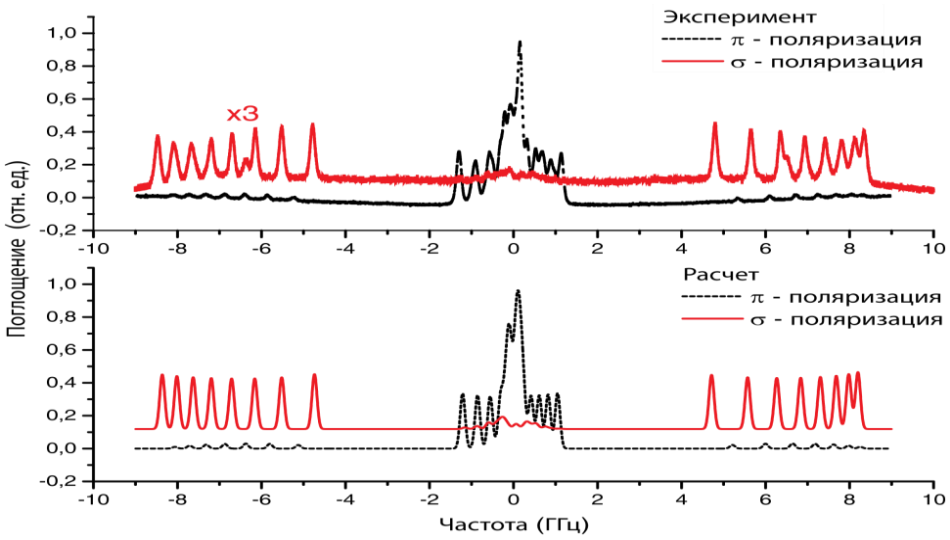



**Рис. 1.** Экспериментальный и теоретический оптические спектры поглощения перехода $^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ во внешнем магнитном поле H=0.133 Тл; нулевая частота соответствует 370574 ГГц, T=4K.

В табл. 1 приведены значения g-факторов основного состояния изученных трех мультиплетов кристалла $^7LiYF_4:{}^{166}Er^{3+}$. Как можно видеть из табл.1 значения g-факторов полученные в нашей работе находятся в согласии со значениями полученные в работах [4] и [5]. Стоит отметить, что значения g-факторов основного состояния $^4I_{15/2}$ совпадают с данными эксперимента по электронному парамагнитному резонансу [6].

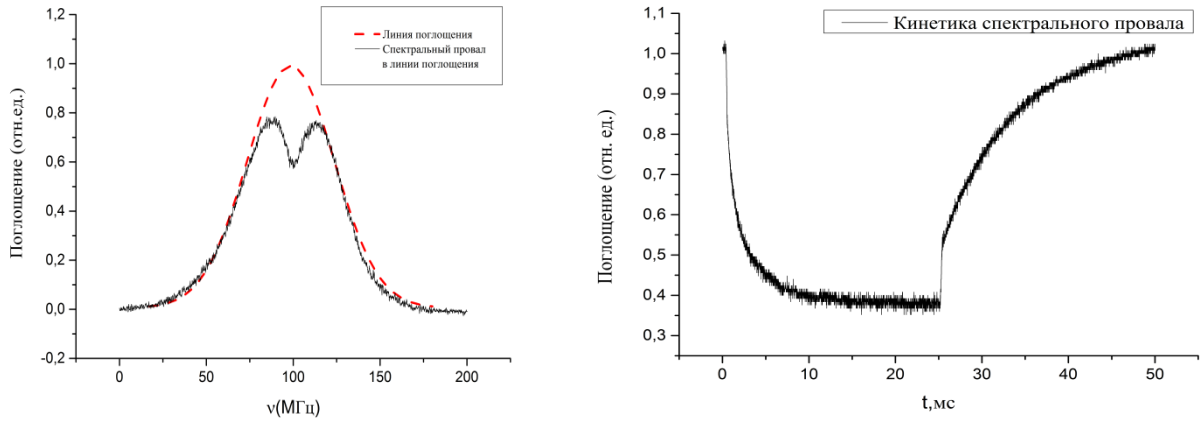
Для проверки значений расщеплений между сверхтонкими подуровнями полученных из теоретических расчетов нами была собрана оптическая схема по выжиганию спектральных провалов. На рис.2а приведена линия поглощения (красная штриховая линия) для перехода $^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ в кристалле $^7LiYF_4:{}^{166}Er^{3+}$ и выжженный в ней спектральный провал (черная сплошная линия). Ширина спектрального провала на половине высоты, и, следовательно, значение однородной ширины линии составила порядка 20 МГц. Также мы оценили время жизни спектрального провала (рис.2б). Первый участок кривой на рис.2б. (от 0 мс до 25 мс) соответствует включенному контролирующему (выжигающему) пучку. Если проанализировать второй участок кривой (от 25 мс до 50 мс), который соответствует выключенному контролирующему пучку, то можно заметить, что кинетика спектрального провала состоит из

двух процессов. Первый процесс отвечает за резкое просветление, а второй процесс аппроксимируется экспонентой $e^{-\frac{t}{T_1}}$, где $T_1 \sim 11$ мс. Это совпадает со временем релаксации перехода $^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$, найденной в работе [8].

**Таблица1.**

Значения g-факторов основного состояния изученных трех мультиплетов кристалла $^7LiYF_4:{}^{166}Er^{3+}$

| | | В данной работе | Теор. знач. из [5] | Эксп. и *теор. знач из [6] |
|---|---|---|---|---|
| $^4I_{15/2}(\Gamma_{56})$ | $g_{\|\|}$ | 3,13<br>3,14 [7] | 3,1 | 3,147<br>*3,433 |
| | $g_{\perp}$ | 8,10<br>8,10 [7] | 8,2 | 8,105<br>*8,15 |
| $^4I_{13/2}(\Gamma_{78})$ | $g_{\|\|}$ | 1,52 | 1,56 | 1,37<br>*1,62 |
| | $g_{\perp}$ | 7,32 | 7,37 | -<br>*7,45 |
| $^4I_{13/2}(\Gamma_{56})$ | $g_{\|\|}$ | 1,30 | 1,25 | - |
| | $g_{\perp}$ | 5,94 | 5,85 | - |
| $^4I_{9/2}(\Gamma_{78})$ | $g_{\|\|}$ | 3,72 | - | - |
| | $g_{\perp}$ | 2,94 | - | - |




(а) (б)

**Рис. 2**. а) Линия поглощения (красная штриховая линия) перехода $^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ в кристалле $^7LiYF_4:{}^{166}Er^{3+}$ и выжженный в ней спектральный провал (черная сплошная линия) б) Кинетика спектрального провала

## 6. Сформировавшиеся компетенции и их инновационный потенциал

Полученные данные демонстрируют перспективность применения изотопически чистого кристалла $^7LiYF_4$ доппированного редкоземельными ионами для реализации высокоэффективной квантовой памяти с использованием нерезонансного рамановского протокола.

**Данная работа поддержана грантом Российского научного фонда № 14-12-01333.**

## Список литературы

[1] C. W. Thiel, T. Bottger, R.L. Cone, *J. of Lum.* **131** (2011) 353.
[2] S. A. Moiseev. *Phys. Rev. A* **88** (2013) 012304.
[3] M. Zhong et al. *Nature* **517** (2015) 177.
[4] M.N. Popova et al. *Phys. Rev. B* **61** (2000) 7421.
[5] E.P. Chukalina et al., *Phys. Let. A* **269 (**2000) 348.
[6] R. Marino et al., *J. of Lum.***169** (2016) 478.
[7] J.P. Sattler, J. Nemarich, *Phys. Rev. B* **4** (1971) 3.
[8] S. Hubert et al., *J. of Lum.***50** (1991) 7.

# МУЛЬТИРЕЗОНАТОРНАЯ КВАНТОВАЯ ПАМЯТЬ КАК УПРАВЛЯЕМЫЙ КВАНТОВЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР

**С.А. Моисеев [1,2], Ф.Ф. Губайдуллин [2], Р.С. Кириллов [3], Р.Р. Латыпов [3], Н.С. Перминов [1], К.В. Петровнин [3] и О.Н. Шерстюков[3]**

*[1] Казанский квантовый центр, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, Казань, Россия*
*[2] Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН, Казань, Россия*
*[3] Казанский федеральный университет, Казань, Россия*
e-mail: samoi@yandex.ru

Устройства хранения и трансформации света являются необходимыми элементами многих современных лабораторий в области естественных наук. Количественные показатели исследований в ходе выполнения экспериментов с применением измерительной техники, использующей методы квантовой оптики, напрямую зависят не только от возможностей конкретной марки прибора, но и от принципиальной схемы измерительного устройства. При этом точность и достоверность экспериментальных данных может быть значительно улучшена за счёт более точной настройки оптической схемы измерительной аппаратуры.

В данной работе мы предлагаем схему квантового интерферометра с управляемыми параметрами, которая использует мультирезонаторную схему (MR-схему) квантовой памяти и может быть непосредственно интегрирована в волноводные системы. Исходная идея опирается на теорию квантовой памяти на фотонном эхе [1], и её вариант, использующий атомные системы с периодической спектральной структурой [2].

В рассматриваемой нами мультирезонаторной схеме, вместо атомной системы, мы используем присоединенную к единому волноводу систему из нескольких резонаторов с периодической пространственно-частотной структурой. Мы изготовили экспериментальный прототип для СВЧ-диапазона частот согласно схеме на Рис. 1.

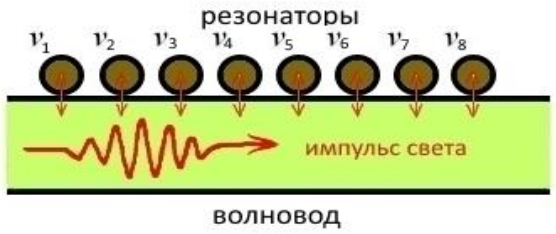



**Рис. 1.** MR-схема квантовой памяти.

Электромагнитное поле каждого резонатора взаимодействует с полем СВЧ-волновода через узкую щель в общей стенке, при этом на стенке волновода может помещаться несколько резонаторов на расстоянии порядка длины волны излучения. Проведенные нами численные расчеты MR-схемы и первые эксперименты подтвердили возможность устойчивого расположения вблизи друг друга нескольких резонансных линий резонаторов даже при их близком соседстве в волноводе.

Численные расчеты проводились для системы уравнений, описывающих взаимодействие фотона с 6-ю резонаторами на основе модели Джейнса-Каммингса [3]. Как видно из Рис.2, использование даже 6-ти резонаторов позволяет достичь очень высокой квантовой эффективности и даёт возможность реализации многоимпульсной квантовой памяти на време-

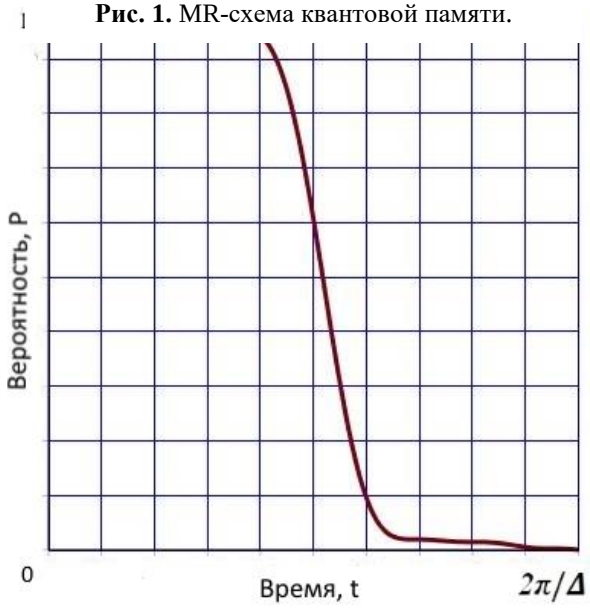



**Рис. 2.** Вероятность присутствия поля в волноводе.

нах $2\pi/\Delta$, где $\Delta$ - спектральный интервал между ближайшими частотами резонаторов. Дополнительные расчеты также показали, что использование большего числа резонаторов не является обязательным для увеличения эффективности. При этом наличие оптимального значения константы взаимодействия резонаторов и волновода показывает реализуемость MR-схемы в условиях реального эксперимента. Уникальной особенностью рассмотренной схемы является возможность точного экспериментального задания частот композитных резонаторов, что облегчает реализацию периодической спектральной структуры и создание на её основе интегрированной в волновод широкополосной квантовой памяти без использования атомных систем.

Существует несколько принципиально разных возможностей для создания квантового интерферометра на основе предложенной MR-схемы квантовой памяти. Явление интерференции заключается в проявлении изменения спектра интенсивности в системе взаимодействующих полей. И первый способ реализации схемы интерферометра – это вариант, где вся MR-схема взаимодействует с собой или эквивалентной системой. Второй вариант – это реализация интерферометрии за счёт взаимодействия резонаторных полей. Отличия первого и второго вариантов заключаются в принципиальных возможностях: в случае первого варианта мы можем работать с широкополосным сигналом, а во втором случае только с узкополосным, так как в каждом резонаторе может находиться только узкополосный сигнал. Отметим, что второй вариант интересен для реализации узкополосной интерференционной картины и будет исследован в дальнейшей серии статей.

Первый вариант взаимодействия может быть физически реализован различными способами, отличающимися топологией схемы взаимодействия. Например, результаты последовательного прохождения света через MR-схему с параметрами (1) и MR-схему с параметрами (2) в прямом и обратном направлении не являются равными (1->2≠2->1). Это связано с фундаментальными и плохо изученными свойствами асимметрий AFC-протокола. Мы предлагаем использовать сравнение полученных преобразованных волновых пакетов для реализации эффективной интерференции между ними. Данная методика отличается богатством конструктивных методов и может быть совмещена с известными методами интерферометрии и голографии. Построение общей теории резонансов нового типа, основанных на MR-схеме, будет выполнено в следующей серии работ по данной теме.

**Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров, а также поддержана грантом РФФИ № НК 15-42-02462\15.**

**Список литературы**

[1] S. A. Moiseev, J. Phys. B: Atom. Mol. & Opt. Phys. 40, 3877 (2007).
[2] H. de Riedmatten, M. Afzelius, M. U. Staudt, et.al., Nature 456, 773 (2008).
[3] E. T. Jaynes, F. W. Cummings. Proc. IEEE 51 (1): 89 (1963).

# ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ КВАНТОВОЙ ПАМЯТИ НА ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНОЙ РЕШЕТКЕ РЕЗОНАТОРОВ

**С.А. Моисеев[1,2], Ф.Ф. Губайдуллин[2], Р.С. Кириллов[3], Р.Р. Латыпов[3], Ф.Ф. Мухаметзянов[3], Н.С. Перминов[1], К.В. Петровнин[3], М.А. Попов[3], А.А. Световидов[3], О.Н. Шерстюков[3]**

*[1] Казанский квантовый центр, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, Казань, Россия*
*[2] Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН, Казань, Россия*
*[3] Казанский федеральный университет, Казань, Россия*
e-mail: samoi@yandex.ru

В данной работе мы обсуждаем свойства новой схемы квантовой памяти, которая непосредственно интегрирована в волноводные системы и может сохранять широкополосный микроволновый сигнал на временах, много больших длительности используемых импульсов света. Исходная идея опирается на теорию квантовой памяти на фотонном эхе [1], и её вариант, использующий атомные системы с периодической спектральной структурой [2].

В рассматриваемой нами мультирезонаторной схеме (MR-схеме), вместо атомной системы, мы используем присоединенную к единому волноводу систему из нескольких резонаторов с периодической пространственно-частотной структурой. Мы изготовили экспериментальный прототип для СВЧ-диапазона согласно схеме на Рис. 1. Устройство содержит отрезок СВЧ-волновода, имеющий широкую полосу прозрачности для входного сигнального микроволнового поля, способного переносить произвольную информацию, которую требуется сохранить на время много большее длительности входных импульсов. Для этой цели к боковым стенкам СВЧ-волновода присоединяются композитные цилиндрические резонаторы, содержащие в себе диэлектрик, обладающий большим показателем преломления, благодаря чему диаметры резонаторов оказываются меньше длины волны микроволнового излучения в волноводе. Резонаторы расположены на расстоянии половины длины волны друг от друга и имеют собственные частоты, образующие периодическую частотную решетку.

Электромагнитное поле каждого резонатора взаимодействует с полем СВЧ-волновода через узкую щель в общей стенке, при этом на стенке волновода может помещаться несколько резонаторов на расстоянии порядка длины волны излучения. Проведенные нами численные расчеты MR-схемы и первые эксперименты подтвердили возможность устойчивого расположения вблизи друг друга нескольких резонансных линий резонаторов даже при их близком соседстве в волноводе.

Необходимо отметить, что MR-схема сможет работать в качестве квантовой памяти, если она позволит с высокой эффективностью восстанавливать сигнальные импульсы при использовании конечного числа композитных резонаторов. Мы провели теоретическое изучение этого вопроса, используя модель Джейнса-Каммингса [3] при описании взаимодействия электромагнитных полей с несколькими резонаторами.

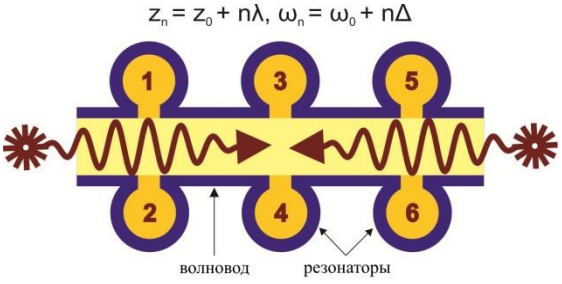



**Рис. 1.** MR-схема квантовой памяти.

Численные расчеты проводились для системы уравнений, описывающих взаимодействие фотона с 6-ю резонаторами. Вероятность присутствия фотона в волноводе представлена на Рис. 2. Как видно из рисунка, использование даже 6-ти резонаторов позволяет достичь очень высокой квантовой эффективности и даёт возможность реализации многоимпульсной квантовой памяти на временах $2\pi/\Delta$, где $\Delta$ - спектральный интервал между ближайшими ча-

стотами резонаторов. Дополнительные расчеты также показали, что использование большего числа резонаторов не является обязательным для увеличения эффективности.

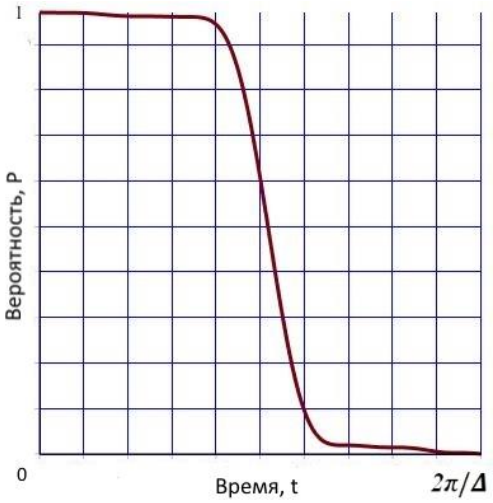



**Рис. 2.** Вероятность присутствия поля в волноводе.

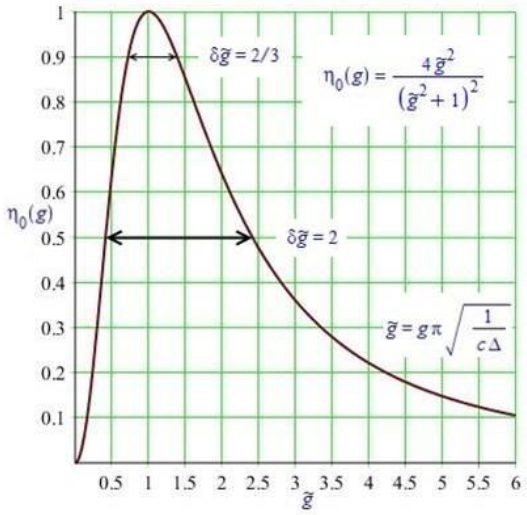



**Рис. 3.** График условия оптимальности.

На Рис. 3 представлен график квантовой эффективности в зависимости от константы связи g, из которого следует наличие оптимального значения константы взаимодействия резонаторов и волновода, что показывает реализуемость MR-схемы в условиях реального эксперимента. С физических позиций наличие условия оптимальности обусловлено тем, что здесь сами резонаторы образуют систему брэгговского типа, внутри которой возможна интерференция между подсистемами при выполнении оптимальных условий на параметры решётки.

Уникальной особенностью рассмотренной схемы является возможность точного экспериментального задания частот композитных резонаторов, что облегчает реализацию периодической спектральной структуры и создание на её основе интегрированной в волновод широкополосной квантовой памяти без использования атомных систем.

**Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров, а также при поддержке гранта РФФИ № НК 15-42-02462\15.**

**Список литературы**

[1] S. A. Moiseev, J. Phys. B: Atom. Mol. & Opt. Phys. 40, 3877 (2007).
[2] H. de Riedmatten, M. Afzelius, M. U. Staudt, et.al., Nature 456, 773 (2008).
[3] E. T. Jaynes, F. W. Cummings. Proc. IEEE 51 (1): 89 (1963).

# СВЕРХБЫСТРАЯ ДЕФАЗИРОВКА В ПРИМЕСНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ

**В.В. Федянин[1,2], К.Р. Каримуллин[2,3]**

*[1]ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*
*119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53*
*[2]ФГБОУ ВО Московский педагогический государственный университет,*
*Институт физики, технологии и информационных систем*
*119991, г. Москва, ул. Малая Пироговская, д. 29/7*
*[3]ФГБУН Институт спектроскопии Российской академии наук*
*108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, д. 5*
e-mail: kamil@isan.troitsk.ru

Представлены результаты численного расчета сигналов двухимпульсного фемтосекундного фотонного эха. Исследовано влияние на форму кривых спада фотонного эха как линейного Франк-Кондоновского взаимодействия, так и квадратичного, выражающегося константой оптической дефазировки $T_2$. На примере оптической среды – Zn-октаэтилпорфирина в толуоле – проведено сопоставление рассчитанных кривых спада сигналов фотонного эха с полученными в эксперименте методом некогерентного фотонного эха.

Для исследования оптической дефазировки в примесных твердотельных средах широко применяется техника фотонного эха (ФЭ). В частности, метод ФЭ при определенных условиях дает возможность прямого измерения времени однородной оптической дефазировки. В этом случае сигнал ФЭ, т.е. зависимость интегральной интенсивности ФЭ от времени задержки $\tau$ второго лазерного импульса относительно первого, определяется релаксационным множителем вида $e^{-2\tau/T_2}$. В общем случае выражение для сигнала ФЭ имеет значительно более сложный вид, при этом в качестве параметра, характеризующего время фазовой релаксации, появляется зависящая от времени и температуры функция оптической дефазировки $\varphi(t,T)$.

В настоящей работе проведен численный расчет сигналов ФЭ с применением теории неэкспоненциального фотонного эха [1,2]. Данная теория учитывает проявление сверхбыстрой неэкспоненциальной дефазировки в сигнале ФЭ, что позволяет проводить исследование в широком диапазоне физических параметров, таких как температура, фактор Дебая-Валлера, величина неоднородного уширения БФЛ и длительность излучения лазера.

В основах теоретического подхода для расчета когерентных откликов лежит система уравнений для матрицы плотности примесного центра [1]:

$$\dot{\rho}_{ba} = -i\left(\Omega_{ba} - \frac{i}{2T_1}\right)\rho_{ba} + \chi_{ba}(p_b\rho_1 - p_a\rho_0),$$

$$\dot{\rho}_{ab} = -i\left(\Omega_{ab} - \frac{i}{2T_1}\right)\rho_{ba} + \chi^*_{ab}(p_b\rho_1 - p_a\rho_0),$$

$$\dot{\rho}_1 = -\sum_{a,b}(\chi^*_{ab}\rho_{ba} + \chi_{ba}\rho_{ab}) - \frac{\rho_1}{T_1},$$

$$\dot{\rho}_0 = \sum_{a,b}(\chi^*_{ab}\rho_{ba} + \chi_{ba}\rho_{ab}) + \frac{\rho_1}{T_1}. \qquad (1)$$

Здесь $a$, $b$ – фононные индексы в основном «0» и возбужденном «1» электронных состояниях примесной молекулы соответственно, $\Omega_{ba} = \Omega + \Omega_b - \Omega_a$, где $\Omega$ – частота лазерного света, $\chi_{ab} = \langle a|\vec{d}|b\rangle \vec{E}(\vec{r},t)/\hbar$ – матричный элемент взаимодействия молекулы с полем возбуждения. Решение системы уравнений (1) можно представить в виде бесконечного ряда по степе-

ням взаимодействия со светом. Эффект фотонного эха обусловлен поправкой 3-го порядка по взаимодействию со светом к наведенной поляризации. Если импульсы возбуждения представить в виде δ-функций, эта поправка примет следующий вид:

$$d_3(t) \propto e^{-t_w/T_1}\,\mathrm{Re}\left\{e^{-i\Omega(\tau'-\tau)}\left[e^{g^*(\tau')+g^*(\tau)} \quad e^{g(\tau')+g^*(\tau)}\right\}\right., \qquad (2)$$

где $g(t) = -it\delta(t) - t/T_2 + \varphi(t,T) - \varphi(0,T)$, а функция дефазировки $\varphi(t,T)$, в свою очередь, может быть определена следующим образом:

$$\varphi(t,T) = \int_0^\infty \varphi(\nu)(2n(\nu)+1)\cos\nu t\, d\nu - i\int_0^\infty \varphi(\nu)\sin\nu t\, d\nu\,. \qquad (3)$$

Здесь $n(\nu) = [\exp(h\nu/kT)-1]^{-1}$, $\varphi(\nu)$ – функция взвешенной плотности фононных состояний. В квазидебаевской модели эта функция может быть взята в следующем виде:

$$\varphi(\nu) = \varphi(0,0)\cdot 3\times 10^{-12}\left(\frac{\nu}{\nu_D}\right)^3\left(1-\frac{\nu}{\nu}\right), \qquad (4)$$

где $\nu_D$ – граничная дебаевская частота, $\varphi(0,0)$ – фактор Пекара-Хуанга, связанный с фактором Дебая-Валлера соотношением $\varphi(0,0) = -\ln\alpha(0)$ и определяющий величину электрон-фононного взаимодействия.

Для вычисления сигналов ФЭ и четырехволнового смешения была разработана математическая модель, позволяющая представить излучение лазера в виде последовательности δ-образных импульсов и суммировать когерентные отклики примесной оптической системы в заданных направлениях [3]. На рис. 1 приведены графики, иллюстрирующие расчет сигналов ФЭ.

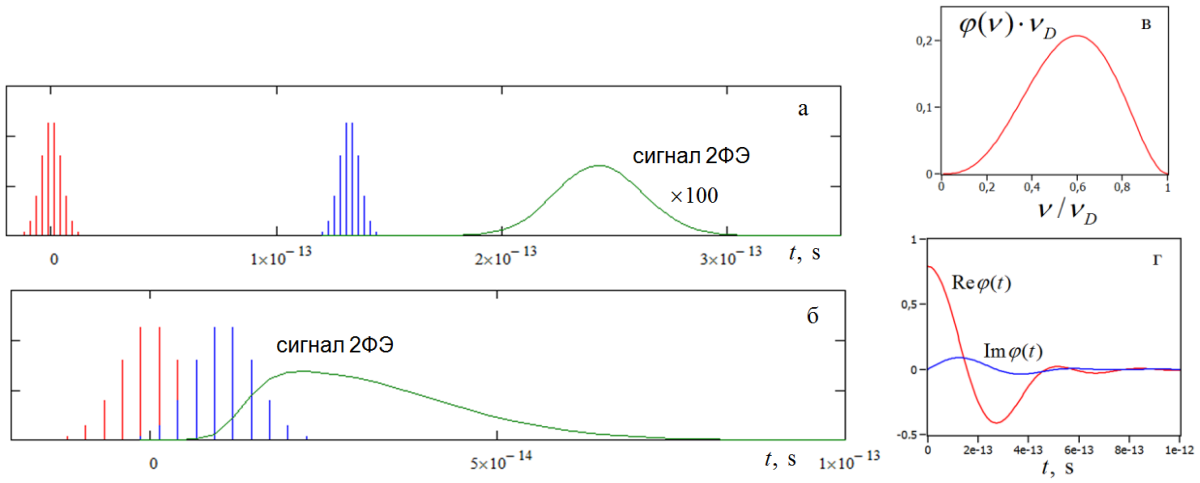



**Рис. 1.** Результаты расчета кинетики сигнала двухимпульсного фотонного эха при $T = 300K$, $\varphi(0,0) = 0.2$ (а,б), функция взвешенной плотности фононных состояний (в), функция оптической дефазировки (г).

На рис. 2 представлена зависимость кривых спада сигналов двухимпульсного ФЭ от температуры и значения функции дефазировки (фактора Дебая-Валлера). Рис. 2 показывает, что параметры, определяющие сверхбыструю фазовую релаксацию в системе, оказывают значительное влияние на форму кривых спада ФЭ, что позволяет рассматривать ее в качестве характеристики внутренней динамики системы. Сравнение полученных результатов с экспериментальными данными проиллюстрировано на рис. 3 и 4. Для системы Zn-октаэтилпорфирин в толуоле построена зависимость положения максимума кривых спада от времени дефазировки, являющегося функцией температуры образца. Параметры для данного расчета были взяты из эксперимента [4,5]. Рассчитанный сдвиг максимума кривых спада ФЭ на качественном уровне согласуется с результатами работы [6].

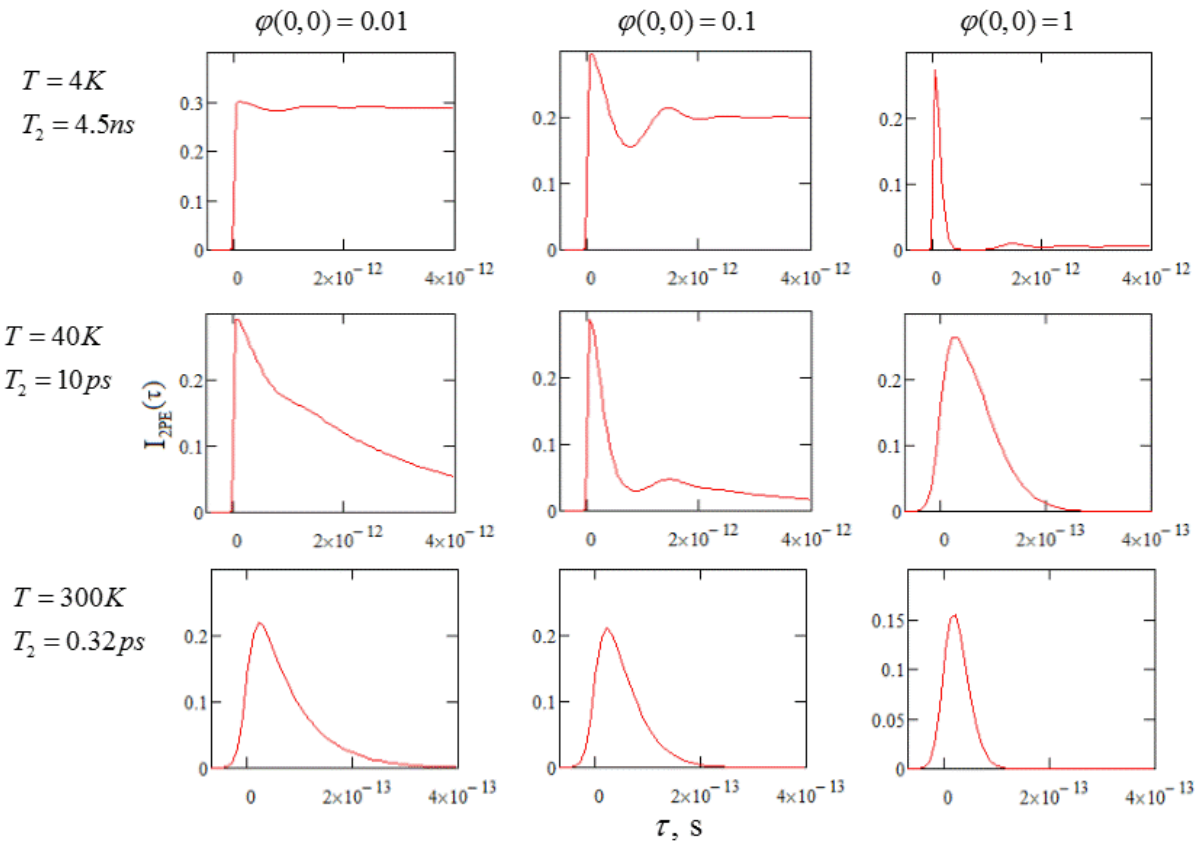



**Рис. 2.** Зависимость кривых спада сигналов двухимпульсного фотонного эха от температуры и значения функции дефазировки (фактора Дебая-Валлера). Ширина неоднородного контура $\sigma = 370см^{-1}$, длительность лазерного импульса 100 фс.

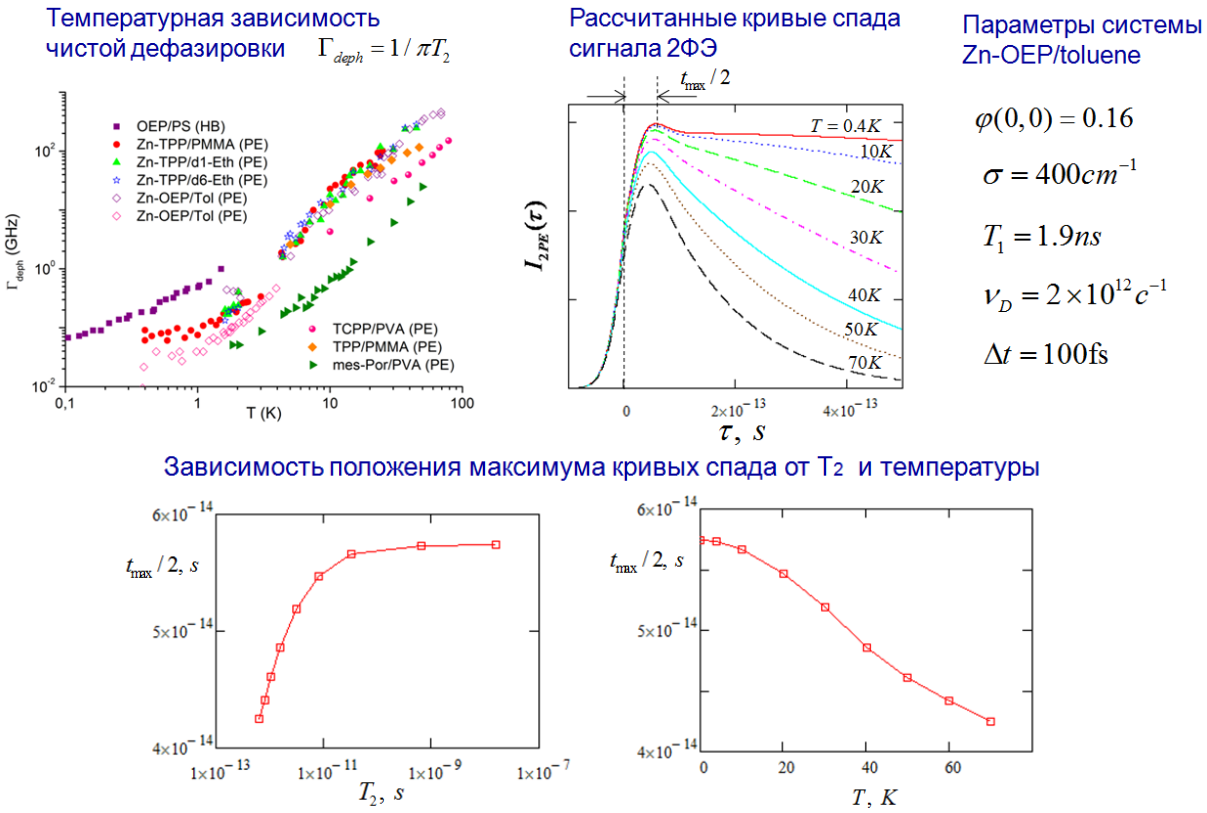



**Рис. 3.** Оптическая дефазировка в примесной системе: эксперимент [4] и теория.

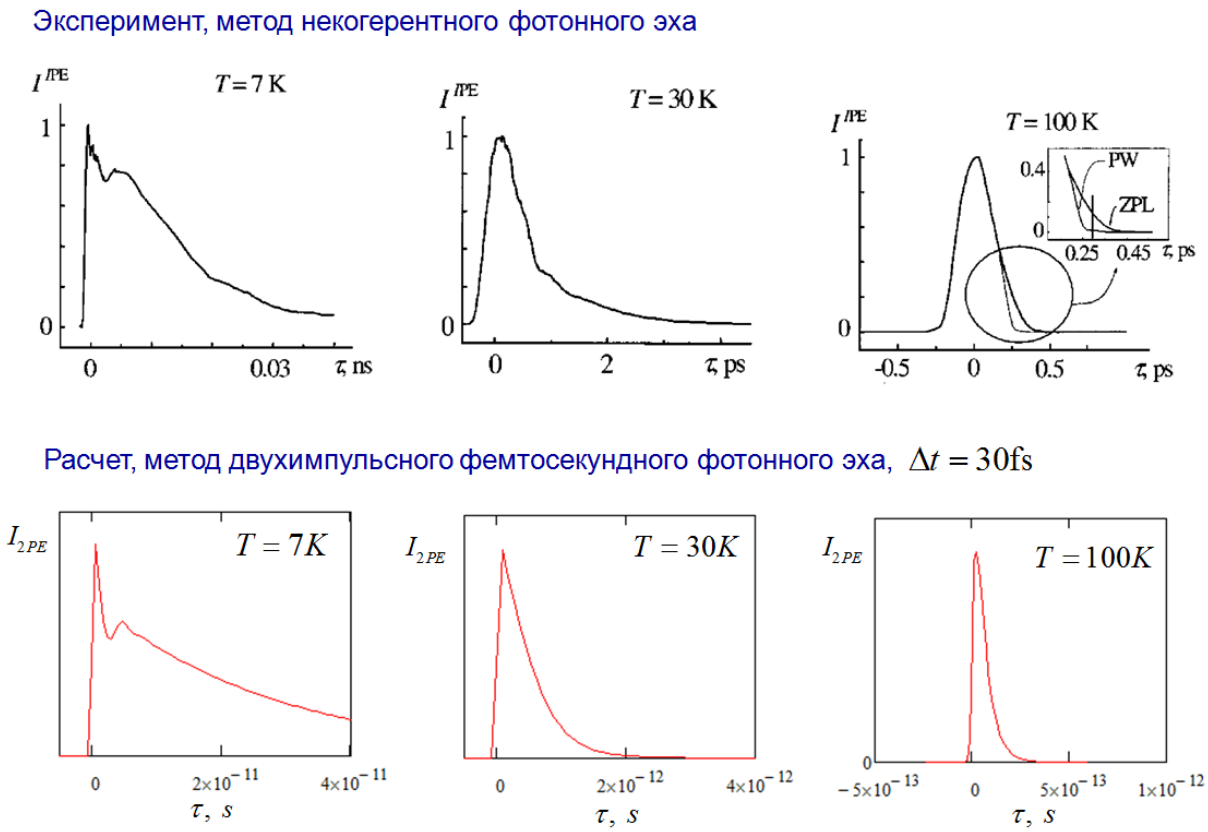



**Рис. 4.** Сравнение экспериментальных кривых спада [5] с результатами расчетов.

Проведенный численный расчет сигналов фотонного эха на основе динамической теории оптической дефазировки и моделирования лазерного излучения последовательностью δ-образных импульсов выявил определенные закономерности проявления физических параметров оптической системы в форме кривых спада сигнала фотонного эха. В рамках сравнительного анализа рассчитанных сигналов фотонного эха с экспериментальными зависимостями обнаружены определенные различия, которые могут быть связаны с использованием различных методик фотонного эха, а также с дополнительными экспериментальными факторами.

**Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 15-32-21100-мол_а_вед при финансовой поддержке грантом Президента РФ (проект НШ-7035.2016.2).**

**Список литературы**

[1] И.С. Осадько, *Селективная спектроскопия одиночных молекул*, Физматлит, Москва (2000).
[2] I.S. Osad'ko, M.V. Stashek, M.A. Michailov, *Laser Phys*. **6** (1995) 175.
[3] В.В. Федянин, К.Р. Каримуллин, *Девятая межд. науч. школа «Наука и инновации-2014»*. Сб. статей, Йошкар-Ола, С. 112.
[4] K.R. Karimullin, A.V. Naumov, *J. Lumin*. **152** (2014) 15.
[5] Y.G. Vainer, M.A. Kol'chenko, A.V. Naumov et. al., *J. Chem. Phys*. **116** (2002) 8959.
[6] T. Kobayashi, A. Terasaki, T. Hattori, K. Kurokawa, *Appl. Phys. B* **47**, (1988) 107.

# ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ТОНКИХ ТЕКСТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОК НА СВОЙСТВА ФОТОННОГО ЭХА

**Н.С. Вашурин[1], И.И. Попов[1], С.Э. Путилин[2]**

[1]ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»
[2]ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

*e-mail: popov@volgatech.net*

Исследуется зависимости спада первичного фотонного эха, возбуждаемого в тонких текстурированных пленках оксида цинка толщиной 600 и 800 нм. Зафиксировано два характера рекомбинации локализованных экситонов на дефектах кристаллической решетки, представленных на исследуемых зависимостях компонентами быстрого и медленного спадов.

The dependence of the decline of the primary photon echo excited in a thin textured zinc oxide films 600 and 800 nm thick. Fixed two characters recombination of localized excitons in the crystal lattice defects submitted for the test dependencies components fast and slow decays.

**1. Дефектные состояния тонких полупроводниковых пленок.** В ходе создания полупроводниковых микроструктур на их оптические, электрофизические свойства большое влияние оказывают дефекты структуры. В процессе роста кристалла, отсутствии стока для точечных дефектов в виде дислокаций, происходит увеличение концентрации вакансий и нежелательных примесей. Стремление элементарных дефектов к сближению на месте их конденсации приводит к самопроизвольному образованию разнообразных скоплений в виде наноразмерной объемной области, с внутренними связями между дефектами кристаллической решетки, характерными для кластера. Потому далее будем характеризовать эти объемные области как наноразмерные кластеры. Такая трактовка объемных образований поверхностных дефектов кристаллической решетки не обладает полнотой экспериментальных данных, но представляется удовлетворительной. При этом эти наноразмерные кластеры обладают чертами, схожими с полупроводниковыми квантовыми точками: геометрические размеры, влияние размеров на свойства образования, образование собственных энергетических уровней имеющих разную степень ионизации. Наиболее равновесная конфигурация такой области образования дефектов определяется минимумом полной энергии. Наиболее известными из них являются дефекты упаковки и дислокационные петли [1-3].

В данной работе в качестве резонансной среды использовались тонкие пленки ZnO с толщинами 600 и 800 нм. Данные пленки изготавливались вакуумно-магнетронным распылением, характеризующийся ростом отдельных монокристаллических островков. Напряжение несоответствия, возникающее в островках, частично релаксирует за счет искривления боковых поверхностей островков. Когда два таких островка соприкасаются друг с другом и объединяются в один, их боковые поверхности оказываются кристаллографически разориентированы, и в месте контакта формируется межзеренная граница. Кроме дефектов несоответствия в полупроводниковых пленках большую роль играют структурные и примесные дефекты. Причем данные дефекты в силу нарушения их кристаллической структуры могут иметь различные размеры. Также данные дефекты представляют интерес как объекты, которые имеют различные ширины запрещенных зон с энергетической структурой, отличающейся от, характерной для среды, в которую они внедрены. Энергетические уровни дефектов лежат ниже и выше зоны проводимости полупроводниковых пленок, т.е. играют роль доноров и акцепторов, соответственно. Обычно в тонких полупроводниковых пленках широкий

пик излучения в ультрафиолетовой области 3,35 эВ обязан экситонам, локализованным на дефектах, предпочтительно реализуемый на примесях Li и Na [4].

В низкоразмерных кластерных дефектах могут проявляться квантово-размерные эффекты в виде возникновения линий излучения хорошо заметных при гелиевых температурах. Авторами [5] выделены полосы излучения $W_1$, $W_2$, $W_3$, которые они приписали к излучению экситона с разных уровней возбуждения наноразмерного кластера, образованного слиянием вакансий $V_o$ и $V_{Ga}$.

В условиях квантовых ям заряды, локализованные на них, будут испытывать заметное ограничение, в условиях которых их энергетический спектр будет заметно расщепляться на подзоны, т.е. возможно наблюдение серии экситонных линий. Из-за уменьшения экситон-фононного взаимодействия возможно увеличение времени жизни экситонов, локализованных на квантовых ямах [6]. В результате время свободного пробега экситона может оказаться больше времени, необходимого для излучения кванта света (обычно это время составляет $10^{-8}$–$10^{-7}$с в таких полупроводниках, как арсенид галлия).

Поскольку квантовые ямы имеют специфические свойства, регистрируемые оптическими методами, то фотонное эхо является одним возможных методов определений параметров изготавливаемых полупроводниковых пленок [7].

Из литературы [8] известно, что полупроводник с дефектами можно охарактеризовать как структуру с квантовыми ямами. В них экситоны обладают высокой связанностью по сравнению с объемными полупроводниками соединений $A_3B_5$ ZnO квантовыми ямами благодаря улучшенной энергии связи [9] и снижению экситон-фононного взаимодействия, вызванного квантовым ограничением. Также при использовании ZnO в структурах с квантовыми ямами наблюдалось вынужденное излучение [10,11].

**2. Экспериментальная часть.** Для возбуждения и регистрации фемтосекундных когерентных сигналов была создана установка на основе TiSa-лазерной системы. Она обеспечивала поступление на резонансную среду мощных возбуждающих импульсов, превышающих по интенсивности эхо-сигнал более чем на 6 порядков; дискретно изменять интервал между возбуждающими импульсами с помощью линейного транслятора с шаговым двигателем и минимальным шагом хода 2 мкм.

Фемтосекундные импульсы, вышедшие из компрессора фемтосекундной TiSa-лазерной системы, направлялись с помощью алюминиевых зеркал на полупрозрачное зеркало, в котором происходило раздваивание лазерного одного луча на два, с отношениями энергий в них как 1:1. Оба этих лазерных луча направлялись на фокусирующую линзу ($F$=15 см), один – через зеркала, второй – через линейный транслятор с минимальным шагом 2,5 мкм. В линзе происходила фокусировка обоих лучей на тонкопленочный резонансный образец, находящийся на расстоянии 7,5 см. Возбуждающие импульсы направлялись на твердотельный образец резонансной среды под углом равным 8 градусов. Подбором зеркал соотношение энергии в направлении $\vec{k}_1$ и направлении $\vec{k}_2$ было близко к 1:2. Средняя энергия импульсов, зарегистрированных измерителем мощности Nova 2 Ophir в направлении $\vec{k}_1$, составляла 7 мкДж, а в направлении $\vec{k}_2$ – 14,7 мкДж. Ширина спектральной линии лазерного излучения 780-820 нм. Интенсивность первого возбуждающего импульса с учетом потерь на оптических элементах составляла 0,1 ТВт/см$^2$, второго возбуждающего импульса – 0,2 ТВт/см$^2$. Прошедшие через резонансную среду часть возбуждающих импульсов и сформированный в ней сигнал ПФЭ падали на цифровой фотодетектор, подключенный к персональному компьютеру. Возбуждающие импульсы подавались тонкопленочный образец резонансной среды под углом $\varphi$. ФЭ регистрировалось под углом $\varphi$ ко второму возбуждающему импульсу, соответственно, под углом $2\varphi$ к первому возбуждающему импульсу.

Поскольку частота повторения лазерных импульсов длительностью 60 фс составляла 50 МГц, то частота повторения пар возбуждающих импульсов была точно такой же. Период повторения пар возбуждающих импульсов был много больше времен необратимой релаксации резонансной среды, при этом частота повторения формирующихся эхо-сигналов имела то же самое значение. Следовательно, период повторения фемтосекундных сигналов ПФЭ составлял 20 нс, что было меньше временного разрешения фотодетектора. Потому фотодетектор регистрировал средний уровень мощности сигналов ФЭ. Оцифрованный сигнал с детектора поступал на компьютер, на экране которого наблюдалась среднее значение мощности эхо-сигналов. В данной экспериментальной установке происходило автоматическое равномерное изменение разности хода между первым и вторым возбуждающим пучком со скоростью 4 мкм/с, что соответствовало изменению временного интервала между возбуждающими лазерными импульсами $\tau_{12}$ со скоростью 13 фс/с. По мере увеличения временного интервала между возбуждающими импульсами происходил спад среднего значения интенсивности эхо-сигналов. На экране компьютера строилась кривая изменения среднего значения интенсивности эхо-сигналов от времени отсчета. С учетом скорости равномерного изменения временного интервала между возбуждающими импульсами полученная кривая легко преобразовывалась в зависимости спада интенсивности эхо-сигнала от увеличения этого временного интервала.

**3. Обсуждение результатов.** При установке фотодетектора в направлении $\vec{k}_{ПФЭ1} = 2\vec{k}_2 - \vec{k}_1$ были зарегистрированы зависимости величины средней мощности эхо-сигнала от временного интервала между возбуждающими импульсами для имеющихся образцов. На рис.1 показаны быстрый и медленные спады ПФЭ.

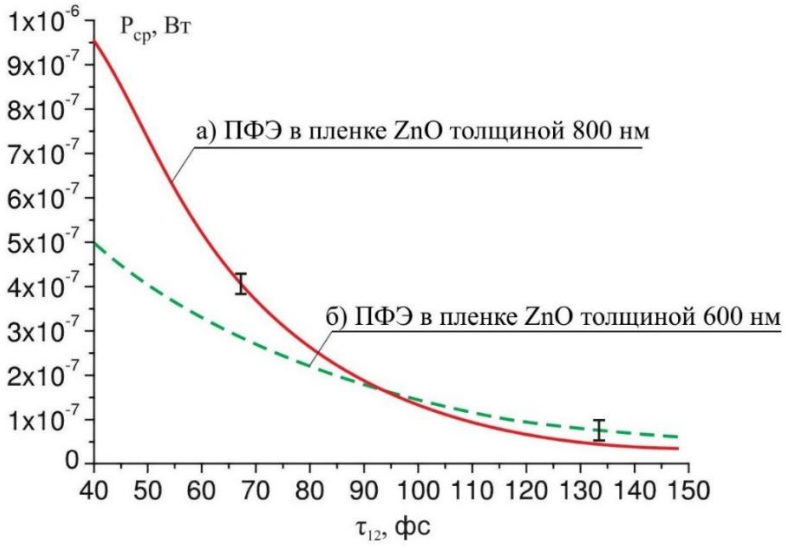



**Рис. 1.** Зависимости величины средней мощности эхо-сигнала от временного интервала между возбуждающими импульсами для имеющихся образцов: а) ZnO толщиной 800 нм б) ZnO толщиной 600 нм.

Длительное время спада эхо-сигнала связано со значительной плотностью дефектных состояний, выполняющих роль квантовых ям для локализовавшихся экситонных состояний. Локализация экситонов, также, как и процессы рассеяния, уменьшают объем когерентности экситона [12,13]. В условиях локализации на распад экситонных состояний преимущественное влияние оказывают экситон-фононные взаимодействия, характеризующиеся менее интенсивными взаимодействиями. Для нелокализовавшихся экситонов будет характерна большая скорость излучательной рекомбинации экситонов, связанную с сильным свето-экситонным взаимодействием оптических экситонов, можно объяснить когерентным излучением большого сфазированного набора экситонов.

Данные особенности проявляются медленными и быстрыми компонентами на спаде сигнала фотонного эха. Наиболее ярко выраженный характер спада зарегистрированного эхо-сигнала, имеющего две компоненты, отвечающие, соответственно, за быстрый и медленный спад, имела зависимость для оксида цинка. Наиболее длинным спадом характеризуется тонкая текстурированная пленка ZnO толщиной 600 по сравнению с пленкой 800 нм. Данная особенность связана с уменьшением плотности кванторазмерных объектов в виде экситонов,

локализованных на поверхностных дефектах этой пленки. Тем самым ПФЭ впервые применено для исследования ранее зарегистрированного факта увеличения концентрации точечных дефектов и дислокаций по мере уменьшения толщины пленки, продемонстрированного ранее на примере пленок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на сапфире, изготовленных методом магнетронного распыления: от $1{,}2\cdot10^{-19}$ см$^2$ у пленки толщиной 0,8235 мкм до $2\cdot10^{-19}$ см$^2$ у пленки толщиной 0,093 мкм [14].

4. **Заключение.** Установлено наличие двух компонент зависимости спада первичного фотонного эха (быстрого и медленного спада), возбуждаемого в тонких текстурированных пленках оксида цинка. Характер этих компонент связан с размерами кристаллических волокон, формирующих текстуру пленок. Наиболее ярко выраженный характер спада зарегистрированного эхо-сигнала, имеющего две компоненты, отвечающие, соответственно, за быстрый и медленный спад, имела зависимость для оксида цинка. Из этих кривых следует, что структура пленок ZnO имеет наиболее выраженную дефектную структуру, в которой влияние фононов на спад сигнала ПФЭ наиболее существенен.

**Список литературы**

[1] Матаре, Г. Электроника дефектов в полупроводниках // Пер. с англ. М.:Мир, 1974. – 464 с.

[2] Рейви, К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии //Пер. с англ. М.: Мир, 1984. – 472 с.

[3] Зайцев Н.А. // М.:Радио и связь, 1993 . 192 с.

[4] Белянин А.Ф., Самойлович М.И. // М.: Техномаш. 2008.

[5] Но С.-Н. // Optics Express. 2010. Vol. 18, №.16. P. 16360-16369.

[6] Li D., Leung Y.H., Djurisic A.B. // Appl. Phys. Lett. 2004. N 85. P 160

[7] Степанов С.А. // Материалы Седьмой международной научной школы «Наука и инновации – 2012». Йошкар-Ола: МарГУ 2012. С. 90-93.

[8] Talapin, D.V., Lee J.S., Kovalenko M.V. et al. // Chemical Reviews. 2010. Vol.110. №1. P. 389.

[9] Чернов А.А. // Кристаллография. 1971. Т. 16. Вып. 4. С. 842 .

[10] Оболенский С.В. // Труды 2-го совещания по проекту НАТО SfP–973799 Semiconductors. 2002. Нижний Новгород. С. 155.

[11] Кабышев А.В., Конусов Ф.В. // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 7. С. 48.

[12] Feldmann J. et al. // Phys. Rev. Lett. 1987. Vol. 59. P. 2337.

[13] Kavokin A. V. // Phys. Rev. B. 1994. Vol. 50. P. 8000.

[14] Гольман Е.К. // Журнал технической физики. 1999. том 69. вып. 9. С. 132-136.

# ПРИМЕНЕНИЕ БИНАРНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В ШИРОКОПОЛОСНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

**А.Н. Леухин**

*Марийский государственный университет,*
*424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1*

e-mail: leukhinan@list.ru

Концепция широкополосных сигналов нашла широкое применение в системах радиолокации, гидролокации, радионавигации, беспроводной связи, синхронизации, измерительных системах, системах диагностики, радиодальномерных системах, в медицинской технике, в криптографических системах защиты информации, при моделировании и имитации физических процессов, при математическом моделировании случайных процессов, в беспилотных транспортных системах, в системах определения «свой-чужой», в системах автоматики и телемеханики, в радиоастрономии, при помехоустойчивом кодировании в цифровых системах хранения и передачи информации. Приведенный список позволяет лишь частично обозначить круг решаемых задач с использованием сложных сигналов.

Во многом современные успехи в сфере высоких информационных технологий обусловлены достижениями в области развития теории построения, анализа и обработки широкополосных сигналов. Например, на базе широкополосных сигналов развиваются стандарты передачи цифровых потоков данных по радиоканалам Wi-Fi: IEEE 802.xx, технологии построения сетей передачи информации в мобильных системах множественного доступа с кодовым разделением каналов 3G, 4G и 5G, в системах спутниковой навигации GPS и ГЛОНАСС.

В системах с кодовым разделением каналов CDMA используются бинарные последовательности, построенные на основе ортогональных функций Уолша. Для разделения сигналов вводятся дополнительные короткие коды, которые состоят из двух различных бинарных псевдопоследовательностей PN-I и PN-Q. Эти бинарные последовательности формируются как М-последовательности периода $N = 2^{15} - 1$ с введенным дополнительным нулем в отрезок из 14 последовательных нулей. Применяется 512 циклически сдвинутых на 64 кодовых интервалов относительно предыдущих последовательностей, чем и обеспечивается распознавание различных базовых станций. Также используется еще одна псевдослучайная последовательность – длинный код, построенный на основе М-последовательности длины $N = 2^{42} - 1$ с дополнительным нулем в отрезке из 41 последовательных нулей. Различные, специфические для каждого пользователя временные сдвиги длинного кода используются в прямом канале для шифрования потока данных, а в обратном канале для CDMA-разделения множественного сигнала.

В стандарте IEEE 802.xx для передачи данных на скорости 1 Мбит/с и 2 Мбит/с используется код Баркера длины $N = 11$. Для передачи единичного и нулевого символов сообщения используются соответственно прямая и инверсная последовательности Баркера. Для работы на скоростях 5,5 и 11 Мбит/с вместо шумоподобных последовательностей Баркера применяются 64 различных комплементарных унимодулярных бинарных последовательностей, каждая длиной $N = 8$ кодовых элемента. Дальнейшее увеличение скоростей передачи информации в сетях Wi-Fi связано с различными видами модуляции кодовых последовательностей и множественным вводом/выводом MIMO.

В системе глобальной спутниковой навигации GPS используются два дальномерных кода: С/А-код грубого поиска, модулирующий верхнюю несущую L1 и Р-код точного поис-

ка, модулирующий нижнюю несущую L2. C/A-код есть последовательность Голда длины $N = 1023$. Периодически повторяемые последовательности Голда постоянно передаются спутниками на частоте $L1$. P-код формируется посимвольным сложением по модулю 2 двух сверхдлинных бинарных последовательностей, отличающихся по длине на 37 чипов. Период получаемой последовательности составляет порядка 266 дней. Неперекрывающиеся 7-суточные ($6{,}187104 \cdot 10^{12}$ чипов) сегменты этой последовательности приписаны как P-коды различным спутникам. Криптозащита P-кода реализована его суммированием по модулю 2 с ключом в виде W-кода, структура которого не разглашается. При этом следует отметить, что задач построения оптимальных бинарных последовательностей с наименьшим возможным уровнем боковых лепестков по-прежнему является не решенной задачей. На практике используются наилучшие из известных на сегодняшний день бинарные последовательности с низким уровнем боковых лепестков автокорреляционной и взаимнокорреляционных функций.

Проблема поиска бинарных последовательностей с низким уровнем боковых лепестков апериодической автокорреляционной функции является одной из сложных вычислительных задач дискретной оптимизации и внесена под номером 005 в библиотеке CSPLib [1].

Известны следующие наилучшие результаты в области построения оптимальных бинарных последовательностей с наименьшим уровнем энергии боковых лепестков [2]. Разработанный глобальный алгоритм исчерпывающего поиска имеет сложность $O\left(1.73^N\right)$. Найдены все оптимальные MF (merit factor) бинарные последовательности длин $N \le 66$, найдены все оптимальные MF бинарные последовательности со свойством skew-symmetric для длин $N \le 119$.

Известны следующие наилучшие результаты в области построения оптимальных бинарных последовательностей с наименьшим уровнем максимального бокового лепестка [3]. Разработанный глобальный алгоритм исчерпывающего поиска имеет сложность $O\left(1.79^N\right)$ для последовательностей с уровнем боковых лепестков $PSL = 4$. Найдены все оптимальные MPS (minimum peak sidelobe) минимаксные бинарные последовательности длин $N \le 82$. Поиск бинарных последовательностей проводился в сети распределенных высокопроизводительных вычислений MarGrid [4] с обшей производительностью более 100 триллионов операций в секунду над 64 битным словом. Вычислительные ресурсы спроектированной системы включают 3000 ядер CPU на локальных вычислителях, 3000 ядер CPU на вычислительных кластерах и 3584 ядер GPU на графических процессорах. Отметим, что в результате проведенного исчерпывающего поиска установлено, что в диапазоне длин $N = 83{,}84{,}85$ бинарных последовательностей с уровнем боковых лепестков $PSL = 4$ не существует. На сегодняшний день осуществляется исчерпывающий поиск оптимальных минимаксных последовательностей для длин $N = 86$ и $N = 88$ с уровнем боковых лепестков $PSL = 5$.

Результаты решения данной задачи на квантовом компьютере представлены в работе [5]. Используя 512-ти кубитный квантовый компьютер D-Wave 2 в Lockheed Martin Advanced Technology Laboratory разработчикам удалось построить бинарные последовательности с наименьшим известным на сегодняшний день уровнем максимального бокового лепестка в диапазоне рекордных длин от 100 до 426 бит включительно. Однако отметим, что уровень боковых лепестков автокорреляционных функций найденных последовательностей примерно в 2 раза выше известных теоретических границ.

Из краткого обзора последних результатов в области построения бинарных последовательностей и из применения на практике можно сделать следующие выводы. Бинарные последовательности играют огромную роль в современных информационных технологиях двойного назначения. В виду их неоспоримого значения для практических приложений на поиск оптимальных бинарных конструкций произвольных длин ввиду отсутствия аналитических решений затрачиваются значительные вычислительные ресурсы во всем мире. Однако

задача поиска оптимальных бинарных последовательностей длин превышающих 1000 бит на сегодняшний день является чрезвычайно сложной даже для теоретического квантового 1024-ти кубитного квантового компьютера.

Семейство найденных оптимальных бинарных последовательностей представляет безусловный интерес для разработчиков информационных систем, построенных на концепции широкополосных сигналов.

**Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Минобрнауки России (договор № 02.G25.31.0204) в рамках реализации Постановления Правительства РФ № 218, РФФИ в рамках научного проекта № 15-07-99514 и в рамках госзадания Минобрнауки РФ (задание №2014/81, проект №1856).**

**Список литературы**

[1] CSPLib: A problem library for constraints. www.csplib.org.
[2] T. Packebusch, S.Mertens. Law autocorrelation binary sequences//Journal of Physics A; Mathematical and Theoretical, V.49, N.16, 2016.
[3] A.N.Leukhin, E.N.Potekhin. A Bernasconi model for constructing ground-sate spin systems and optimal binary sequences.
[4] http://hpc.marsu.ru
[5] G.E. Coxson, C.R. Hill, J.C. Russo. Adiabatic quantum computing for finding low-peak-sidelobe codes// High Performance Extreme Computing conference, IEEE7, pp.3910-3916.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

**Леухин В. Н., Стрелков И. А.**

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

Проанализированы возможные подходы для снятия АЧХ трансформаторов с дальнейшей передачей результатов в компьютер. Разработан измерительный комплекс для диагностирования состояния изоляции трансформаторов.

Possible approaches for removal of the AFR transformers with further transfer of results into a computer. Developed measuring system for transformer insulation condition diagnosis.

**1. Введение.** Диагностирование изоляции силового трансформатора ориентировано на определение общего состояния изоляции, обусловленного его естественным старением при длительном воздействии различных эксплуатационных факторов. Существующие методы определяют состояние изоляции зачастую выборочно, только для части ее объема и тем самым не могут характеризовать ее состояние в целом. Нужно отметить также, что с наличием многообразия методов контроля появляются противоречивые суждения о состоянии изоляции.

**2. Цель работы.** Обеспечение работоспособности силовых трансформаторов 10/04 кВ путем разработки автоматизированных технических средств диагностики изоляции для выявления дефектов на ранней стадии их возникновения**.**

**3. Решаемые задачи.**

Определить и теоретически обосновать диагностические признаки дефектов внутренней изоляции и витковых замыканий в обмотках трансформаторов исследованием в режиме высокочастотного зондирования.

Разработать автоматизированные средства диагностирования состояния внутренней изоляции силовых трансформаторов. Оценить технико-экономическую эффективность разработанных средств диагностирования.

**4. Интерпретация результатов.** Входящие в состав трансформатора низковольтная (НН) и высоковольтная (ВВ) обмотки, разделенные слоем твердой изоляции и трансформаторного масла, образуют LC-контуры. Аналогично могут быть представлены схемы замещения витков, слоев, катушек, а также обмотки в целом. Указанные схемы замещения могут содержать различные комбинации из составляющих R, L, C элементов в зависимости от частоты напряжения.

Существуют следующие схемы замещения обмоток трансформаторов, представленные на рис.1 [1]. Если преобразовать полные схемы замещения обмотки, состоящей из элементарных LC контуров и свести ее к каскадам четырехполюсников, то каждый из них будет несимметричным, поскольку для каждого четырехполюсника индуктивности и емкости определяются следующими функциями:

$$L=F_1(x) \quad (1)$$

$$C=F_2(x;\ \varepsilon_{экв}) \quad (2)$$

$$K=F_3(l;\ \varepsilon_{экв}) \quad (3)$$

где x – радиус витка, слоя, катушки; $l$ – высота витка, катушки, обмотки; $\varepsilon_{экв}$ – диэлектрическая постоянная жидкой и твердой составляющей изоляции, которая постоянна для одного из состояний изоляции.

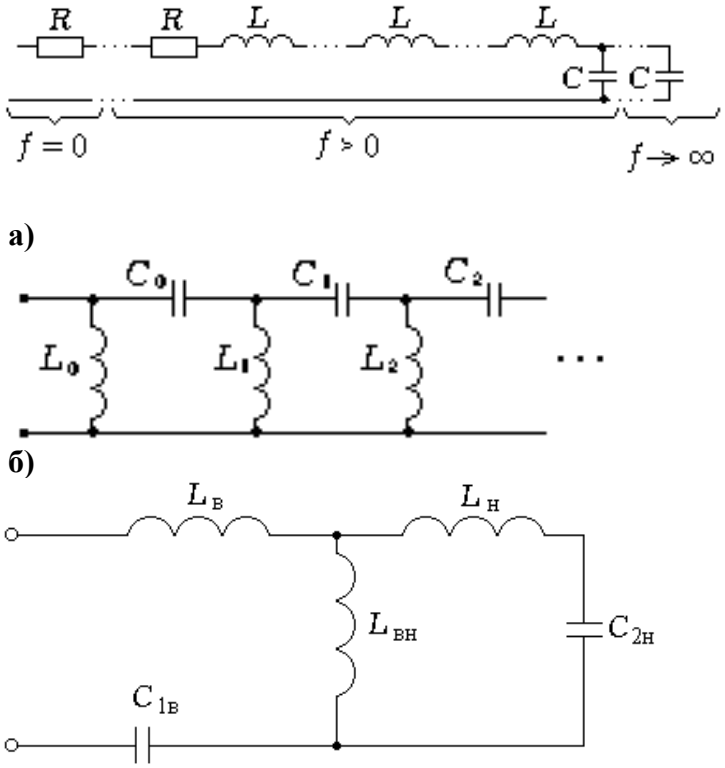



**Рис. 1.** Схемы замещения обмоток:
а) для слоя обмотки в зависимости от частоты;
б) схема замещения с распределенными параметрами;
в) схема замещения с сосредоточенными параметрами.

Произведен расчет слоевых емкостей, индуктивностей и собственных частот для трансформатора ТМ 250-10/0,4 кВ, которые составили: Ссл = 2400 нФ, Lсл = 39 мГ. По формуле вычислена угловая частота

$$\Omega_I^B = \frac{\pi^2}{\sqrt{(N \cdot L_{вн} + L_в) \cdot C_в}} = \frac{3{,}14^2}{\sqrt{\left(\frac{1860}{204} \cdot 0{,}051 + 0{,}072\right) \cdot 3270 \cdot 10^{-12}}} = 0{,}237 \cdot 10^6$$

и резонансная частота обмотки

$$f_I^B = \frac{0{,}237 \cdot 10^6}{2 \cdot 3{,}14} = 37{,}7 \cdot 10^3$$

Полученные расчетные данные в достаточной степени согласуются с измеренными значениями АЧХ трансформатора (рис. 2).

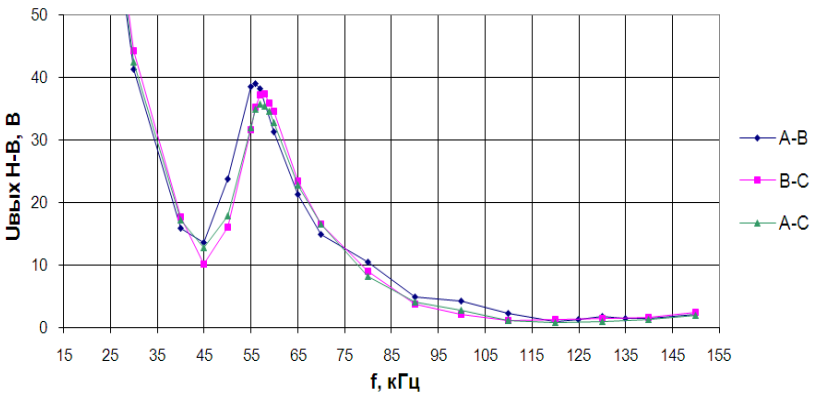



**Рис. 2.** АЧХ трансформатора ТМ-100-10/0,4 кВ

Для реализации метода средства диагностирования должны содержать такие элементы, как генератор синусоидальных колебаний, работающий в диапазоне 30 – 180 кГц, усилитель мощности, согласующий трансформатор, блок выделения отношения $U_{вх}/U_0$ или разности $U_{вх} – U_0$ входного и образцового напряжения, аналогово-цифровой преобразователь и индикатор показаний. Обобщенная структурная схема средств диагностирования приведена на рис. 3 [2].

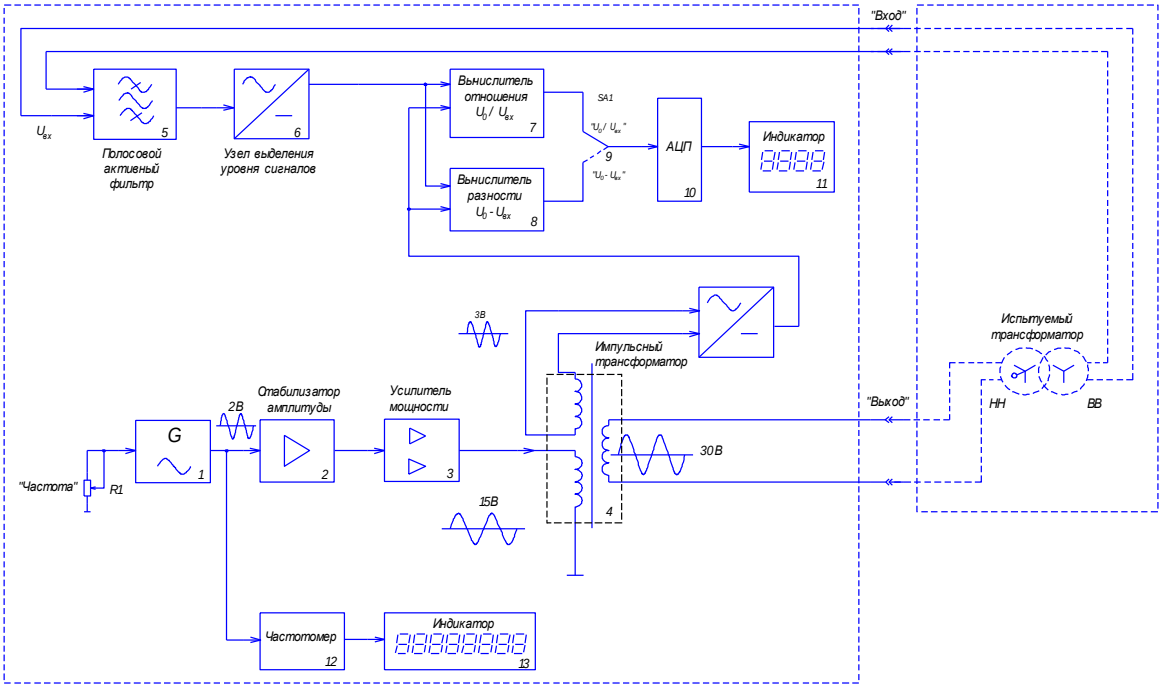



**Рис. 3.** Обобщенная структурная схема средств диагностирования

Серьезными недостатками предшествующих разработок является ограниченная дискретность и нелинейность задания частоты, необходимость ручной фиксации результатов измерений. Предложено системное решение вопроса создания средств диагностирования, обеспечивающих любую дискретизацию частоты зондирующих импульсов и возможность накопления информации по результатам замеров и передачу ее в ПК.

Поэтому были разработаны структурная (рис. 4) и функциональная (рис. 5) схемы, алгоритм работы средства диагностирования (рис. 6).

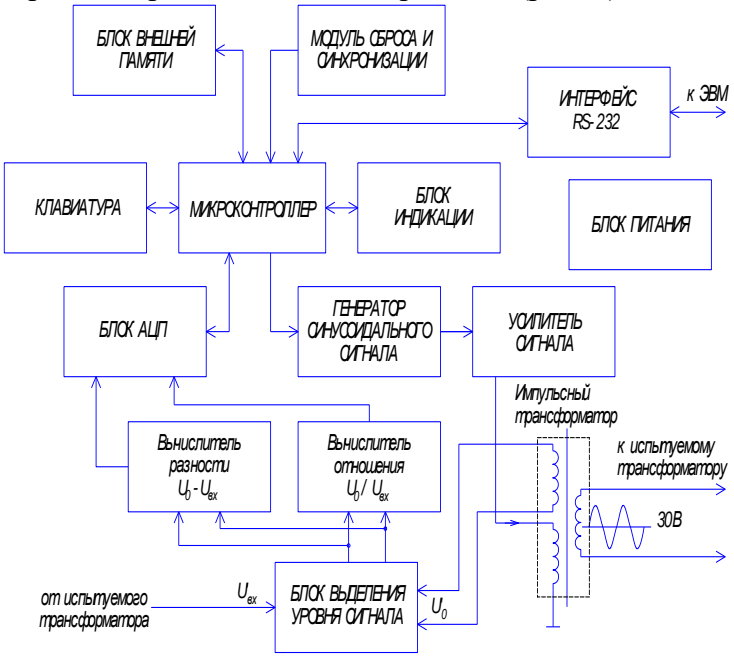



**Рис. 4.** Структурная схема устройства диагностирования

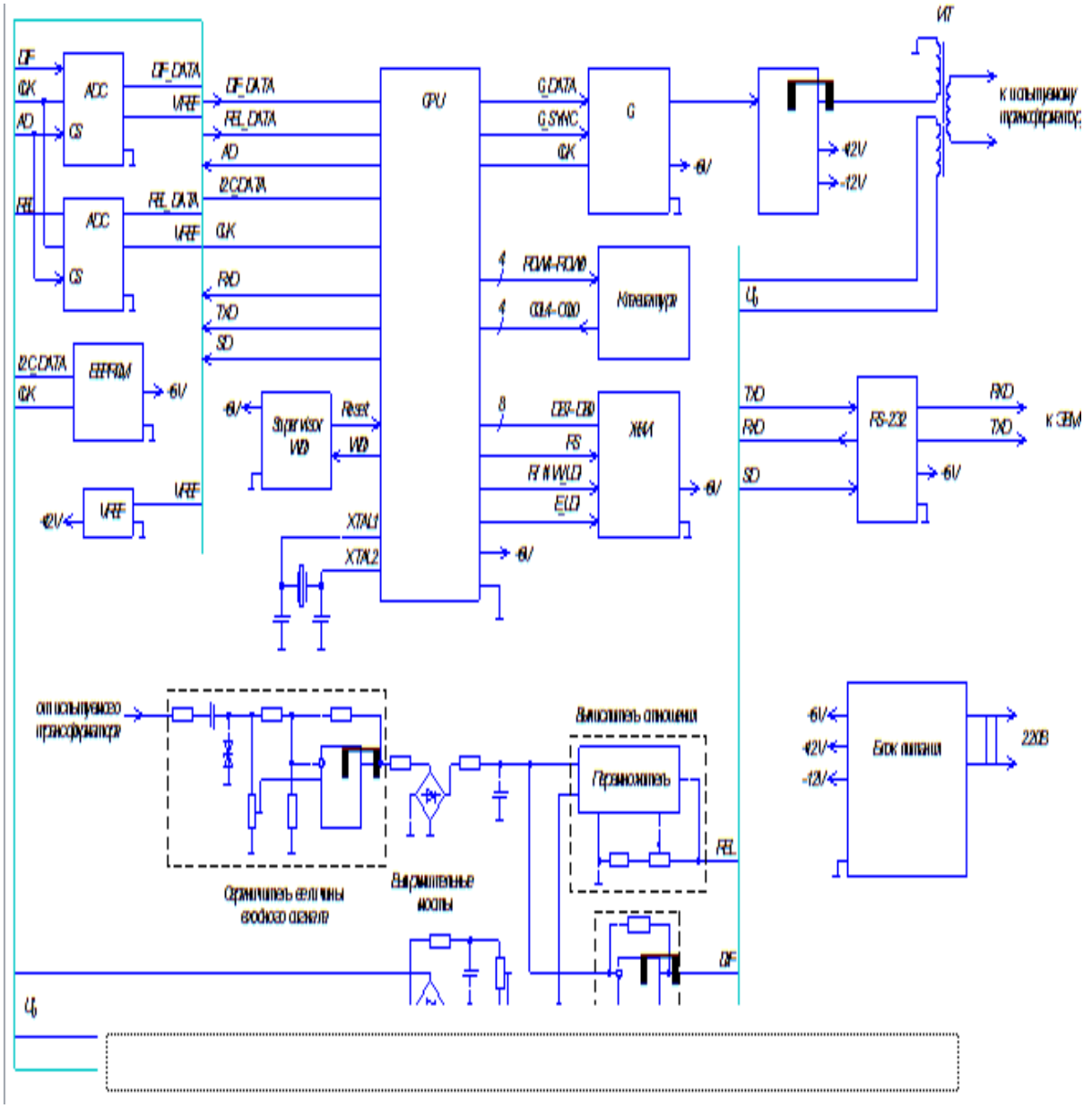



**Рис. 5.** Функциональная схема устройства диагностирования

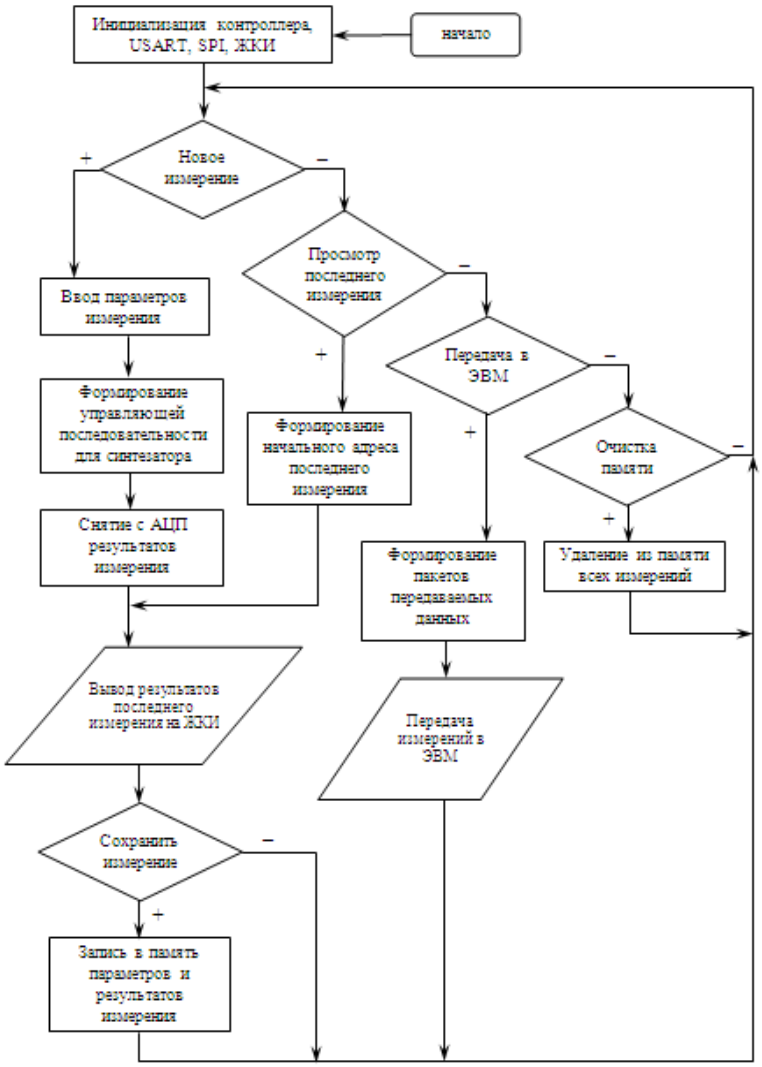



**Рис. 6.** Функциональная схема устройства диагностирования

## 5. Выводы

1. Обоснованы новые диагностические признаки - изменение значения разности амплитудных значений входного и выходного напряжения и коэффициента передачи на высоких частотах в зависимости от состояния внутренней изоляции силовых трансформаторов и установление их количественных значений.
2. Предложены новые технические решения для автоматизированного контроля за изменением состояния внутренней изоляции силовых трансформаторов.

## Список литературы

1. Пат. 2635870 РФ, МКИ4 Н 03 К 13/00. Переносное устройство для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов./Рыбаков Л. М. и др.
2. ТУ 4222-001-02069585-2005 «Средства переносные для диагностирования изоляции силовых трансформаторов».
3. Леухин В.Н., Егошин Ю.Ю., Леухин П.В. Вопросы технического диагностирования состояния силовых маслонаполненных трансформаторов методами высокочастотного зондирования // Наука в условиях современности. Сборник статей. – Йошкар-Ола, МарГТУ, 2006. – С. 148-156.

# ЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ С ИЗОБРАЖЕНИЕМ В ОПТИЧЕСКОЙ ЭХО-ГОЛОГРАФИИ

**Л.А. Нефедьев, А.Р. Сахбиева, Г.И. Гарнаева**

*Казанский федеральный университет, Институт физики*
*420008, Казань, ул. Кремлевская, 16а, Россия*
*nefediev@yandex.ru, alsu-sakhbieva@yandex.ru,guzka-1@yandex.ru*

Рассмотрена возможность использования стимулированной эхо-голограммы для реализации логической операции пересечения множеств для изображений.

The possibility of using stimulated echo hologram for implement the logical operations of intersection of the sets for images was considered.

**1. Введение.** Высокая скорость обработки информации в режиме реального времени нашла широкое применение в разных областях науки и техники. Оптическая обработка изображений является перспективным направлением в связи с возможностью параллельной и сверхбыстрой обработкой информации. В работах [1-7] впервые рассмотрены методы обработки изображений с использованием стимулированного фотонного эха.

В работе [9] было показано, что воздействие импульсов нерезонансных электромагнитных стоячих волн между возбуждающими лазерными импульсами при формировании стимулированной эхо-голограммы (СЭГ) приводит к преобразованию волнового фронта в ее отклике. В работе [10] установлено, что воздействие нерезонансных стоячих электромагнитных волн при записи СЭГ позволяет управлять изображением в отклике СЭГ.

В экспериментальных работах [1,11,12] впервые были продемонстрированы возможности СЭГ по воспроизведению, свертке и корреляции изображений, заложенных в возбуждающие лазерные импульсы. Таким образом, СЭГ позволяет записывать, воспроизводить и преобразовывать изображения.

Так как сами изображения представляют собой множества точек, то СЭГ может быть использована для осуществления логических операций с изображениями.

Для реализации логической операции пересечения множеств для изображений с помощью СЭГ в качестве множеств A, B и D берутся изображения, заложенные в первый, второй или третий возбуждающие лазерные импульсы.

**2. Фильтрация и преобразование изображений в СЭГ.** Рассмотрим формирование стимулированной эхо голограммы в случае, когда в каждый из возбуждающих лазерных импульсов заложено определенное изображение, считанное с соответствующего транспаранта.

В этом случае запишем напряженность электрического поля $\eta$ -го возбуждающего лазерного импульса в виде

$$E_\eta(\vec{r},t) = U_\eta(\vec{r})e^{i\omega t} + к.с. \quad (0 \le t \le \Delta t_\eta) \ , (1)$$

где $\Delta t_\eta$ – длительность η-го возбуждающего лазерного импульса, а $U_\eta(\vec{r})$ описывает его пространственную структуру.

Рассмотрим приближения, когда $U_\eta(\vec{r})$ можно разложить по сферическим или плоским волнам. Изображение на транспаранте будем рассматривать как совокупность точек с радиус-векторами $\vec{r}_n$. Каждая такая точка излучает сферическую волну. Совокупность волн в месте нахождения j-го оптического центра в образце с радиус – вектором $\vec{r}_{0j}$ дает величину возмущения резонансного перехода оптического центра. Тогда напряженность электрического поля объектного лазерного импульса в точке $\vec{r}_{0j}$ можно записать как

$$E_j = \sum_n A_{nj} \frac{\exp\{i\vec{k}_n(\vec{r}_{0j} - \vec{r}_n) - i\omega t + i\varphi_n\}}{|\vec{r}_{0j} - \vec{r}_n|}, \quad (2)$$

где $\vec{k}_n = \frac{\omega}{c}\vec{n}_n$, $\vec{n}_n = \frac{\vec{r}_{0j} - \vec{r}_n}{|\vec{r}_{0j} - \vec{r}_n|}$, $\varphi_n$ – начальные фазы сферических волн, причем $\exp\{i\varphi_n\}$ можно включить в комплексные амплитуды $A_{nj}$. Если $\left|\vec{r}_{0j} - \vec{r}_n\right|$ значительно больше размеров образца, то разложение (2) по сферическим волнам переходит в разложение по плоским волнам:

$$E_j = \sum_n \varepsilon_n \exp\{i\vec{k}_n\vec{r}_{0j} - i\omega t\}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_n$ – амплитуды напряженности электрических полей волн от отдельных точек объекта. Так как каждый из возбуждающих лазерных импульсов является носителем изображения, то пространственный фазовый синхронизм при формировании стимулированной эхо голограммы будет иметь вид

$$\vec{k}_{en} = -\vec{k}_{1n'} + \vec{k}_{2n''} + \vec{k}_{3n'''} \quad (4).$$

Необходимо отметить, что для получения необходимого набора волновых векторов плоских волн возможна установка перед каждым транспарантом матового стекла. Тогда, из компонент разложения поля отклика будут существовать только те, для которых оказываются ненулевыми значения амплитуд разложения полей возбуждающих импульсов, соответствующие направлениям волновых векторов, представленных на рисунках.

Пространственная структура отклика СЭГ определится выражением $I \sim EE^*$, (5)
где

$$E \approx \frac{1}{L_y L_z} \int_0^{L_y} dy \int_0^{L_z} dz \int_0^{\beta_{\max}} d\beta \int_{-\infty}^{\infty} g(\Delta) d\Delta \sin\theta_1 \sin\theta_2 \sin\theta_3 \varepsilon_1^*(\beta)\varepsilon_2(\beta)\varepsilon_3(\beta) \times$$

$$\times \exp\left\{ i \frac{4\omega^2}{c(\omega - \Delta)} \sin\left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)\left[ \sin\left(\beta + \frac{\Delta\beta}{2}\right) z + \cos\left(\beta + \frac{\Delta\beta}{2}\right) y \right] \right\} \quad (6)$$

$\theta_\eta$ – площадь η-го импульса, $\Delta\beta$ –среднее значение отличия угла от фазового синхронизма, $L_y$, $L_z$ – размер образца вдоль осей y и z в лабораторной системе координат. Выражения (5) и (6) определяют распределение интенсивности в плоскости изображения, получаемого в отклике СЭГ.

На рис. а) представлена схема возбуждения СЭГ в случае, когда в каждый возбуждающий лазерный импульс закладывается соответствующее изображение. Изображения могут быть любой формы и стиля. Главным условием является возможность представить изображение в виде бинарного изображения (чередование прозрачных и непрозрачных участков), заданного размера. В данном случае картинки представлены на рис. б). Под множествами будем понимать совокупность прозрачных точек на каждом изображении. В соответствии с рис. б), импульсу $P_1$ соответствует множество A, импульсу $P_2$ соответствует множество B, импульсу $P_3$ соответствует множество F. Следовательно, полученный отклик СЭГ $P_э$ можно представить как множество $C_1$, которое является результатмом логической операции пересечения множеств A, B и F. Модель логической операции для данного процесса имеет следующий вид: $A \cap B = C_1$. Аналогичную логическую операцию можно воспроизвести в случае, когда импульсу $P_3$ соответствует множество D. Результатом данной операции является множество $C_2$, и для него справедливо выражение $A \cap B \cap D = C_2$ (рис. б).

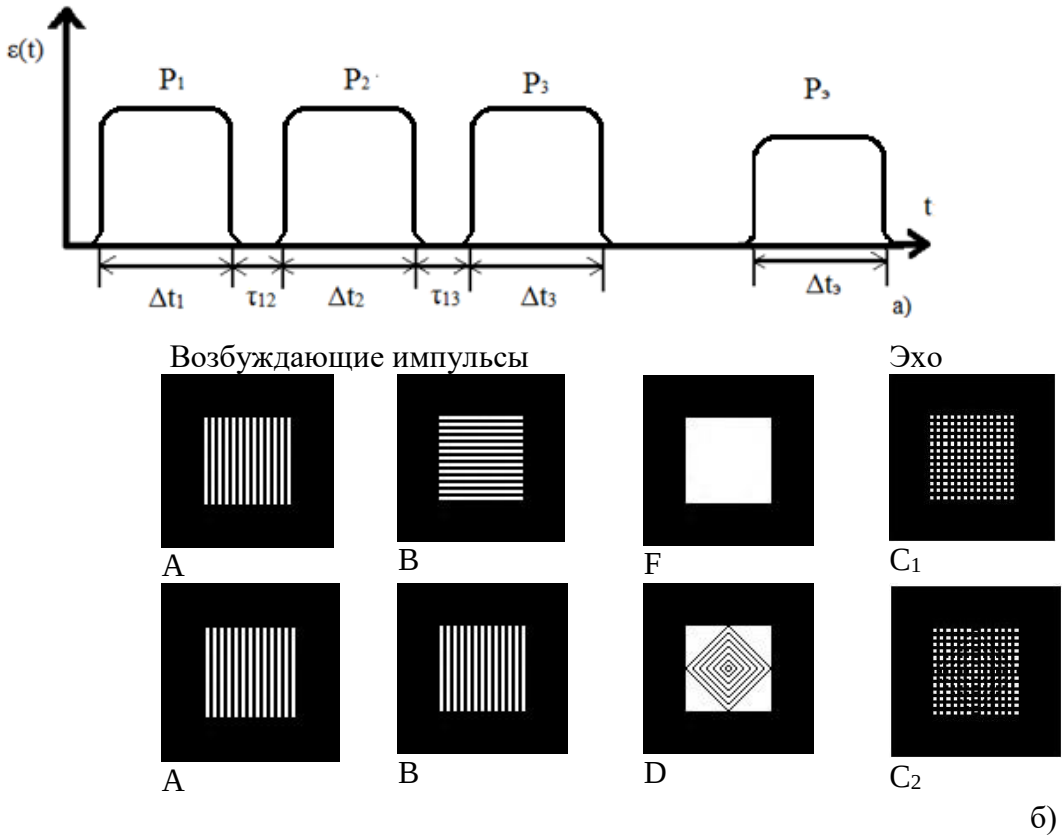



**Рис.** а) Схема возбуждения СЭГ. $P_1$, $P_2$ , $P_3$ возбуждающие импульсы, $P_e$ - сигнал эха. б) Изображения в виде множеств A, B, F, D, $C_1$, $C_2$, где $C_1$, $C_2$ являются резльтатом логической операции пересечения множеств

Данные операции справедливы как для обращенного режима записи СЭГ, так и для необращенного. Продемонстрированный способ осуществления логических операций над изображениями с помощью СЭГ дает возможность разработки логических методов обработки информации.

**Список литературы**

[1] E. Y. Xu, S. Kroll, D. L. Huestis, R. Kachru, M. K. Kim, Optics letters, **15,** 10 (1990) 562-564.
[2] A. B. Vander Lugt, **2** (1964).
[3] D.M. Pepper, J. Au Yeung, D. Fekete, and A. Yariv, Opt.Lett. **3**, (1978).
[4] J.0. White and A. Yariv, Appl. Phys. Lett. **1**, 37 (1980).
[5] S.G. Odulov and M.S. Soskin, Sov. Phys. Dokl. **25**, 5 (1980).
[6] E.G. Paek and D. Psaltis, Opt. Eng. **26** (1987) 428.
[7] L.-S. Lee, H.M. Stoll, and M.C. Tackitt, Opt. Lett. **14** (1989) 162.
[8] Е.И. Штырков, В.В. Самарцев, Электромагнитное сверхизлучение, Татполиграф, Казань (1975) 398-426.
[9] А.Р. Сахбиева, Л.А. Нефедьев, Г.И. Гарнаева. Журнал прикладной спектроскопии, **82,** 5 (2015) 792-795.
[10] G.I. Garnaeva, L. A. Nefediev, A. R. Sakhbieva. Optics and Photonics Journal, **6** (2016) 1-7.
[11] X.A. Shen and R. Kachru. Optics letters, **17,** 7 (1992) 520-522.
[12] Xiao A. Shen, An-Dien Nguyen, John W. Perry, David L. Huestis, Ravinder Kachru. Science, **278**, 3 (1997) 96-100.

# ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТОВ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ МАГНИТООПТИКИ НА ОСНОВЕ ФОТОННОГО ЭХА

**И.И. Попов[1], Н.С. Вашурин[1], С.Э. Путилин[2], А.У. Баходуров[1]**

[1]ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»
424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3
[2]ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»
197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д. 49

*E-mail: popov@volgatech.net*

В работе сообщается об первых экспериментах по обнаружению эффекта нефарадеевского поворота плоскости поляризации стимулированного фотонного эха в твердом теле при комнатной температуре и получаемой при этом спектроскопической информацией об экситонных состояниях. Сигналы фотонного эха возбуждались при комнатной температуре на экситонных состояниях, локализованных на наноразмерных дефектах тонкой текстурированной трехслойной пленки ZnO/Si(P)/Si(B), которая имела толщину каждого слоя по 100 нм. В эксперименте применена геометрия Фарадея, определяющая параллельную взаимную ориентацию волнового вектора светового излучения k и вектора магнитного поля H, которая имела толщину каждого слоя по 100 нм. В основе формирования данного эффекта лежит эффекта Зеемана. Данный эффект связан с особенностями поляризации оптических переходов и с закономерностями распространения света в среде, обладающей дисперсией. При этом происходит различное расщепления верхнего и нижнего уровней энергии системы (снятия вырождения) во внешнем магнитном поле, что является обязательным условием для формирования данного эффекта.

Впервые теоретическое этот эффект предсказан для газовых сред авторами работ [1, 2]. В этих работах показано, что при возбуждении газа, находящегося в однородном магнитном поле, тремя лазерными импульсами, подаваемыми вдоль вектора напряженности магнитного поля, происходит поворот плоскости поляризации стимулированного фотонного эха. При этом величина угла поворота плоскости поляризации стимулированного фотонного эха зависит не только от напряженности приложенного магнитного поля и g-фактора резонансной среды, как при эффекте Фарадея, но и от значения временных интервалов между возбуждающими импульсами ( $\tau_{12}, \tau_{23}$). От длины пути оптического излучения в резонансной среде величина этого поворота плоскости поляризации эхо-сигнала не зависит.

Первое экспериментальное обнаружение нефарадеевского поворота плоскости поляризации стимулированного фотонного выполнено авторами работы [3] в парах молекулярного, то есть на бесфононной спектральной линии.

Дается обзор первых теоретических работ по предсказанию и экспериментальных работ по наблюдению этого эффекта в газах. Показывается принципиальное отличие этого эффекта от эффекта Фарадея, связанного с поворотом плоскости поляризации оптических импульсов в резонансной среде под воздействием однородного магнитного поля, с иллюстрацией протекающего физического процесса на трехмерной геометрической диаграмме. Поясняются причины, почему в свое время эти работы удалось экспериментально реализовать только в газе, а также – роль экспериментов, выполненных при комнатной температуре и в нагреваемых атомарных газах. Дается ответ на вопрос, почему стало возможным наблюдение этого эффекта в твердом теле и при комнатной температуре. Большие неоднородности в спектре экситонных состояний, локализованных на поверхностных дефектах, под воздействием однородного магнитного поля позволяют возникновение экситонных переходов с различным расщеплением сверхтонкой структуры верхнего и нижнего квантовых уровней, что является

принципиальным условием возникновения эффекта нефарадеевского поворота плоскости поляризации фотонного эха. Сообщаются требования к тонкопленочной резонансной среде. Приводится методика и аппаратура, результаты обнаружения и исследования этого эффекта для стимулированного фотонного эха. Раскрываются спектроскопические возможности этого эффекта фемтосекундной магнитооптики на основе фотонного эха.

Приводятся выводы о научной и практической значимости полученных результатов о возможности создания прибора, работающего при комнатной температуре, который позволит регистрировать фемтосекундные интервалы на поляризационном принципе действия, а не на спектральном.

Демонстрируется возможность преобразования фемтосекундных временных интервалов в угол поворота вектора поляризации стимулированного фотонного эха (СФЭ), возбуждаемого на экситонных состояниях, локализованных на наноразмерных дефектах кристаллической решетки тонких текстурированных полупроводниковых пленок. Предлагаемый поляризационный подход к регистрации ультракоротких временных интервалов как минимум на порядок превосходит существующие методы, основанные на спектральном подходе, использующемся в приборах типа «Пикохрон» с разрешением до 0,5 псек. В основе нового подхода лежит эффект нефарадеевского поворота плоскости поляризации стимулированного фотонного эха [1, 2]. Этот эффект в отличие от поворота плоскости поляризации в оптически активных (киральных) средах и от фарадеевского поворота плоскости поляризации не зависит от роста концентрации активных частиц и длины пути, пройденного излучением в резонансной среде. В то же время, величина угла поворота плоскости поляризации эхо-сигнала $\varphi$ определяется типом квантового перехода и произведением амплитуды магнитного поля на время задержки между возбуждающими лазерными импульсами. Величина этого угла $\varphi$ превышает значение фарадеевского поворота на 3-4 порядка (в $10^3 – 10^4$ раз). Теоретически этот эффект для газовых сред предсказан в работе [3]. Первое наблюдение эффекта нефарадеевского поворота линейной поляризации стимулированного фотонного эха выполнено авторами работы [4]. Обзор состояния исследований по нефарадеевскому повороту плоскости поляризации сигналов фотонного эха приведен в монографии [5]. В зависимости от типа, вырожденного по магнитному квантовому числу перехода ($J^{\leftrightarrows}(J+1)$ или $J^{\rightleftarrows}J$) для молекулярных переходов это соответствует спектральным линиям P-, R или Q-типа. Для линий P-, R-типа этот поворот составляет значение порядка 14°, а для линий Q-типа, соответственно, 90° [5].

Фемтосекундная лазерная система, применявшаяся в экспериментальной установке имела следующие параметры: длительность возбуждающих импульсов – 35 фс, энергия в одном импульсе – 2 мДж, длина волны возбуждающих импульсов –780-840 нм., частота повторения – 1000 ГЦ. Выходящий из лазерной системы импульс с использованием делительного зеркала расщеплялся на три возбуждающих импульса, время прихода на пленку каждого изменялось с использованием оптической линии задержки... Мощность возбуждающих импульсов равна: для возбуждающего импульса распространявшегося в направлении $\vec{k}_1$ – 280 мВт, в направлении $\vec{k}_2$ – 184 мВт, в направлении $\vec{k}_3$ – 230 мВт. Линзой (F=15 см) все три импульса фокусировались в одну точку полупроводниковой тонкой пленки, выбранной в качестве резонансной среды, к которой прикладывалось продольное магнитное поле H (0,4 Тл). Возбуждающие импульсы подавались под углом 0,1 рад. Сформированный сигнал стимулированного фотонного эха отделялся от возбуждающих пучков диафрагмой и подавался на призму Глана, направление плоскости поляризации которой изменялось ее поворотом вокруг оптической оси эксперимента. Далее импульс фемтосекундного фотонного эха после прохождения через призму Глана поступал на фотодетектор.

Если пренебречь влиянием экситон-фононного взаимодействия на процесс формирования эхо-сигнала, то с учетом возникающей при этом погрешности, используя аналитические выражения для газа, при фиксированном значении напряженности продольного магнитного поля, составлявшем в наших экспериментах 0,4 Тл, можно оценить степень зависимости угла поворота плоскости поляризации СФЭ φ от временного интервала между вторым и третьим возбуждающими импульсами. Эта зависимость будет иметь вид функции $\varphi = f(\mathrm{arctg}\,\tau 23)$. Для исключения вклада в этот поворот временного интервала $\tau 12$ его значение принималось

равным нулю. Для положительной ветви этой зависимости с ростом временного интервала величина угла φ увеличивается, для отрицательной ветви – уменьшается. На рис.1 приведен факт обнаружения нефарадеевского поворота плоскости поляризации СФЭ в тонкой трехслойной пленке ZnO/Si(B)/Si(P). В отличие от работы [6], проведенной при гелиевой температуре с поперечным магнитным полем по обнаружению долгоживущей памяти на фотонном эхе, наш эксперимент не только выполнялся при комнатной температуре в фемтосекундном временном диапазоне, но и при продольном магнитном поле. Благодаря последнему условию и был обнаружен новый эффект.

Из рис. следует, что путем регистрации изменения угла φ, составившего 7 или 8° (в зависимости от участка функции φ = f (arctg τ23) можно определить величину временного интервала τ23, составившую 180°. Таким образом, разрешающая способность регистрации временного интервала составила не хуже 180/7 фс/градус. Применяя презизионный регистратор поляризации можно увеличить эту разрешающую способность на несколько порядков.

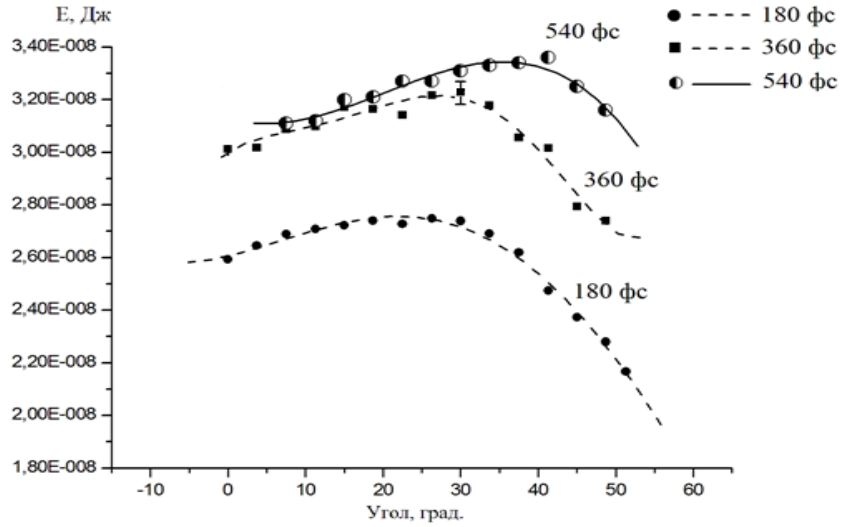



**Рис.** Исследование зависимости нефарадеевского поворота вектора в зависимости от величины временного интервала между вторым и третьим возбуждающими импульсами: при $\tau_{23}$ 180 фс угол поворота составлял 25°, при 360 фс – 32°, при 540 фс – 40°.

Практическая значимость полученных результатов заключается в формирование физических основ для возникновения уникальных технологических компетенций, позволяющих регистрировать фемтосекундные временные интервалов с разрешением от $10^{-14}$ до $10^{-16}$ с и соответствующих быстропротекающих процессов и моделировать в параметрах резонансной среды одного из параметров кватерниона при создании оптического эхопроцессора, оперирующего с числами, представленными кватернионом.

**Список литературы**

[1] И.И. Попов, Н. С. Вашурин, С.Э. Путилин, А.У. Бахадуров, С.А. Степанов Обнаружение эффекта нефарадеевского поворота вектора поляризации стимулированного фотоннного эха возбуждаемого на трионных состояниях // Матер. Десятой международной науч. Шк. «Наука и инновации – 2015» ISS «SI – 2015». – Йошкар – Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. – С. 58–61.

[2] И.И. Попов, Н.С. Вашурин, С.Э. Путилин. Нефарадеевский поворот вектора поляризации стимулированного фотонного эха в тонкой поликристаллической пленке ZnO/Si(P)/Si(B) // Учен. зап. физ. фак – та Моск. ун – та. 2015. № 4. 154338.

[3] Евсеев И.В., Ермаченко В.М., Решетов В.А.Стимулированное фотонное эхо в газе при наличии магнитного поля // Оптика и спектроскопия. – 1982. – Т.52. – №3. – С. 444–449.

[4] Bikbov I.S., Popov I.I., Samartsev V.V., Yevseyev I.V. Polarization Properties of Photon Echoes in Molecular Iodine and its Application // Laser phys.– 1995. – V.5. – №.3. – P. 580–583.

[5] Фотонное эхо и фазовая память в газах / И.В. Евсеев, Н.Н. Рубцова, В.В. Самарцев. – Казань: КГУ, 2009. – 490 с.

[6] L. Langer, S. V. Poltavtsev, I. A. Yugova, M. Salewski, D. R. Yakovlev, G. Karczewski, T., Wojtowicz, I. A. Akimov & M. Bayer Access to long – term optical memories using photon echoes retrieved from semiconductor spins/ Nature Photonics 8. – 2014. – P. 851–857.

# ОПТИЧЕСКИЕ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

**А. В. Голенищев-Кутузов, В. А. Голенищев-Кутузов, Д. А. Иванов, Г. Д. Марданов, Р. А. Хуснутдинов**

*Казанский государственный энергетический университет*
*420066, Казань, ул. Красносельская, 51*
*e-mail: alex.kutuzov@mail.ru*

Представлен обзор современного состояния физических методов дистанционного контроля и диагностики высоковольтной изоляции в процессе ее эксплуатации. Обзор частично основан на разработках и результатах, полученных на кафедре промышленной электроники и светотехники Казанского государственного энергетического университета.

**1. Введение.** Устойчивость работы современного энергетического оборудования высокого напряжения во многом определяется надежностью его изоляции. При длительном воздействии высокого напряжения, разнообразных эксплуатационных факторов и климатических условий надежность оборудования постепенно снижается, вследствие процессов старения изоляционных материалов. В результате таких воздействий происходит образование различных дефектов, приводящих к пробою и даже полному разрушению изоляционных конструкций.

Проблема надежной работы высоковольтной изоляции в процессе многолетней эксплуатации привела к необходимости проведения многочисленных исследований одновременно по нескольким направлениям: изучение электрофизических и физико-химических процессов в изолирующих материалах в условиях эксплуатации и разработки на этой основе новых или модифицированных материалов, более стойких к внешним воздействиям; создание более совершенных изолирующих конструкций; разработка новых комплексных методов контроля и диагностики технического состояния изолирующих элементов высоковольтного энергетического оборудования, в том числе и дистанционных бесконтактных методов контроля в процессе эксплуатации. Следует подчеркнуть, что в разнообразных высоковольтных энергетических устройствах (трансформаторы, вводы, изоляторы, электрические машины, кабели и прочие элементы) используются различные диэлектрические материалы, отличающиеся по своим электрофизическим свойствам и конструкционным решениям. Это обстоятельство привело и к разнообразию разработанных методов и средств контроля и диагностики высоковольтного оборудования. Так в начальном периоде исследования различных изолирующих материалов применялись обычные для физики методы изучения диэлектриков в условиях приложения высокого напряжения [1-3]. В основу разработанных методов контроля и диагностики изоляционных элементов и конструкций до начала 80-х годов XX века был положен принцип периодического проведения плановых профилактических работ с отключением высокого напряжения, а для высоковольтных изоляторов проверка состояния только на специализированных стендах с использованием регулируемых источников высокого напряжения. Этот принцип изложен в ряде монографий [4,5] и закреплен рядом отечественных и зарубежных ГОСТов [6]. Уже в 60-е годы было предложено использовать так называемые «частичные разряды» – ЧР для испытания высоковольтной изоляции.

**• Частичный разряд – локальный электрический разряд, шунтирующий часть изоляции в электроизоляционной системе. Возникает за счет повышенной концентрации напряженности электрического поля.**

**• Коронный разряд – самостоятельный электрический разряд, возникающий в резконеоднородном электрическом поле.**

**• Неоднородность изоляции – дефекты, различная структура изоляции, проводящие включения, газовые промежутки, трещины, сколы, электроды с острыми кромками.**

ЧР сопровождаются излучением коротких с длительностью (от $10^{-7}$ до $10^{-10}$ с.) электромагнитных импульсов в широком частотном диапазоне от $10^5$ до $10^{17}$ Гц и акустических импульсов в диапазоне 20 Гц - 200 кГц. Для дистанционной регистрации таких излучений были разработаны соответствующие методы, каждому из которых присущи как определенные достоинства, так и существенные недостатки. 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, сочетается с малой чувствительностью; оптические и термографические методы эффективны только при отсутствии солнечной засветки и работают в определенном температурном интервале окружающей среды. Было установлено, что определенные характеристики ЧР могут служить основой для определения дефектов и их влияния на работоспособность оборудования. С этой целью уже в конце XX века было разработано помимо контактного способа, также несколько бесконтактных способов измерения характеристик ЧР (акустический, ультразвуковой, оптический, электромагнитный). (рис 1). Главным достоинством метода ЧР является принципиальная возможность контроля и диагностики текущего состояния оборудования, находящегося под рабочим напряжением. Однако вследствие неразработанности реальных методик сопоставления характеристик ЧР с параметрами дефектов в различных видах энергетического оборудования до начала XXI века контроль дефектности изоляционных конструкций и элементов в основном выполнялся только при вводе оборудования в эксплуатацию или после обнаружения каких либо пробоев на специализированных стендах. Дистанционные методы контроля с помощью ЧР нашли применение в основном только для диагностики силовых трансформаторов и кабельных линий [7-9], в том числе газонаполненных и высокотемпературных сверхпроводящих линий [10]. Особенно это касается высоковольтных изоляторов, расположенных, как правило, высоко над землей. В этом случае до начала XXI века практически не использовались какие-либо способы дистанционной диагностики и только в начале первого десятилетия нового века были выполнены первые исследования.

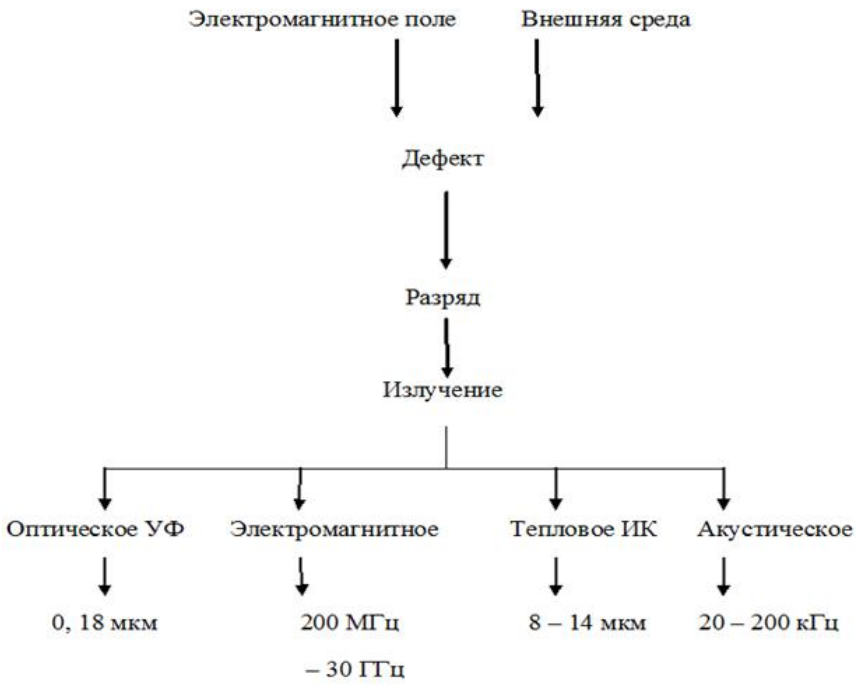



**Рис. 1.** Методы обнаружения дефектов.

## 2. Регистрация дефектов в изоляторах физическими методами

2.1 Общая характеристика методов

Зарождение дефектов в изоляции под действием электрических полей и факторов окружающей среды в процессе эксплуатации сопровождается процессом нарушения сплошности материалов и характеризуется акустическим, оптическим, электромагнитным и тепловым излучением. Именно измерения этих характеристик являются основой для различных методов регистрации начальной фазы зарождения дефектов. За исключением метода регистрации теплового излучения все другие методы: акустический, оптический и электромагнитный основаны на регистрации излучений, электрическими разрядами. Локальные электрические разряды шунтируют только часть изоляции между электродами, находящимися над разными потенциалами (по ГОСТу – частичные разряды). Возникновение ЧР происходит вследствие локального повышения напряженности электрического поля на поверхности или внутри объема диэлектрика, превышающего электрическую прочность, а также в местах с пониженной электрической прочностью. Моменты возникновения ЧР имеют стохастический (вероятностный) характер, поскольку сами ЧР являются результатом влияния эксплуатационных и природных воздействий. Возникающие ЧР проявляются в электрической цепи высокого напряжения в виде импульсов тока, а в окружающем пространстве изолятора – импульсов напряжения в широком временном интервале вплоть до $10^{-11}$ с. Длительность импульсов зависит от многих факторов: структуры материала изоляции, особенности высоковольтной структуры, размера дефекта. В твердых диэлектриках, согласно экспериментальным данным [11-12] время нарастания интенсивности до максимума составляет порядка нескольких наносекунд, а общая длительность импульса достигает десятки нс. При регистрации импульсов ЧР контактным способом [12] наблюдались две разновидности: затухающие колебательным образцом и равномерно экспоненциально.

2.2 Оптические методы контроля дефектов

Как уже отмечалось, электрические разряды на дефектах сопровождаются широким спектром электромагнитного излучения от радиодиапазона до ультрафиолетового диапазона. Характер оптического излучения весьма разнообразен. С учетом ограничений при детектировании оптических сигналов (прямой видимости объекта изучения высоковольтного изолятора, окон прозрачности атмосферы, засветки принимаемого сигнала солнечным излучением) на практике наибольшее применение для оптической локации нашли методы, использующие УФ диапазон 0,2-0,4 мкм. Именно этому диапазону соответствует максимальная интенсивность фотонов, излучаемых электрическими разрядами. Наблюдение и контроль за дефектами можно осуществлять с использованием фотоэлементов, фотоэлектронных умножителей и электронно-оптических преобразователей. В последнее время для этих же целей стали использовать матричные фотоприемники на основе полупроводниковых элементов с зарядовой связью. Высокие пространственные и временные разрешающие способности, ограниченные только дифракционной расходимостью, низкий порог чувствительности и другие достоинства УФ приемников были использованы при создании целого класса ультрафиолетовых дефектоскопов, позволяющие осуществлять в реальном времени дефектоскопию различных типов высоковольтных изоляторов под рабочим напряжением. В России к подобному типу приборов относится серия «Филин».

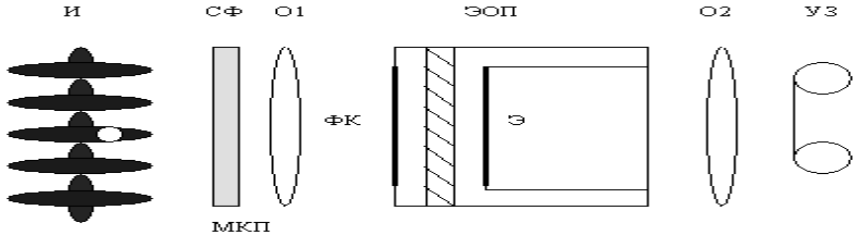



**Рис. 2.** Блок схема устройства Филин-6.

Принцип работы ЭОД иллюстрируется блок-схемой, представленной на рисунке 2. Оптические изображения изоляции (И), ПЧР и КР, проходя через светофильтр (СФ) с полосой пропускания

в коротковолновой части оптического спектра, формируются входным объективом (01) на фотокатоде (ФК) электронно-оптического усилителя света (ЭОП) с микроканальной пластиной (МКП). Оптические сигналы усиливаются более чем в 20000 раз. Так как «Филин-6» выполнен на телеобъективе из кварцевого стекла, имеющего почти 100% пропускания в УФ области спектра, причем на экране видны не только разряды, но и хорошо различимые контуры оборудования, что позволяет точно определять местонахождение дефектов.

Камеры DayCor служат для обнаружения коронных разрядов и электрических дуг в условиях дневного и ночного освещения. Высокая чувствительность и узкое поле зрения камер DayCor позволяет производить диагностику с расстояния до 150 метров. УФ камеры приспособлены для работы в условиях плохой погоды.

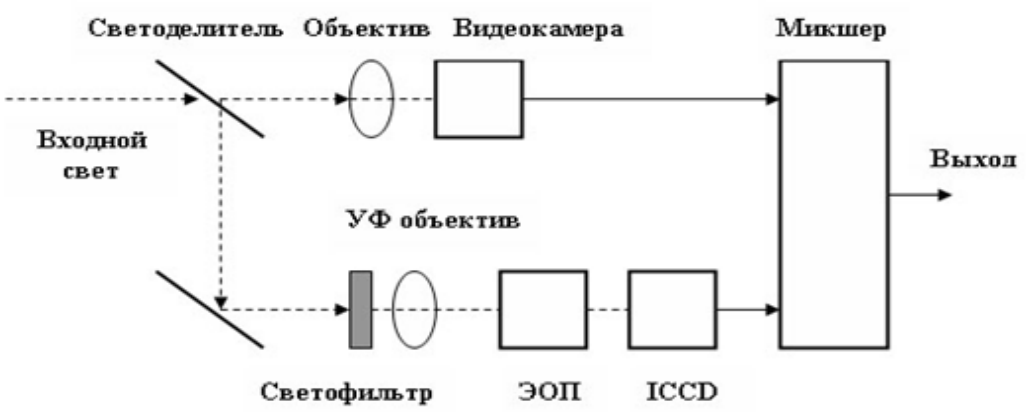



**Рис. 3.** Блок схема устройства DayCor.

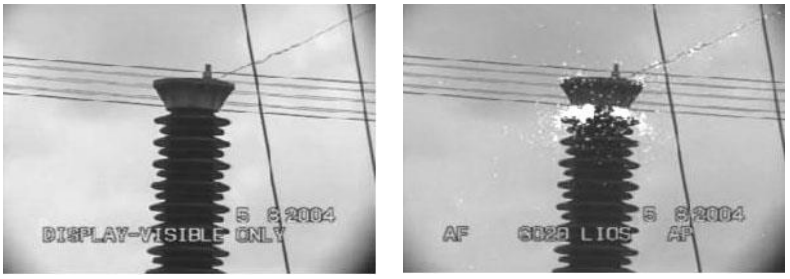


**Рис. 4.** Формирование изображения в камере DayCor.

Наблюдения за объектами могут проводиться в условиях густого тумана и мелкого дождя. Новые технологии обеспечивают надежность работы энергетического оборудования благодаря обнаружению различных дефектных участков на ранних стадиях их появления. УФ камеры DayCor позволяют легко и быстро обнаруживать местоположение источников короны, порождаемых разрядами на линиях электропередач и промышленном оборудовании. Позволяют осуществлять регулярный мониторинг полимерных, фарфоровых и стеклянных изоляторов на линиях высокого напряжения непосредственно в процессе работы. Среди зарубежных оптико-электронных приборов подобного типа следует отметить линейку приборов международной фирмы UVIRCO technologies – серия Coro CAM – позволяет выполнять исследования состояния в ультрафиолетовом и видимом диапазонах, а также сохранять в памяти полученные изображения. Трехспектральная камера Multicam позволяет регистрировать изображения в ультрафиолетовом видимом и инфракрасном диапазонах.

На рисунке 5, представлено изображение, получаемое с помощью камеры MultiCAM в ультрафиолетовом (совмещенным с видимым), тепловом и совмещенным ультрафиолетовым и инфракрасным спектрах. В последнее время усилия разработчиков направлены на разработку новых способов оптической локации в УФ диапазоне 0,2 мкм, где солнечное излучение слабее, поскольку оно эффективно рассеивается атмосферой.



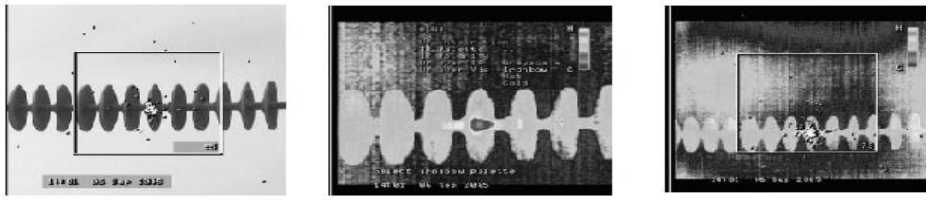


**Рис. 5.** MultiCAM

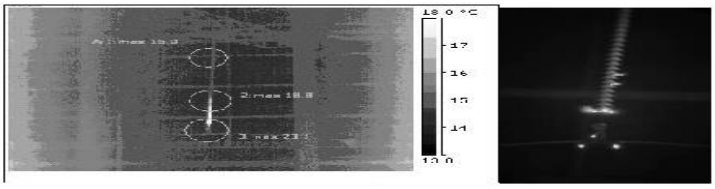
2.3. Метод контроля по тепловому излучению

Данный метод базируется на регистрации температурного (инфракрасного) излучения изоляции. Возникновение ЧР на дефектах изоляции сопровождается излучением электромагнитных волн в различных частотных диапазонах. Одновременно происходит деградация материала в области дефекта, сопровождающаяся выделением тепла и нагрева, который является объектом измерения. С учетом температуры контролируемого высоковольтного изолятора, степени увлажненности и загрязненности в определенных случаях тепловизионный метод позволяет обнаруживать дефекты с высокой разрушающей способностью (до нескольких мм) и градиентом температуры на дефекте порядка 0,05-0,2°С, причем минимальная обнаруживаемая разность температур достигнута только при работе в режиме накопления сигнала. В основу метода обработки термографической информации положен принцип определения наиболее вероятного значения температуры поверхности изолятора, поскольку в реальных условиях эксплуатация изоляторов в энергетическом оборудовании разброс температур может колебаться в пределах (+50°С - 40°С). Метод позволяет вводить критерии оценки технического состояния изоляционных элементов оборудования при различных температурах окружающей среды.




FLIR ThermaCAM S65

**Рис. 6.** Flir ThermaCAM S65



На рисунке 6, приведен пример работы тепловизора марки Flir ThermaCAM S65 при диагностике изолятора с сильной степенью повреждения со сквозной эрозией оболочки и прямым доступом влаги в изолятор. При данном повреждении условия нагрева и возникновения коронных разрядов на изоляторах могут меняться в зависимости от степени увлажнения поврежденной части изолятора за счет прямого доступа влаги. Впервые в России метод инфракрасной и ультрафиолетовой спектроскопии был применен при стендовых испытаниях снятых с эксплуатации высоковольтных полимерных изоляторов марок ЛК 70/220 и АК 120/330, имеющих дефекты [13]. Программа стендовых испытаний включала длительное приложение к изоляторам переменного напряжения, равного номинальному 220 кВ и

330кВ; соответственно, контроль состояния методами ИК и УФ спектроскопии позволил выявить области повышенного нагрева градиентами температур порядка 0,5-5°С. На следующем этапе, используя результаты лабораторных испытаний, были выполнены обследования таких же полимерных изоляторов, расположенных на находящихся под рабочим напряжением. Было установлено несколько дефективных изоляторов, нуждающихся в замене. После демонтажа осмотр поврежденных изоляторов полностью подтвердил достоверность диагностики. К недостаткам термооптической диагностики можно отнести невозможность изучения начальных дефектов изоляторов. Возможна только разбраковка изоляторов по признаку годности.

**3. Комплексный метод оперативной дистанционной диагностики**

Успешный контроль состояния изолирующих элементов высоковольтного оборудования по нашему мнению возможен только при одновременном использовании нескольких рассмотренных выше методов. Однако в настоящее время практически все выпускаемые промышленностью диагностические приборы как отечественные, так и зарубежные рассчитаны, в основном, на использование одного метода, как правило, оптического, акустического, или термографического, и которые пока нашли применение для контроля изоляции высоковольтных силовых трансформаторов и кабелей.

Таким образом, не разработанность реальных методик и отсутствие нормативных документов по контролю и диагностике рабочего состояния ВИ стало для нас главной причиной для разработки более совершенного комплексного способа оперативного контроля рабочего состояния ВИ, сочетающего одновременную дистанционную регистрацию ЧР с помощью электромагнитного и акустического датчиков, и созданной компьютерной программы [14]. Как показали предварительные исследования [15], разработанный метод способен определять необходимые характеристики ЧР и отображать их в виде распределения амплитуды и числа ЧР в зависимости от фазы рабочего напряжения и распределения их числа по интенсивности.

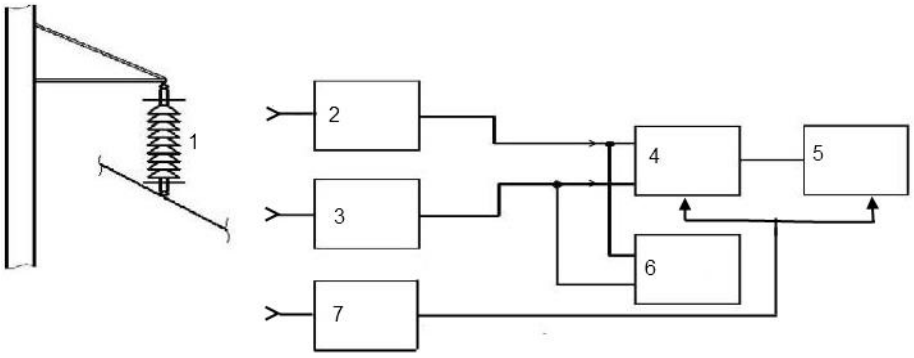



**Рис. 7.** Блок схема измерительного устройства
1 – высоковольтный изолятор; 2 – приемник электромагнитных сигналов; 3 – приемник акустических сигналов; 4 – аналого-цифровой преобразователь; 5 – персональный компьютер; 6 – двухтактный осциллограф; 7 – приемник опорного сигнала для регистрации фазы.

Регистрация электромагнитных импульсов ЧР осуществляется направленной антенной AOR LA380 соединенной с широкополосным перестраиваемым приемником AOR AR 5000A , позволяющим детектировать импульсы в интервале частот 0.5 - 600 МГц. Регистрация акустических импульсов осуществляется активной параболической антенной, соединенной с приемником 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. Далее усиленные сигналы от приемников поступают на двухканальный цифровой осциллограф DSO3062A, выполняющего функцию непосредственного отображения сигналов с электромагнитного и акустического датчиков в виде амплитудно-фазовых характеристик импульсов ЧР. 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 происходит сбор, запись, обработка информации об амплитуде, частоте повторения и фазе сигналов. Накопление сигналов

по узким фазовым интервалам (порядка 20 град.) происходит в течение 18 с, вполне удовлетворяет стохастическому характеру возникновения ЧР. Процесс обработки сигналов ЧР заканчивается построением следующих характеристик: амплитуд и числа импульсов в каждом фазовом интервале и распределения числа импульсов по амплитудам.

## Заключение

На основе проведенного анализа существующих методов и соответствующих им приборов и устройств можно сделать однозначный вывод о необходимости применения комплексного метода и соответствующего комплексного прибора, позволяющего выполнять текущий контроль и прогнозировать дальнейший срок эксплуатации высоковольтной изоляции. Приведенный пример разработки такого комплекса свидетельствует о перспективности дальнейший разработки более совершенных устройств и необходимости скорейшей разработки нормативных документов для внедрения подобных комплексов.

## Список литературы

[1] И.П. Богородцкий, Ю.М. Волокобинский, А.А. Воробьев, Б.М. Тареев, *Теория диэлектриков*. М. Энергия, (1965).
[2] В.Я. Ушаков, *Изоляция установок высокого напряжения*. М. Энергоатомиздат, (1994).
[3] Ю.Н. Вершинин, *Электронно – тепловые и детонационные процессы при электрическом пробое твердых диэлектриков*. Екатеринбург ИЭФ РАН, (2000).
[4] П.М. Сви, *Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения*. М. Энергоатомиздат, (1992).
[5] В.П. Вдовико, *Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования*. Новосибирск. Наука, (2007).
[6] ГОСТ Р55191 – 2012. *Методы испытаний высоким напряжением измерений частичных разрядов*. М. Стандартанформ. (2013).
[7] Д.В. Максудов, Е.М. Федосов, *Методы селекции сигналов частичных разрядов в изоляции силовых трансформаторов*. « Вестник УГАТУ», Уфа, Т**12** (2009) 138.
[8] J. Ramirez – Nino, A. Pascacio, *Acoustic measuring of partial discharge in power transformers*. Meas.Sci.Technol, V**20** (2009) 115108.
[9] Д.М. Левин, А.В. Самодуров, *Частичные разряды и оценка дефектов изоляции кабельных линий*. «Электро», Т**6** (2012).
[10] N. Hayakawa, R. Yamaguchi., Y. Ukai, *Partial discharges activities under AC/impulse superimposed voltage in polypropylene laminated paper system for HTS cables*. «J. Phys. Conferens Series», V**234** (2010) 32020.
[11] Pan. Ch. Meng Y., Wu K., Han Z, *Simulation of partial discharge sequences using fluid equations*. J. Phys.D Appl.Phys., V**44** (2011) 255201.
[12] D. Evagorou, A. Kyprianou, P.L. Lewin, *Feature extraction of partial discharge signals using the wavelet packed transform and classification with a probabilistic neural network*. IET Sei.Meas.Technol, V**4** (2010) 177.
[13] А.С. Гайворонский, *Повреждения полимерных изоляторов и их диагностика в эксплуатации*. « Главный энергетик », № 2, (2010) 15.
[14] А.В. Голенищев-Кутузов, В.А. Голенищев-Кутузов, Л.И Евдокимов, А.Ю. Черномашенцев. *Способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высокополимерных изоляторов*. Патент РФ № 2483315 от 26.12.2011.
[15] А.В. Голенищев-Кутузов, В.А. Голенищев-Кутузов, Г.Д. Марданов, Р.А. Хуснутдинов, И.А. Евдокимов, *Дистанционная диагностика высоковольтных изоляторов*. Дефектоскопия. №8, (2016) 75.

# ПРИМЕНЕНИЕ СОВМЕЩЕННОЙ СХЕМЫ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ И ДУГОВОГО ИСПАРЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО НИТРИДА ТИТАНА АЛЮМИНИЯ

**Н.И. Сушенцов, С.А. Степанов, Д.Е. Шашин**

ФГБОУВПО «Поволжский государственный технологический университет»
*г. Йошкар-Ола, ул. Ленина 3.*

Предлагаемый проект направлен на решение научно-технических задач формирования многокомпонентных пленок нанокристаллического строения различного назначения, обладающих заданным стехиометрическим составом и свойствами. А также изучению их физических свойств. Универсальная установка магнетронного распыления и дугового испарения позволяет получать огромное количество возможных комбинаций отдельных компонентов в формируемом пленочном покрытии, а также комплексные соединения на их основе. Интеграция различных методов формирования пленочных покрытий в одном технологическом цикле позволяет вести формирование пленок в автоматизированном режиме с большим набором технологических схем, что облегчает оптимизацию технологического процесса.

**1. Введение.** При изготовлении функциональных покрытий на основе пленок нитрида алюминия (AlN), нитрида титана (TiN) и комплексных соединений на их основе методом магнетронного распыления и дугового испарения, требуется контроль структурных, функциональных, физических и механических параметров этих пленок. Это связано с тем, что на процессы формирования пленок помимо контролируемых параметров технологического процесса влияют еще и неуправляемые и неконтролируемые факторы. В настоящее время ведутся работы в направлении исследования влияния управляемых и контролируемых факторов технологического процесса формирования пленок на их свойства, тогда как влиянием неуправляемых и неконтролируемых факторов пренебрегают.

Для контроля каждой из групп параметров пленок существуют свои методики, требующие применения специализированных приборов. Кроме того, некоторые методики довольно сложны для их применения в условиях реального производства.

Для исследования кристаллического строения поликристаллических тонких пленок применяются методы дифракционного анализа. Они же, как правило, используются и для химического контроля состава покрытия. Не редко дополнительно требуется спектральный анализ вещества или другие методы определения химического состава пленок. Однако методы рентгеноструктурного анализа не нашли широкого применения в производственных условиях. Кристаллическое строение пленки можно контролировать косвенно по электрическим, механическим и функциональным характеристикам пленок. Эти же методы контролируют функциональные параметры покрытия.

**2. Методика эксперимента.** Многослойное покрытие формировалось в следующих условиях. Материал подложки – нержавеющяя сталь (12Х18Н10Т). Подложка вращается на планетарном механизме. Перед процессом напыления производится очистка образцов в плазме тлеющего разряда при напряжении 950В. и 0.5А. Основные параметры процесса напыления пленки представлены в таблице 1.

**Таблица 1.**

Технологические режимы процесса напыления образцов

| Образец | Метод получения | Давление в камере | Газовая смесь | Параметры источника питания магнетрона | Параметры источника электрического смещения | Время напыления |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M1 AlN | Магнетронное распыление (М.Р.) | 1Pa | Ar/N = 50% / 50% | U=300В; I=6,5А; | U=105В; I=1А; | 30 мин. |
| M2 TiN | Дуговое испарение Д.И.) | 0,4 Pa | N = 100% | | U=150В; I=3А; | 30 мин. |
| M3 TiAlN | М.Р. + Д.И. | 1Pa | Ar/N = 80% / 20% | U=300В; I=6А; | U=200В; I=1.8А; | 30 мин. |
| M4 TiAlN | М.Р. + Д.И. | 1Pa | Ar/N = 60% / 40% | U=300В; I=6,5А; | U=200В; I=1.8А; | 30 мин. |
| M5 TiAlN | М.Р. + Д.И. | 1Pa | Ar/N = 40% / 60% | U=300В; I=6,5А; | U=200В; I=1.8А; | 30 мин. |

**3. Результаты исследований плёнок.** Метод определения микротвердости предназначен для оценки твердости очень малых (микроскопических) объемов материалов. Его применяют для измерения твердости мелких деталей, тонкой проволоки или ленты, тонких поверхностных слоев, покрытий и т. д. Главное назначение – оценка твердости отдельных фаз или структурных составляющих сплавов, а также разницы в твердости отдельных участков этих составляющих. Глубина вдавливания индентора при определении микротвердости составляет несколько микрометров и соизмерима с глубиной получаемого в результате механической шлифовки и полировки наклепанного поверхностного слоя. Поэтому методика удаления этого слоя особенно важна.

На микротвердость пленок влияют следующие основные факторы:
- пластическая деформация пленки;
- силы сцепления между атомами;
- кристаллическое строение пленки;
- сжимающие напряжения в пленках в процессе их формирования.

В области величин размеров кристаллитов менее 100 нм, к которому относятся поликристаллические пленки AlN и TiAlN, полученные методом магнетронного распыления и дугового испарения, наиболее существенным фактором, влияющим на твердость пленки, является кристаллическое строение пленки.

Для определения микротвердости системы пленка AlN/подложка были проведены измерения микротвердости [3], комбинированные с методами сканирующей зондовой микроскопии. Микротвердость измерялась методом Виккерса на микротвердомере ПМТ-3 [4, 5]. Так как определение длины диагонали отпечатка алмазной пирамидки на изображении, полученном с помощью зондового сканирующего микроскопа Ntegra Prima, связано с погрешностью вносимой оператором (±20%), а определение глубины является более точным (±5%), то использовался следующий метод: по изображению поверхности определялась глубина следа, оставленного индентором в системе пленка/подложка. По полученной глубине уже на изображении самого индентора определялась его диагональ.

Микротвердость определялась по формуле [4]:

$$HV = 0.189\frac{P}{D^2}, \qquad (1)$$

где $P$ – давление на индентор, Н;

$D$ – длина диагонали отпечатка от индентора, мм.

На рисунках 3-4 представлены изображения двух образцов поверхности пленок, полученные методом СКМ после надавливания пирамидокой. Изображения остальных пленок аналогичны. Масса пирамидки 50гр., время надавливания 10сек.

**Таблица 2.**

Результаты измерения микротвердости полученных образцов.

| № образца | HV, Па | d1(нм) | d2(нм) |
|---|---|---|---|
| M1 | 426 | 15 | 14,5 |
| M2 | 362 | 16 | 16 |
| M3 | 472 | 17,2 | 17,7 |
| M4 | 413 | 16 | 14 |
| M5 | 626 | 13 | 11,4 |

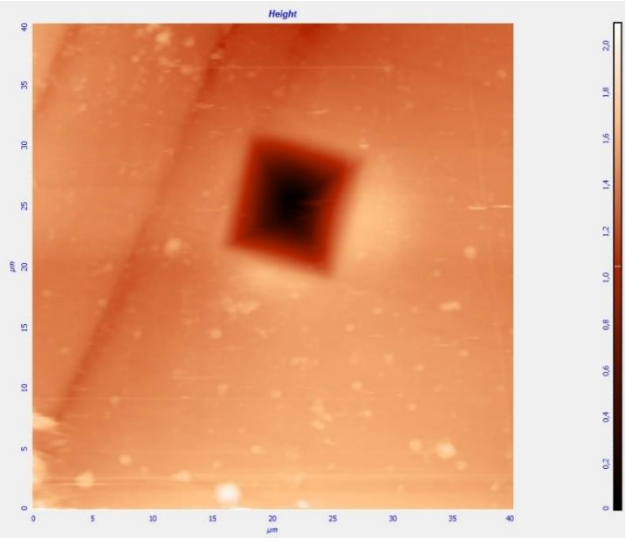



**Рис. 1.** Изображение поверхности образца М1.

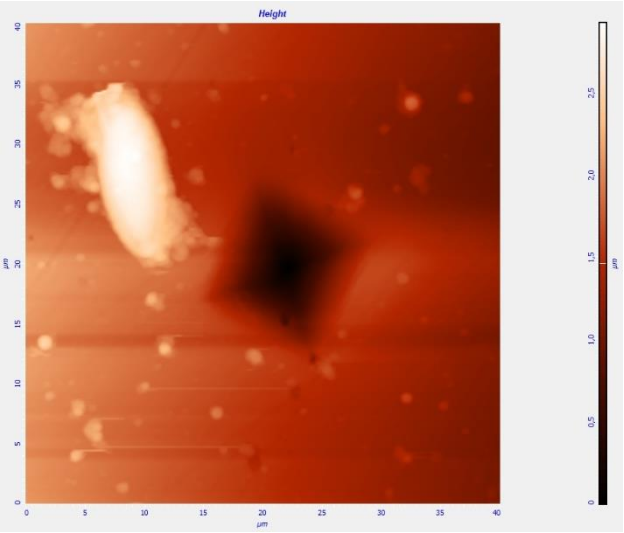



**Рис. 2.** Изображение поверхности образца М2.

## Выводы

Разработана методика формирования комплексного нитрида титана алюминия при совмещенной схеме магнетронного и дугового испарения. Получены вольтамперные характеристики источников питания магнетрона и влияние на них работы дугового испарителя. Проведены эксперименты по получению различных образцов TiAlN и измерению микротвердости. Разработана и опробована новая методика измерения микротвердости при помощи сканирующего зондового микроскопа.

## Список литературы

[1] С.А. Степанов, Н.И. Сушенцов Автоматизированная установка магнетронного распыления для нанесения тонких плёнок в микро и нано электронике // Матер. VIII международной науч.-техн. конф. «Вакуумная техника, материалы и технология» / под ред. С.Б. Нестерова. – Москва: НОВЕЛЛА, 2013. – 358 с.

[2] С.А. Степанов, Н.И. Сушенцов, В.Е. Филимонов. Автоматизированная установка магнетронного распыления и дугового испарения // Плёнки и покрытия – 2013: Труды 11-й Международной конференции. 6-8 мая 2013г. / Под редакцией д-ра техн. наук В.Г. Кузнецова. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 350с.

[3] Колмаков, А.Г. Влияние магнетронного покрытия Mo-46%Re на эволюцию дислокационной структуры приповерхностных слоев молибдена при статистическом растяжении/ А.Г. Колмаков, Л.М Рыбакова, В.Ф. Терентьев // Физика и химия обработки материалов. – 1994. – №2. – С. 104–109.

[4] ГОСТ 2999-75. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу. Введ. 1.07.1976. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 30 с.

[5] Колмаков, А.Г. Методы измерения твердости / А.Г. Колмаков, В.Ф. Терентьев, М.В. Бакиров. – 2-е изд., перераб. И. доп. – Ь.: Тнтермет Инжиниринг, 2005. – 150 с. : ил. ISBN 5-89594-111-7.

# РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТКС РЕЗИСТОРОВ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОМ

**М. С. Кузанян, 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: shabdarov2010@yandex.ru*

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) резисторов можно отнести к одним из важных параметров резисторов, характеризующий зависимость изменение сопротивления от температуры. Температурный коэффициент сопротивления характеризует зависимость электрического сопротивления от температуры и измеряется в кельвинах в минус первой степени ($K^{-1}$). Также он характеризует качество изготовления. Этот параметр важен и для специфических видов резисторов, которые используются как датчики температуры. В данной статье рассматривается прибор автоматизированного измерения температурного коэффициента резисторов, позволяющий ускорить процесс получения данных о ТКС. Это очень актуально для проверки большой партии резисторов, сбора и обработки результатов, и их хранение в базе данных.

The Temperature Coefficient of Resistance (TCR) of resistors can be carried to one of important parameters of resistors, characterizing dependence change of resistance from temperature. The temperature coefficient of resistance characterizes dependence of electric resistance on temperature and is measured in kelvins in minus of the first degree (K−1). Also he characterizes quality of production. This parameter is important also for specific types of resistors which are used as temperature sensor. In this article the device of the automated measurement of temperature coefficient of resistors allowing to accelerate process of data acquisition about TKS is considered. It is very urgent during the checking of big batch of resistors, collecting and processing of results and their storage in the database.

**1. Введение.** Активное развитие электронной промышленности двигается большими темпами, что ведет к росту производства электронных компонентов на 10-20%. В любом электронном устройстве резистор является самым простым и важным компонентом. Объемы мирового выпуска резисторов достигают отметки 500 млрд. шт. в год.

Резисторы применяют для создания в электрической цепи требуемой величины электрического сопротивления, обеспечивающий перераспределение и регулирование электрической энергии между элементами схемы. Использование резисторов в каждом конкретном случае зависит от типа электронной схемы. Одним из важных параметров резисторов наряду с его номинальным сопротивлением и допуском является температурный коэффициент сопротивления. Особенно важно уменьшение зависимости сопротивления от температуры для прецизионных схем, таких как аналогово-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, измерительные схемы. Поэтому необходима проверка ТКС резисторов для определения стабильности этого параметра, на который влияют различные технологические параметры в процессе изготовления.

По точности резисторы делятся на резисторы общего назначения и специальные (прецизионные и суперпрецизионные). Резисторы общего назначения используются в качестве различных нагрузок, поглотителей и делителей в цепях питания, элементов фильтров, в цепях формирования импульсов и т. п. Допускаемые отклонения сопротивления от номинального значения: ±1; ±2; ±5; ±10; ±20%. Прецизионные и суперпрецизионные резисторы отличаются высокой стабильностью параметров при эксплуатации и большой точностью изготовления (от ±0,0005 до 0,5%). Они применяются в измерительных приборах, вычислительной технике и системах автоматики [1].

В зависимости от технологии изготовления резисторы делятся на проволочные и непроволочные. Проволочным резисторам практически нет замены при производстве высокоомных прецизионных и суперпрецизионных резисторов. Такие резисторы выпускаются многими фирмами, например, «Caddock», «Vishay» и др. Поэтому проволочная технология в настоящее время используется для изготовления прецизионных и суперпрецизионных высокоомных резисторов, а также до сих пор на ее основе осуществляется производство прецизионных проволочных потенциометров, которые достаточно часто используются как датчики положения и угла [3].

В больших объемах выпускаются толстопленочные резисторы благодаря их оптимальному соотношению «цена-качество». Но из-за их большого разброса параметров необходима подгонка таких резисторов, что влияет на ТКС. Наиболее перспективный метод подгонки толстопленочных резисторов – электроискровая подгонка [2].

Также часто применяются резисторные сборки, которые состоят из 8 (или менее) резисторов в одном корпусе.

Таким образом, в условиях современной экономики важно быстро проверить качество большой партии резисторов и резисторных сборок, что может замедлить выпуск резисторов и привести к их удорожанию.

**2. Цель работы.** Разработка прибора для измерения ТКС резисторов экспресс-методом.

**3. Решаемые задачи. О**бзор существующих методов измерения сопротивления резисторов, выявление их преимуществ и недостатков. Разработка прибора измерения ТКС.

Экспресс метод заключается в частичном выполнении требований ГОСТ 21342.15-78 [3], а именно измерения производится только в положительной температурной области. Этот метод не заменяет стандартизованные методы, а служит для быстрой оценки параметров большой партии резисторов.

Измерение ТКС резисторов состоит из двух задач: измерения температуры, и измерения сопротивления.

Измерение сопротивления может быть реализовано следующими методами:

- метод вольтметра амперметра;
- мостовой метод измерения;
- метод делителя напряжения.

Для измерения температуры могут быть использованы:

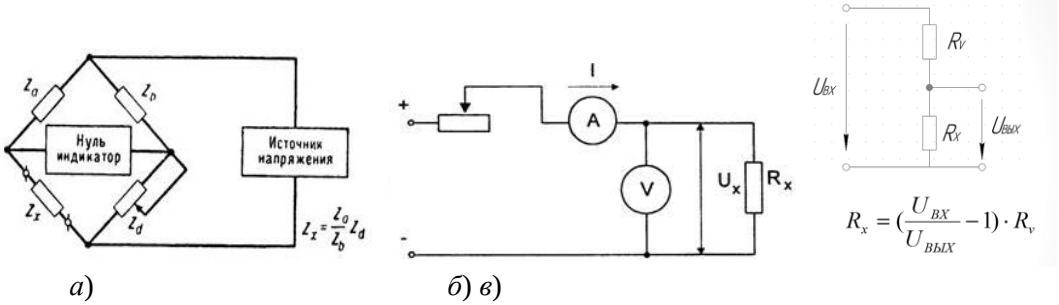
- контактный метод:
- терморезистор;
- термопара;
- цифровой датчик;

В качестве измерительной схемы рассматривались три схемы.

Мостовая схема измерения (рис. 1*а*) при своей высокой точности измерения имеет существенной недостаток – необходимость регулировки сопротивления до достижения баланса моста, которое может занять достаточное время.

В методе амперметра-вольтметра (рис. 1*б*) недостаток заключается в наличии двух измерительных устройств, что ведет к удорожанию.

Метод делителя напряжения (рис. 1*в*) наиболее подходящий для наших целей. Он позволяет измерить напряжения с плеча делителя, которое зависит от соотношения сопротивлений. Схема обладает простотой измерения и реализации, поэтому выбрана схема делителя напряжения.




*а*) *б*) *в*)

**Рис. 1.** Схемы измерения сопротивления

Наибольшей ценой, простой применения и точностью измерения температры обладает цифровой датчик (погрешность 0,5%), поэтому в целях измерения температуры выбран именно цифровой датчик. Взаимосвязь компонентов прибора показана на структурной схеме (рис. 2).

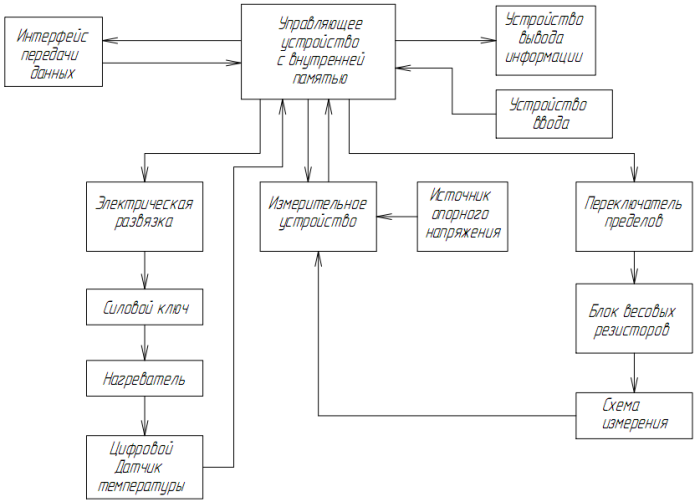



**Рис. 2.** Структурная схема прибора

Для электрической развязки применяется оптосимистор. В качестве управляющего устройства выбран микроконтроллер Atmega8515. В качестве интерфейса передачи данных используется универсальный USB интерфейс. Подключением блоков весовых резисторов управляет дешифратор. В качестве измерительного устройства выбран 2-х канальный АЦП, позволяющий измерять напряжение на плече делителя или на выходе операционного усилителя и передавать полученную информацию на микроконтроллер для обработки и сохранения информации.

Источником опорного напряжения для АЦП является микросхема LM317 с возможностью установки необходимого выходного напряжения, с высокой точностью.

Был произведен расчет платы, который показал, что необходимо 7 слоев печатной платы включая экранные слои. Проект платы выполнен в программе Altium Designer (рис. 3).

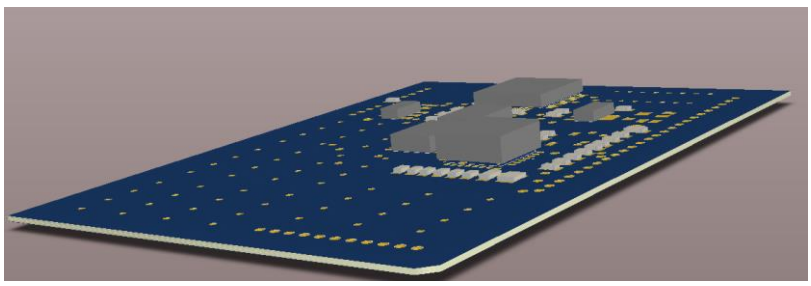


**Рис. 3.** Печатная плата прибора

Характеристики прибора и расчетная погрешность:

- диапазон измерения ТКС, 1/°С: $5 \cdot 10^{-6}$ - $1\,000 \cdot 10^{-6}$;
- диапазон измерения сопротивления: 5.1 - $1 \cdot 10^{6}$ Ом;
- погрешность измерения сопротивления, %: 0.121;
- погрешность измерения температуры, °С: ±0.5;
- погрешность измерения ТКС, %: 1.212;

**4. Экспериментальная часть.** Объектом исследований явились толстопленочные подстроечные резисторы СП3-44а на основе рутениевых паст в диапазоне номиналов 1кОм – 1МОм. Резисторы подвергались подгонке в сторону увеличения и уменьшения сопротивления без разрушения резистивного слоя.

Согласно техническим условиям на данные резистивные изделия ОЖО.468.369 ТУ значения ТКС х $10^{-6}$ 1/°С должен быть не более:

±500 – для резисторов с сопротивлением от 100 до 6800 Ом и от 150000 до 4700000 Ом;

± 250 – для резисторов с сопротивлением от 10 до 68 Ом;

± 150 – для резисторов с сопротивлением от 33000 до 100000 Ом;

± 100 – для резисторов с сопротивлением от 10000 до 22000 Ом.

Исследования проводились на 4 партиях резисторов номиналов 1 кОм, 30 кОм, 100 кОм, 1 МОм. Каждый номинал представлен 192 резисторами. В пределах каждой партии сопротивление всех резисторов предварительно измерялись при помощи омметра Щ34, и они располагались в порядке возрастания (убывания) сопротивления в зависимости от направленности подгонки. Измерения ТКС проводились дважды: до и после подгонки. Каждая партия в свою очередь разбивалась на подпартии по 16 резисторов (по числу мест в кассете для измерения ТКС).

В каждой из подпартий коэффициент подгонки Кп был примерно одинаков для всех резисторов. Часть резисторов не подвергалась подгонке (контрольные). Подгонка резисторов осуществлялась на установке исследования режимов подгонки УИР-2 [12] с использованием трех режимов подгонки, условно названных «жесткий» (Р1), «средний» (Р2) и «мягкий» (Р3). Режимы обусловлены сочетанием параметров: амплитуды, частоты следования и длительности импульсов. Указанные режимы подбирались индивидуально для каждой партии (таблица 1). Диапазоны изменения ТКС до подгонки и после приведены в таблице 2.

**Таблица 1.**

Режимы подгонки для исследуемых партий резисторов

| Обозначение режима | Режимы подгонки для партии | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1,5 кОм | | | 30 кОм | | | 100 кОм | | | 1 МОм | | |
| | U, кВ | F, кГц | τ, мкс | U, кВ | F, кГц | τ, мкс | U, кВ | F, кГц | τ, мкс | U, кВ | F, кГц | τ, мкс |
| Р1 | 4 | 3 | 185 | 5 | 0,5 | 700 | 5 | 3 | 220 | 4 | 1,25 | 290 |
| Р2 | 5 | 3 | 185 | 5 | 1 | 400 | 2,5 | 3 | 220 | 3 | 0,16 | 840 |
| Р3 | 4 | 3 | 185 | 2,5 | 1 | 300 | 1,5 | 0,5 | 900 | 2 | 0,16 | 840 |

**Таблица 2.**

Значения ТКСх$10^{-6}$ до и после подгонки

| Номинал, кОм | ТКС | ТКС+ | ТКС по ТУ |
|---|---|---|---|
| 1, до подгонки<br>после подгонки | - 230 … - 63<br>- 1 … + 31 | - 29 … 0<br>+ 45 … +67 | ± 500 |
| 6,8, до подгонки<br>после подгонки | -29… +5<br>-367 … - 159 | + 43 … + 77<br>- 211 …- 171 | ± 500 |
| 68, до подгонки<br>после подгонки | - 358 … -300<br>-426 … -364 | - 251 … - 215<br>- 372 … - 432 | ± 150 |
| 150, до подгонки<br>после подгонки | - 247 … -199<br>- 481 … - 216 | + 3 …+ 439<br>- 486 … + 180 | ± 500 |
| 1000, до подгонки<br>после подгонки | + 29 …+ 329<br>- 448 … - 105 | + 83 … + 111<br>- 457 … - 277 | ± 500 |

**5. Выводы.** Прибор для измерения ТКС резисторов экспресс-методом является удобным средством произведения измерений ТКС резисторных сборок, а также большой партии резисторов. Прибор универсален и позволяет производить измерения ТКС для всех типов резисторов в заданном диапазоне.

В результате обработке данных экспериментов были получены следующие результаты:

1) ТКС низкоомных резисторов с удельным поверхностным сопротивлением $\rho_s = 200$ Ом/° после подгонки ухудшается, но остается в пределах диапазона, заданного техническими условиями. ТКС меняет знак с минуса на плюс, и с увеличением $К_п$ уменьшается. $ТКС_+$ смещается в более отрицательную область и слабо зависит от $К_п$;

2) ТКС резисторов с $\rho_s$ =4000 Ом/° уходит в более отрицательную область. С увеличением Кп имеет небольшую тенденцию к увеличению. Среднее значение ТКС находится в пределах – (-400...-600) $\times 10^{-6}$ 1/°С;

3) ТКС резисторов с $\rho_s$ =14000 кОм/° смещается в более отрицательную область. Среднее значение ТКС порядка (-300...-400)$\times 10^{-6}$ 1/°С;

4) для резисторов с $\rho_s$ = 110000 Ом/° как $ТКС_+$ так и $ТКС_-$ меняют знак с плюса на минус и несколько ухудшаются. С увеличением Кп ТКС имеет небольшую тенденцию к увеличению. При Кп $\leq$ 0,8 ТКС еще остается в пределах ТУ. Среднее значение -400$\times 10^{-6}$ 1/°С при требуемом по ТУ не более $\pm$ 500 $\times 10^{-3}$.

**Список литературы**

[1] Недорезов, В. Г. Резисторы и их классификация // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2006. – Т. 1.

[2] Леухин, В. Н. Влияние электроискровой подгонки на ТКС толстопленочных резисторов. / В. Н. Леухин, А. М. Сухов, А. В. Ахматаев. Марийский государственный технический университет. Труды научной конференции. Секция 3. Радиофизика, техника, локация, связь. Подсекция 3.3. Конструирование и технология РЭС г. Йошкар-Ола, 6 апреля 2000 г.

[3] ГОСТ 21342.15-78. Резисторы. Метод определения температурной зависимости сопротивления [Текст]. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1978. – 7 с.

[4] Леухин, В.Н. Технология электроискровой подгонки / В.Н. Леухин, Е.В. Шабдаров, И.Д. Блинов // Труды ПГТУ. Сер.: Технологическая. Вып. 3. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – С. 99-104.

# АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВОМ ВЫРАВНИВАНИЯ НАГРУЗКИ МНОГОФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

**А. И. Орлов, С. В. Волков, А. А. Савельев**

ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет»
*Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Машиностроителей, д. 15*
e-mail: karlorlov@gmail.com

Предложена блок-схема устройства выравнивания нагрузок электрической сети, подключаемого в ее узловой точке с целью симметрирования. Принцип работы устройства основан на выборе оптимального способа соединения фаз отходящих линий с фазами электрической сети. Рассматриваются алгоритмы работы устройства при наличии и отсутствии в составе нагрузки электроприемников, требующих соблюдения исходного порядка чередования фаз. Дается оценка эффективности алгоритмов при различных соотношениях мощностей нагрузки, подключенных к сети непосредственно и через предложенное устройство.
**Ключевые слова:** электрическая сеть, симметричные составляющие, симметрия напряжений, коэффициент несимметрии, обратная последовательность, нулевая последовательность.

Proposed a block diagram of load balancing unit power supply being connected with its nodal point balancing purpose. The principle of operation the device is based on the selection of the best connection feeder phases with the phases of power supply. Considered algorithms of the device with and absence of a part of the load for power consumers, requiring observance the original phase sequence. Give the estimation of efficiency of algorithms with different ratios of the load capacity connected to the power supply directly and through a proposed device.
**Keywords:** power supply, symmetrical components, symmetry of electric voltage, unbalance factor, reverse sequence, zero sequence.

**1. Введение.** Несимметрия напряжений представляет собой состояние трехфазной системы электроснабжения переменного тока, в которой среднеквадратические значения основных составляющих междуфазных напряжений или углы сдвига фаз между основными составляющими междуфазных напряжений не равны между собой [1].

Несимметрия напряжений в большинстве случаев обусловлена несимметрией электрических нагрузок. Систематическая несимметрия обусловлена неравномерным распределением по фазам электрической сети коммунально-бытовых или промышленных электроприемников. Несимметрия имеет также вероятностных характер и непрерывно изменяется со временем в широких пределах. Отклонения напряжений вследствие несимметрии создают риск преждевременных отказов или существенного сокращения срока службы однофазных электроприемников. В трехфазных электроприемниках, таких как электрические двигатели, наличие составляющих обратной последовательности вызывает пульсации и снижение результирующего электромагнитного момента, и, как следствие, перегрев обмоток при номинальной нагрузке, приводящий к отказам. Несимметрия напряжений приводит также к дополнительным потерям в трансформаторах и других элементах электрической сети, а также электрооборудовании потребителей, может вызывать ошибки в работе счетчиков электрической энергии и устройств релейной защиты. Известны работы, посвященные изучению влиянию несимметрии напряжений на электрооборудование. С.П. Курилин в работе [2] отмечает, что прямые потери электроэнергии сельского хозяйства РФ в связи с несимметричными режимами составляют около 1 млрд. кВт-часов в год. При анализе несимметричных режимов работы оборудования используют метод симметричных составляющих [3] Несимметрия напряжений характеризуется рядом показателей, к основным из них относятся коэффициенты несимметрии по обратной и нулевой последовательностям. В отношении уровней коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности $K_{2U}$ и по нулевой последовательности $K_{0U}$ национальный стандарт Российской Федерации согласуется со стандартами Европейского союза, Китая, США [1, 4]. Так, значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности $K_{2U}$ и несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_{0U}$ в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2 % в течение

95 % времени интервала в одну неделю; значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности $K_{2U}$ и несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_{0U}$ в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю [1]. Типичные графики отклонений фазных напряжений и коэффициентов несимметрии по результатам измерения прибором РЕСУРС-ПКЭ 20.04.2016 г. в городе Йошкар-Оле в течение суток показан на рис. 1. Отклонения напряжений могут превышать установленные стандартом [1] значения. Таким образом, проблема неравномерности нагрузки по фазам электрической сети приводит к существенным экономическими потерям и должна быть решена. Работа посвящена снижению указанной проблемы путем разработки устройства выравнивания нагрузок многофазной электрической сети.

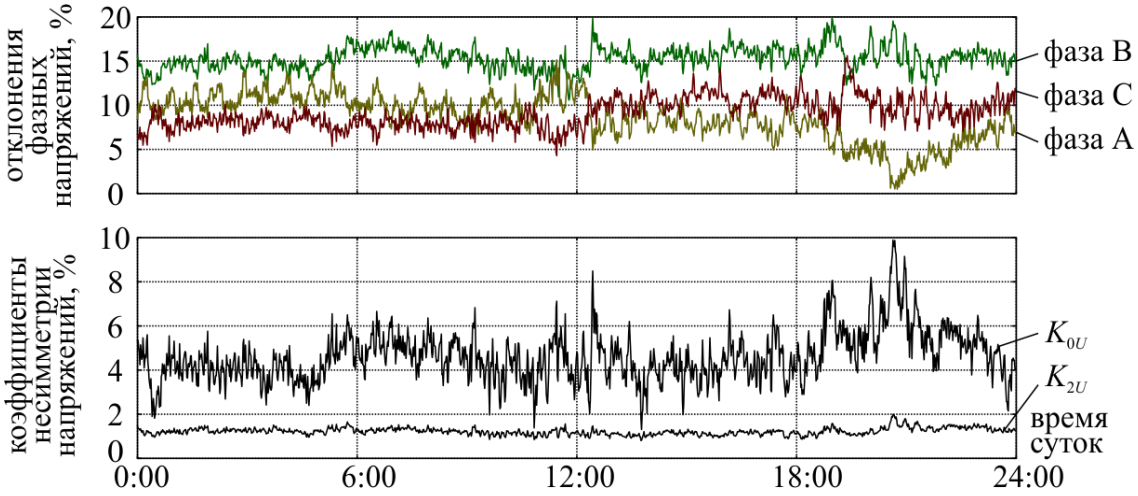



**Рис. 1.** Типичные графики отклонений фазных напряжений и коэффициентов несимметрии в течение суток.

**2. Симметрирующие устройства.** В настоящее время для решения проблемы несимметрии напряжений применяются симметрирующие трансформаторы типа ТМГСУ, ТСТ и др. Такие трансформаторы имеют отдельную обмотку низшего напряжения, уложенную в виде бандажа поверх обмоток высшего напряжения трансформатора со схемой соединения обмоток $Y/Y_н$. Обмотка симметрирующего устройства включена в рассечку нулевого провода с целью компенсации магнитных потоков нулевой последовательности. По данным производителей, сопротивление нулевой последовательности трансформаторов серии ТМГСУ отличается от аналогов без симметрирующего устройства в среднем в 3 раза. Результаты экспериментальных исследований, опубликованные в работе [5] показывают, что трансформатор с симметрирующим устройством позволяет снизить потери мощности в электроэнергии в самом трансформаторе в 1,5 раза, повысить качество напряжения в сети 0,38 *кВ*, уменьшая коэффициент нулевой последовательности в 2–4 раза в зависимости от вида нагрузки, а отклонения напряжения – на 8–10 %. Известны также изобретения симметрирующих устройств трансформаторного типа, которые описаны, например, в работах [6, 7]. К общим недостаткам этих и других симметрирующих устройств трансформаторного типа относятся: громоздкость конструкции, высокая стоимость; возможность симметрирования только части нагрузки электрической сети, непосредственно подключенной к устройству. Радикальное решение проблемы качества электроэнергии, включая проблему несимметрии, заключается в применении устройств типа СТАТКОМ, сетевых кондиционеров или активных фильтров гармоник [8]. Однако, высокая стоимость таких устройств ограничивает их распространение в российских распределительных сетях 0,38 *кВ*. Еще одним недостаткам подобных устройств является наличие небольших неустранимых рабочих потерь в полупроводниковых ключах.

**4. Устройства выравнивания нагрузок коммутационного типа.** Существуют изобретения, направленные на выравнивание нагрузок по фазам электрической сети путем перераспределения электрической нагрузки. Примером такого изобретения может быть работа [9]. Однако реализация указанного изобретения требует прерывания подачи напряжения, что вызывает перебои в поставке электроэнергии потребителям. В данном способе и устройстве отсутствует контроль последовательности чередования фаз, в связи с чем изобретение невозможно использовать для ряда многофазных электроприемников, например, многофазных электрических двигателей переменного тока. Кроме того, устройство не выравнивает нагрузку питающей электрической сети в целом, поскольку симметрирование выполняется только для непосредственно подключенной к устройству нагрузки.

Известны также работы С.В. Венедиктова , посвященные разработке и исследованию устройств выравнивания нагрузки, работающих по принципу переключения электрических нагрузок с более нагруженной фазы на менее нагруженную, в том числе, с возможностью сохранения исходного порядка чередования фаз [10, 11]. Так, в работе [11] дается описание устройства, устанавливаемого в определенной точке фидера с целью снижения потерь в линии электропередачи. Реализация предлагаемых в работах [10, 11] устройств и алгоритмов управления может привести к циклическим перекоммутациям. Подключение фазы электрической нагрузки, потребляющей большой ток, к фазе электрической сети, ток в которой минимальный, влияет на состояние электрической сети в целом и может привести к изменению фазных напряжений и, как следствие, фазных токов самой коммутируемой нагрузки. Вновь установившиеся фазные токи нагрузки могут вызвать необходимости обратной коммутаций к первоначальному состоянию. Далее процесс циклически повторяется, что может привести к опасным для электроприемников циклическим перекоммутациям.

Существует работа [12], в которой приводится описание устройства симметрирования нагрузки. Алгоритм работы устройства направлен на выравнивание нагрузки электрической сети в целом и состоит в соединении фаз нагрузки с наибольшим действующим значением тока с фазой электрической сети с наибольшим действующим значением напряжения. Таким образом, устройство направлено на симметрирование электрической сети в целом. Однако, реализация подобного устройства также создает определенный риск циклических перекоммутаций.

**4. Устройство выравнивания нагрузки многофазной электрической сети.** Устройство выравнивания нагрузки электрической сети предназначено для выравнивания электрической нагрузки по фазам с целью симметрирования. На рис. 1 (*а*) изображена однолинейная схема, которая демонстрирует положение устройства выравнивания нагрузки (УВН), относительно узла многофазной электрической сети, а также его основные конструктивные элементы. В рассматриваемом узле электрической сети соединяются отходящие линии устройства выравнивания нагрузки и другие отходящие линии с электрической сетью. Устройство выравнивания нагрузки УВН содержит следующие конструктивные элементы: модуль коммутации МК, контроллер К, датчики напряжения ДН фаз электрической сети и нейтрального провода, датчики фазных токов электрической сети ДТэс и датчики фазных токов отходящей линии симметрирующего устройства ДТл.

Структура модуля коммутации устройства выравнивания нагрузки, а также связи между элементами показаны на блок-схеме, рис. 2 (*б*). Модуль коммутации МК содержит $n^2$ силовых ключей $СК_{ij}$, где $n$ – число фаз; $i$ и $j$ – номера фаз электрической сети и отходящей линии симметрирующего устройства соответственно. Блок-схема на рис. 2 (*а*) содержит также контроллер К, отходящую линию устройства выравнивания нагрузки с фазами Л1, Л2, Л3, электрическую сеть с фазами С1, С2, С3, датчики фазных токов отходящей линии устройства выравнивания нагрузки ДТл, датчики фазных токов электрической сети ДТэс, датчики напряжений ДН фаз электрической сети и нейтрального провода.

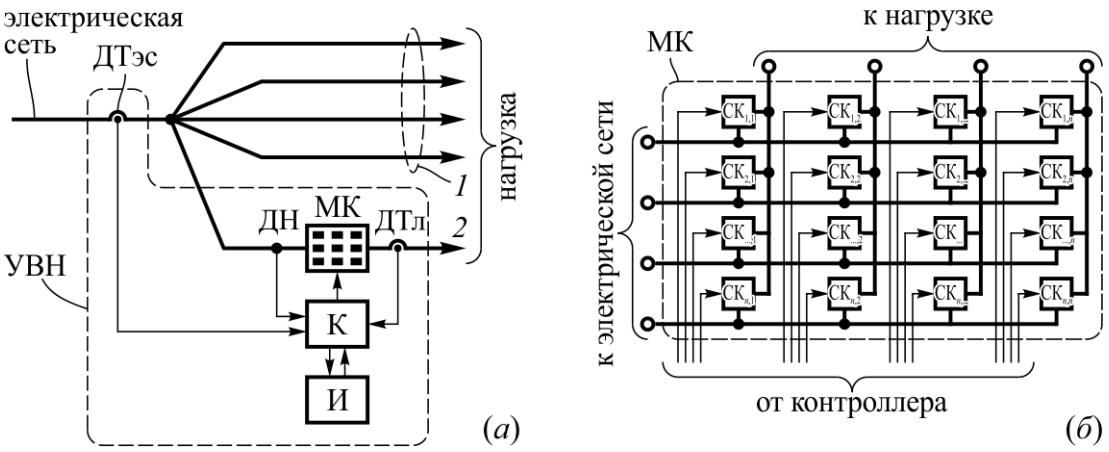



**Рис. 2 (*а*).** Блок-схема схема устройства выравнивания нагрузки (УВН) электрической сети: МК – модуль коммутации; К – контроллер; И – интерфейс пользователя; ДТэс – датчик тока электрической сети; ДТл – датчик тока отходящей линии симметрирующего устройства; ДН – датчик напряжения; *1* – нагрузка, подключенная к электрической сети непосредственно, *2* – нагрузка, подключенная к электрической сети через УВН. (*б*). Блок-схема схема, показывающая структуру модуля коммутации устройства выравнивания нагрузки: СК – силовой ключ.

Фаза $i$ электрической сети соединена с фазой $j$ отходящей линии симметрирующего устройства через силовой ключ переменного тока $СК_{ij}$, который служит для выполнения коммутаций. Каждый силовой ключ может находиться в проводящем или непроводящем состоянии в зависимости от управляющих сигналов, подаваемых контроллером К. Совокупность силовых ключей СК модуля коммутации МК обеспечивает различные варианты схем присоединения фаз отходящей линии симметрирующего устройства к фазам электрической сети, а также изменение этих схем без перерыва в электроснабжении нагрузки, подключенной к отходящим линиям устройства.

**5. Алгоритмы работы устройства выравнивания нагрузки и анализ их эффективности.** Предлагаемые алгоритмы выравнивания нагрузки многофазной электрической сети состоят в следующем.

1. Контроллер К на основании сигналов от датчиков напряжения ДН, датчиков фазных токов электрической сети ДТэс и устройства выравнивания нагрузки ДТл вычисляет действующие значения тока в каждой фазе электрической сети, в каждой фазе отходящей линии устройства выравнивания нагрузки, действующие значения фазных напряжений между каждой фазой электрической сети и нейтральным проводом.

Далее контроллер К вычисляет значения проводимостей каждой фазы электрической сети $G_{s.i}$ и каждой фазы отходящей линии устройства выравнивания нагрузки $G_{l.i}$ по формулам

$$G_{s.i} = I_{s.i} / U_i \text{ и } G_{l.i} = I_{l.i} / U_i,$$

где $G_{s.i}$ – проводимость $i$-ой фазы электрической сети; $G_{l.i}$ – проводимость $i$-ой фазы отходящей линии устройства выравнивания нагрузки; $I_{s.i}$ – действующее значение тока в $i$-ой фазе электрической сети; $I_{l.i}$ – ток в $i$-ой фазе отходящей линии устройства выравнивания нагрузки; $U_i$ – действующее значение напряжения между $i$-ой фазой электрической сети и нейтральным проводом.

Контроллер К вычисляет значения проводимостей каждой фазы других отходящих линий $G_{L1}$, $G_{L2}$, …, $G_{Ln}$ по формуле

$$G_{L.i} = G_{s.i} - G_{l.i},$$

где $G_{L.i}$ – проводимость $i$-ой фазы других отходящих линий; $G_{s.i}$ – проводимость $i$-ой фазы

электрической сети; $G_{l.i}$ – проводимость фазы отходящей линии устройства выравнивания нагрузки, подключенной к *i*-ой фазе электрической сети.

Затем контроллером К выполняются следующие операции. Фазы отходящей линии устройства выравнивания нагрузки сортируются по убыванию их проводимостей $G_{l.i}$, затем нумеруются последовательно, начиная от фазы с наибольшей проводимостью к фазе с наименьшей проводимостью. Фазы электрической сети сортируются по возрастанию проводимостей других отходящих линий $G_{L.i}$, затем нумеруются последовательно, начиная от фазы электрической сети с наименьшей проводимостью других отходящих линий к фазе электрической сети с наибольшей проводимостью других отходящих линий. Контроллер К подает управляющие сигналы модулю коммутации МК, который выполняет соединения фаз электрической сети и фаз отходящей линии устройства выравнивания нагрузки, имеющих одинаковые номера.

При выполнении указанного алгоритма фазы отходящей линии устройства выравнивания нагрузки с наименьшими проводимостями $G_{l.i}$ подключаются соответственно к фазам электрической сети, в которых проводимости других отходящих линий $G_{L.i}$ наибольшие. В результате проводимости всех фаз электрической сети оказываются максимально близкими друг к другу по величине, что обеспечивает выравнивание нагрузки электрической сети в целом в рамках контролируемого диапазона и ведет к симметрированию напряжений сети.

2. В состав нагрузки, подключенной к отходящим линиям симметрирущего устройства, могут входить электроприемники, для работы которых необходимо соблюдать неизменный порядок чередования фаз, например, асинхронные электрические двигатели. В этом случае существует 3 допустимых комбинаций присоединения фаз электрической сети к фазам отходящей линии устройства выравнивания нагрузки, образуемых циклической перестановкой фаз электрической сети относительно фаз отходящей линии устройства выравнивания нагрузки без изменения порядка чередования фаз. Оптимальной комбинацией присоединения фаз электрической сети к фазам отходящей линии устройства выравнивания нагрузки следует считать такую, при которой коэффициент несимметрии по обратной последовательности проводимостей *i*-ой фазы отходящей линии устройства выравнивания нагрузки и *j*-ой фазы других отходящих линий ( $G_{l.i} + G_{L.j}$ ) минимален при условии сохранения исходного порядка чередования фаз. Соединение фаз электрической сети к фазам отходящей линии устройства выравнивания нагрузки также выполняется модулем коммутации МК по сигналам управления контроллера К.

В случае реализации данного алгоритма проводимости $G_s$ всех фаз электрической сети оказываются максимально близкими друг к другу по величине в рамках контролируемого диапазона и одновременно сохраняется исходный порядок чередования фаз.

Указанные алгоритмы, помимо выравнивания одно- или многофазной нагрузки электрической сети, также устраняют риск циклических перекоммутаций в случае линейной нагрузки. При нелинейной нагрузке указанный риск также значительно снижается по сравнению с устройствами и алгоритмами их управления, представленными в работах [10, 11].

**6. Эффективность алгоритмов работы устройства выравнивания нагрузки при вероятностной несимметрии.** Для количественной оценки эффективности представленного алгоритма работы устройства выравнивания нагрузки воспроизводилась ситуация, при которой несимметрия имела вероятностный характер и смоделирована реакция устройства на эту несимметрию. С этой целью выполнена серия численных экспериментов в случае трехфазной сети. Исследовались результаты работы обоих указанных алгоритмов: алгоритма *а*, не учитывающего порядок чередования фаз, и алгоритма *б*, для случая наличия трехфазных электроприемников. Численные эксперименты и обработка данных выполнены в компьютерной программе, созданной авторами, написанной на языке Python. Рассматривался узел электрической сети, рис. 3, в котором соединяется нагрузка, подключенная к сети непосредственно (нагрузка

*1*) и через устройство выравнивания нагрузки (нагрузка *2*). Полная мощность нагрузки, подключенной к электрической сети непосредственно, $S_{1ф}$ в каждой фазе менялась в экспериментах случайно с равномерным распределением плотности вероятности в пределах от $S_{min1}$ до $S_{max1}$. Аналогично нагрузка, подключенная к сети через устройство выравнивания нагрузки, $S_{2ф}$ менялась в каждой фазе в пределах от $S_{min2}$ до $S_{max2}$:

$$S_{1ф} = S_{min1} + (S_{max1} - S_{min1}) \cdot X; \quad S_{2ф} = S_{min2} + (S_{max2} - S_{min2}) \cdot X,$$

где $X$ – случайная величина, имеющая равномерное распределение плотности вероятности в диапазоне [0; 1]. В табл. 1 показаны по 15 вариантов распределений мощностей $S_{1ф}$ и $S_{2ф}$, представляющих различные соотношения диапазонов $(S_{max2} - S_{min2}) / (S_{max1} - S_{min1})$. В рассматриваемом примере мощности выражаются в относительных единицах. Диапазон случайных значений мощностей для нагрузки *1* ограничен $S_{min1} = 2$, $S_{max1} = 3$, для нагрузки *2* минимальное значение диапазона $S_{min2} = 0$, максимальное значение $S_{max2}$ принималось различным в диапазоне от 0 до 1,5 с шагом 0,1. Для каждого соотношения $(S_{max2} - S_{min2}) / (S_{max1} - S_{min1})$ выполнено по 100 000 численных экспериментов.

**Таблица 1.**

Соотношения диапазонов мощностей в рассматриваемом случае.

| № | $S_{1ф}$ | $S_{2ф}$ | Диапазон изменения $S_{1ф}$ $S_{max1} - S_{min1}$ | Диапазон изменения $S_{2ф}$ $S_{max2} - S_{min2}$ | Отношение диапазонов $\frac{S_{max2} - S_{min2}}{S_{max1} - S_{min1}}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2…3 | 0…0,1 | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 2 | | 0…0,2 | | 0,2 | 0,2 |
| 3 | | 0…0,3 | | 0,3 | 0,3 |
| 4 | | 0…0,4 | | 0,4 | 0,4 |
| 5 | | 0…0,5 | | 0,5 | 0,5 |
| 6 | | 0…0,6 | | 0,6 | 0,6 |
| 7 | | 0…0,7 | | 0,7 | 0,7 |
| 8 | | 0…0,8 | | 0,8 | 0,8 |
| 9 | | 0…0,9 | | 0,9 | 0,9 |
| 10 | | 0…1,0 | | 1,0 | 1,0 |
| 11 | | 0…1,1 | | 1,1 | 1,1 |
| 12 | | 0…1,2 | | 1,2 | 1,2 |
| 13 | | 0…1,3 | | 1,3 | 1,3 |
| 14 | | 0…1,4 | | 1,4 | 1,4 |
| 15 | | 0…1,5 | | 1,5 | 1,5 |

Напряжение в точке общего присоединения нагрузки задавалось неизменным, коэффициент мощности нагрузки принимался равным единице. При таком характере несимметрии амплитуды симметричных составляющих обратной и нулевой последовательности одинаковы, но могут отличаться их фазы колебаний; составляющие прямой последовательности изменяются только по модулю, их фазы колебаний совпадают с исходным сигналом.

Анализировались коэффициенты несимметрии токов по обратной $K_2$ (нулевой $K_0$) последовательностям при наличии устройства выравнивания нагрузки и без него для различных соотношений диапазонов мощностей $(S_{max2} - S_{min2}) / (S_{max1} - S_{min1})$. Определялось отношение коэффициентов несимметрии токов по обратной (нулевой) последовательности ($K_{2УВН} / K_2$). Это отношение характеризует эффективность применения устройства и может служить критерием выбора оптимального диапазона мощности нагрузок, подключенных через устройство. При случайном изменении фазных мощностей нагрузок, в исходном распределении значительная часть случаев не требует выполнения каких-либо коммутаций, так как наиболее благоприятное соединение фаз нагрузки с фазами электрической сети соответствует исходному случаю. В таких случаях ($K_{2УВН} / K_2$) = 1. Распределение отношений ($K_{2УВН} / K_2$) в зависимости от ($S_{max2}$

– $S_{min2}$) / ($S_{max1}$ – $S_{min1}$) без учета указанных случаев представлено на рис. 3. Параметры распределений приведены в табл. 2.

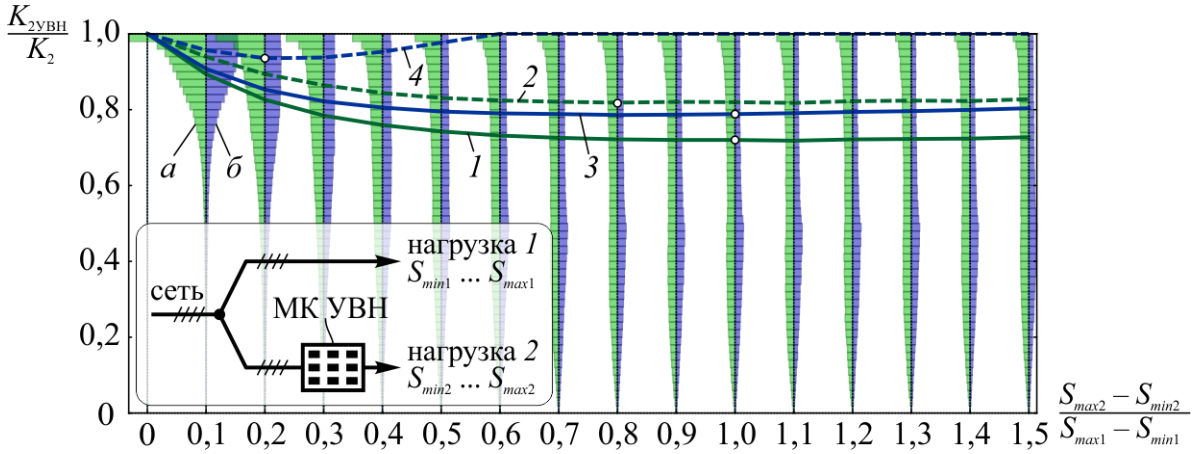



**Рис. 3.** Распределение отношений коэффициентов несимметрии ($K_{2УВН}$ / $K_2$) в зависимости от отношений диапазонов случайных изменений мощностей нагрузок ($S_{max2}$ – $S_{min2}$) / ($S_{max1}$ – $S_{min1}$): распределения *а* – алгоритм 1, распределение *б* – алгоритм 2; кривые *1* и *2* – средние арифметические и медианы распределений *а*; кривые *2* и *4* – средние арифметические и медианы распределений *б*.

Установлено, что абсолютные величины коэффициентов несимметрии токов по обратной $K_2$ (нулевой $K_0$) зависят как от выбора границ диапазона случайных изменений мощностей $S_{1ф}$ и $S_{2ф}$, так и от вида этих распределений. Однако отношение коэффициентов несимметрии ($K_{2УВН}$ / $K_2$) зависит главным образом от отношений диапазонов случайных изменений мощностей ($S_{max2}$ – $S_{min2}$) / ($S_{max1}$ – $S_{min1}$). Снижение коэффициентов несимметрии токов в результате действия устройства влияет на несимметрию напряжений. Степень этого влияния зависит от параметров электрической сети.

**Таблица 2.**

Параметры распределений $K_{2УВН}$ / $K_2$.

| ($S_{max2}$ – $S_{min2}$) / ($S_{max1}$ – $S_{min1}$) | Величина коэффициентов $K_2$ (или $K_0$) | | | | | | Отношение коэффициентов ($K_{2УВН}$ / $K_2$) | | | | Доля ситуаций, не требующих выполнения коммутаций, % | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Исходные значения (без устройства) | | Алгоритм *а* | | Алгоритм *б* | | Алгоритм *а* | | Алгоритм *б* | | Алгоритм *а* | Алгоритм *б* |
| | средн. | мед. | средн. | мед. | средн. | мед. | средн. | мед. | средн. | мед. | | |
| 0,1 | 6,01 | 5,99 | 5,51 | 5,48 | 5,57 | 5,53 | 0,89 | 0,94 | 0,91 | 0,96 | 81,0 | 62,6 |
| 0,2 | 5,97 | 5,92 | 5,06 | 4,95 | 5,17 | 5,06 | 0,83 | 0,89 | 0,85 | 0,94 | 78,8 | 59,2 |
| 0,3 | 5,98 | 5,91 | 4,78 | 4,57 | 4,93 | 4,72 | 0,78 | 0,86 | 0,82 | 0,94 | 76,8 | 56,1 |
| 0,4 | 6,06 | 5,94 | 4,61 | 4,27 | 4,81 | 4,49 | 0,76 | 0,84 | 0,81 | 0,95 | 75,0 | 53,5 |
| 0,5 | 6,15 | 5,98 | 4,5 | 4,06 | 4,74 | 4,32 | 0,74 | 0,83 | 0,80 | 0,98 | 73,4 | 51,5 |
| 0,6 | 6,27 | 6,05 | 4,46 | 3,94 | 4,74 | 4,25 | 0,73 | 0,82 | 0,79 | 1,0 | 72,2 | 49,7 |
| 0,7 | 6,45 | 6,21 | 4,5 | 3,92 | 4,81 | 4,29 | 0,73 | 0,82 | 0,79 | 1,0 | 71,2 | 48,2 |
| 0,8 | 6,63 | 6,36 | 4,57 | 3,97 | 4,90 | 4,36 | 0,72 | 0,82 | 0,79 | 1,0 | 70,2 | 47,1 |
| 0,9 | 6,87 | 6,57 | 4,69 | 4,06 | 5,06 | 4,48 | 0,72 | 0,82 | 0,79 | 1,0 | 69,4 | 46,1 |
| 1,0 | 7,10 | 6,79 | 4,84 | 4,18 | 5,23 | 4,64 | 0,72 | 0,82 | 0,79 | 1,0 | 69,0 | 45,2 |
| 1,1 | 7,32 | 7,02 | 4,97 | 4,31 | 5,42 | 4,82 | 0,72 | 0,82 | 0,79 | 1,0 | 68,5 | 44,6 |
| 1,2 | 7,68 | 7,28 | 5,17 | 4,50 | 5,64 | 5,03 | 0,72 | 0,82 | 0,79 | 1,0 | 67,9 | 43,8 |
| 1,3 | 7,88 | 7,55 | 5,40 | 4,70 | 5,89 | 5,27 | 0,72 | 0,82 | 0,80 | 1,0 | 68,0 | 43,4 |
| 1,4 | 8,13 | 7,8 | 5,59 | 4,88 | 6,13 | 5,50 | 0,72 | 0,82 | 0,80 | 1,0 | 67,7 | 43,0 |
| 1,5 | 8,36 | 8,04 | 5,80 | 5,09 | 6,36 | 5,71 | 0,73 | 0,83 | 0,80 | 1,0 | 67,4 | 42,6 |

Минимальные значения средних арифметических распределений отношений коэффициентов несимметрии ($K_{2УВН}$ / $K_2$) соответствует случаю ($S_{max2}$ – $S_{min2}$) / ($S_{max1}$ – $S_{min1}$) = 1,0 как

для алгоритма *а*, не учитывающего порядок чередования фаз, так и для алгоритма *б*, при наличии трехфазных электроприемников. В среднем снижение коэффициентов несимметрии составляет 28 и 19 % для двух представленных алгоритмов соответственно.

С точки зрения капитальных и эксплуатационных затрат, целесообразен как можно меньший диапазон мощностей, контролируемый устройством выравнивания нагрузки, в связи с чем оптимальное отношение $(S_{max2} - S_{min2}) / (S_{max1} - S_{min1})$ находится в пределах от 0 до 1. В каждом случае отношение $(S_{max2} - S_{min2}) / (S_{max1} - S_{min1})$ должно определяться в результате технико-экономического обоснования.

**Выводы**

1. Представленное устройство выравнивания нагрузки электрической сети, через которое подключается к узловой точке электрической сети часть электрической нагрузки, и его алгоритмы управления позволяют снизить коэффициенты несимметрии токов и напряжений и отклонения напряжений в узловой точке электрической сети.
2. Наибольшее снижение коэффициентов несимметрии напряжений возможно, если диапазон случайных изменений мощностей нагрузки, контролируемый устройством выравнивания нагрузки, равен диапазону случайных изменений мощностей нагрузки, подключенной к сети непосредственно $(S_{max2} - S_{min2}) = (S_{max1} - S_{min1})$. Это позволяет снизить коэффициенты несимметрии фазных токов электрической сети $K_2$ или $K_0$ в среднем на 22 и 19 % соответственно при наличии и отсутствии нагрузки с неизменным порядком чередования фаз. Величина снижения коэффициентов несимметрии фазных напряжений зависит от параметров электрической сети.
3. Экономически целесообразная доля нагрузки, подключаемая через предложенное устройство выравнивания нагрузки не превышает доли нагрузки, подключаемой к сети непосредственно. Эта доля должна определяться в результате технико-экономического обоснования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (договор № 02.G25.31.0204) в рамках реализации Постановления Правительства РФ № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

**Список литературы**

[1] ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.
[2] *Курилин С.П.* Развитие теории несимметричных режимов и энергетических процессов асинхронных двигателей сельскохозяйственных электроустановок: дис. докт. техн. наук. М., 2005. 367 с.
[3] *Fortescue, Charles. L.* Method of Symmetrical Co-Ordinates Applied to the Solution of Polyphase Networks // AIEE Transactions, Vol. 37, part II, 1918, pp. 1027–1140.
[4] *Бодруг Н.С.* Сравнительный анализ российских стандартов и стандартов Евросоюза по качеству электроэнергии // Вестник Амурского государственного университета. 2015. Вып. 69: Сер. Естеств. и экон. науки. С. 48–55
[5] *Теремецкий М.Ю.* Снижение потерь и повышение качества электроэнергии в сельских распределительных сетях 0,38 *кВ* при несимметричной нагрузке с помощью трансформатора «звезда-звезда с нулем с симметрирующим устройством»: автореф. канд. техн. наук. Санкт-Петербург–Пушкин, 2011. 19 с.

[6] Пат. 2453965 РФ, МПК H02J 3/26 (2006.01) Трехфазное симметрирующее устройство / Василенко В.Д.; заявитель и патентообладатель Василенко В.Д. Заявка: № 2010139219/07, 23.09.2010; опубл. 20.06.2012 Бюл. № 17. 6 с.
[7] Пат. 2321133 РФ, МПК H02J 3/26 (2006.01) Симметрирующий трехфазно-однофазный трансформатор напряжения / Василенко В.Д., Евдокимов В.В.; патентообладатель ООО "Компания Интер Электро". Заявка: № 2006121104/09, 16.06.2006; опубл. 27.03.2008 Бюл. № 9. 6 с.
[8] *Akagi H. Watanabe E.H., Aredes M.* Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning. Wiley-IEEE Press, 2007. 379 p.
[9] Пат. 2200364 РФ, МПК H02J 1/10 (2000.01) Устройство равномерного распределения электрической нагрузки по n-фазной сети распределения электроэнергии / Давид Яир, Виттнер Лупу; заявитель и патентообладатель ТАРДЖЕТ-ХАЙ-ТЕК ЭЛЕКТРОНИКС ЛТД. Заявка: № 99115774/09, 05.12.1997; опубл. 10.03.2003 Бюл. № 7. 20 с.
[10] *Венедиктов С.В., Державин А.С.* Модели, алгоритмы и функционал комбинированных переключателей // Материалы IX международной научной школы «Наука и инновации – 2014». Йошкар-Ола, 2014, С. 166–177.
[11] *Венедиктов С.В., Иванов П.В., Андреева З.А., Державин А.С.* Алгоритм функционирования и расчетная модель автоматического коммутатора нагрузки // Материалы X международной научной школы «Наука и инновации – 2015». Йошкар-Ола, 2015, С. 93–99.
[12] Пат. 162639 РФ, МПК H02J 1/00 (2006.01) Устройство симметрирования нагрузки / Орлов А.И., Савельев А.А.; заявитель и патентообладатель Орлов А.И., Савельев А.А. Заявка: № 2015146070/07, 26.10.2015; опубл. 20.06.2016 Бюл. № 17. 2 с.
[13] Заявка на пат. № 2016127923, 11.07.2016. Способ симметрирования многофазной электрической сети и устройство для его реализации / Орлов А.И., Савельев А.А.

# СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ И ЕЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

**П. В. Стариков[1], В. Г. Соловьёв[2], А. И. Орлов[3]**

*[1]АО «Марийский машиностроительный завод»*
*Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Суворова, д. 15*
*[2]ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,*
*Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3*
*[3]ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», кафедра электромеханики Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Машиностроителей, д. 15*
e-mail: pavel-st@mail.ru

Предложена блок-схема системы управления параметрами микроклимата помещения. Приведён алгоритм управления системой, учитывающий температуру, влажность воздуха и содержание углекислого газа. Даны характеристики экспериментального образца устройства. Приведены параметры микроклимата помещения при использовании предложенной системы.
**Ключевые слова:** микроклимат, система управления, углекислый газ, температура, влажность.

Proposed block-diagram of the room climate control system parameters. Given the control algorithm of the system that takes into account temperature, humidity and carbon dioxide content. The characteristics of the experimental device sample. Proposedthe parameters of the indoor environment using the proposed system.
**Keywords:** microclimate, climate control system, carbon dioxide, temperature, humidity.

**1. Введение.** Непрекращающийся рост стоимости тепловой энергии и стремление к повышению качества жизни вызывает необходимость в энергосбережении. Традиционно регулирование параметров микроклимата в помещениях осуществляется вручную путём проветривания, что приводит к избыточному потреблению тепловой энергии. Однако, при отсутствии проветривания высокая концентрация углекислого газа, выделяемого в процессе дыхания, может снижать работоспособность и ухудшать самочувствие людей [1].

Известны изобретения, направленные на решение проблемы неудовлетворительных параметров микроклимата: «Система автоматического регулирования отопления здания с автоматическим задатчиком» [2], «Устройство и способ для управления уровнями характеристик искусственного микроклимата в помещении» [3]. В работе [4] приведено описание системы автоматического регулирования отопления здания с учётом климатических факторов. Однако представленная система предназначена для регулирования отопления здания в целом без учёта особенностей микроклимата в отдельных помещениях; в системе не контролируется содержание углекислого газа в помещениях; система содержит большое количество элементов, включая циркуляционный насос, регулирующие клапаны. Параметры микроклимата жилых и производственных помещений регламентируются нормативными документами [5, 6]. Определению параметров микроклимата в помещениях посвящены работы [7, 8, 9]. Известны также работы, посвященные регулированию параметров микроклимата, например, [10, 11]. В этих и других аналогичных публикациях в качестве основного или единственного параметра микроклимата выбрана температура. Такие значимые для самочувствия людей параметры как влажность и концентрация углекислого газа не рассматриваются и не предлагаются технические решения для их нормализации. Отсутствие работ, посвящённых исследованиям устройств управления микроклиматом, учитывающих указанные параметры в совокупности, подтверждает актуальность разработки системы автоматического управления микроклиматом.

**Система управления микроклиматом.** Предлагаемое решение обозначенной проблемы – разработка и внедрение автоматической системы управления микроклиматом помещений. В отличие от известных аналогов система избирательно влияет на все основные параметры микроклимата: температуру, влажность и содержание углекислого газа. Схема, демонстрирующая основные элементы системы автоматического управления микроклиматом помещений,

показана на рис. 1а. Система автоматического управления микроклиматом помещений, содержит вычислительное устройство ВИ, датчики содержания углекислого газа в воздухе ДУГ, влажности ДВ и температуры ДТ, исполнительный механизм регулирования воздухообмена МРВ. Вычислительное устройство ВИ содержит контроллер К и интерфейс пользователя И. С целью энергосбережения и создания оптимального микроклимата система автоматического управления микроклиматом помещений может дополнительно содержать исполнительный механизм регулирования температуры МРТ. Схема в этом случае будет иметь вид, показанный на рис. 1б. Контроллер предназначен для непрерывного считывания показаний датчика углекислого газа, датчика влажности, датчика температуры и формирования управляющих сигналов, поступающих в исполнительный механизм регулирования воздухообмена. Для считывания сигналов с датчиков и управления исполнительными механизмами составлена программа для контроллера. Интерфейс пользователя предназначен для ввода допустимых уровней концентрации углекислого газа и влажности воздуха и границ диапазона допустимых значений температуры воздуха в помещении, а также для вывода информации о состоянии микроклимата.

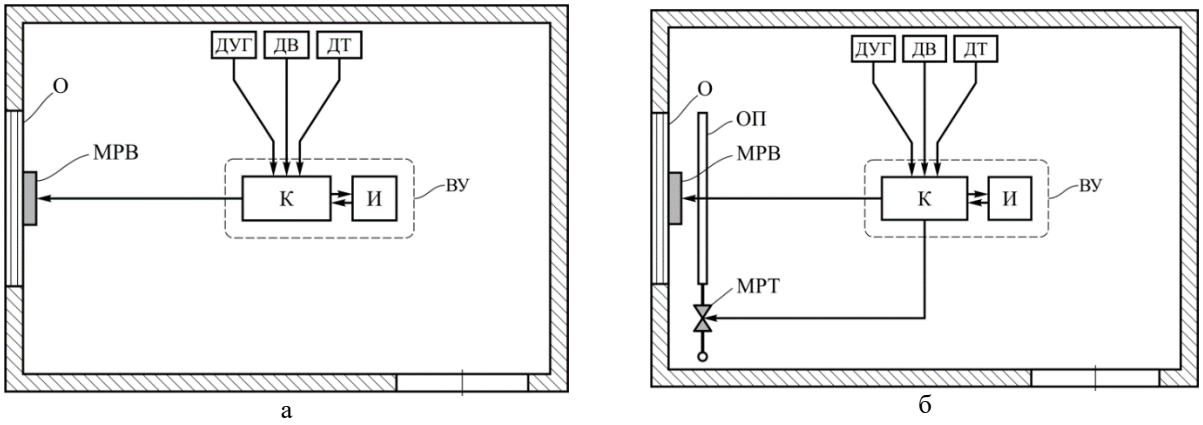


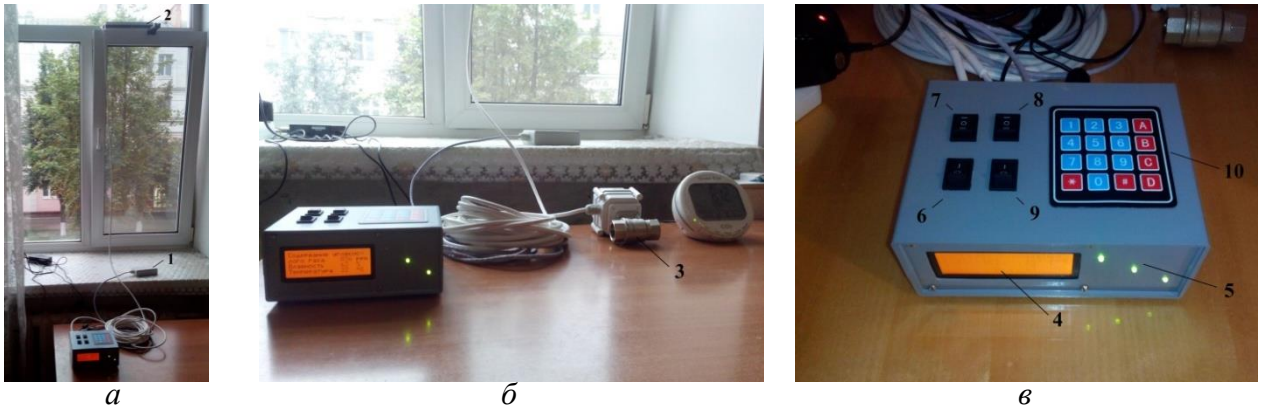

**Рис. 1.** Схема, демонстрирующая основные элементы системы автоматического управления микроклиматом помещений.

Датчик содержания углекислого газа в воздухе и датчик влажности предназначены для определения процентного содержания углекислого газа и водяных паров в воздухе. Датчик температуры предназначен для определения средней температуры воздуха в помещении. Исполнительный механизм регулирования воздухообмена предназначен для поддержания концентрации углекислого газа и влажности воздуха в заданном диапазоне путём регулирования воздухообмена помещения с внешней средой. Одно из возможных конструктивных исполнений механизма регулирования воздухообмена представляет собой механизм открывания и закрывания окна О с целью проветривания помещения. Исполнительный механизм регулирования температуры предназначен для поддержания средней температуры воздуха в помещении в заданных пределах путём регулирования мощности системы отопления помещения и может представлять собой регулятор, устанавливаемый на отопительном приборе ОП, изменяющий расход теплоносителя в отопительном приборе. Система управления микроклиматом работает следующим образом. При включении системы управления микроклиматом пользователь по своему усмотрению вводит в контроллер допустимые уровни концентрации углекислого газа и влажности воздуха и границы диапазона допустимых значений температуры воздуха в помещении через интерфейс пользователя. Контроллер начинает непрерывное считывание показаний с датчика углекислого газа, датчика влажности и датчика температуры и сравнение фактических показаний с границами соответствующих диапазонов допустимых значений. При превышении фактических значений концентрации углекислого газа или влажности воздуха в помещении, определяемых датчиками содержания углекислого газа и датчиком влажности, максимальных значений, заданных пользователем, контроллер подаёт управляющий сигнал в механизм регулирования воздухообмена с целью увеличения воздухообмена с внешней сре-

дой, например, путём открывания окна для проветривания помещения. При снижении фактических значений концентрации углекислого газа и влажности воздуха в помещении, определяемых датчиками содержания углекислого газа и датчиком влажности, до нормальных уровней, заданных пользователем, или уменьшении фактических значений температуры в помещении до минимального значения, заданного пользователем, контроллер подаёт управляющий сигнал в механизм регулирования воздухообмена с целью снижения воздухообмена с внешней средой, например, путём закрывания окна и прекращения проветривания помещения.

При превышении фактического значения температуры воздуха в помещении, определяемого датчиком температуры, максимального значения температуры воздуха, заданного пользователем, контроллер подаёт управляющий сигнал в исполнительный механизм регулирования температуры, который снижает мощность системы отопления, например, путем закрывания шарового крана на отопительном приборе с целью снижения средней температуры воздуха в помещении. При снижении фактического значения температуры воздуха в помещении, определяемого датчиком температуры, ниже минимального значения температуры воздуха, заданного пользователем, контроллер подаёт управляющий сигнал в исполнительный механизм регулирования температуры, который повышает мощность системы отопления, например, путем открывания шарового крана на отопительном приборе с целью увеличения средней температуры воздуха в помещении. Если значения концентрации углекислого газа, влажности воздуха и температуры помещения находятся в пределах установленных пользователем значений, то контроллер не подаёт управляющих команд на механизмы регулирования воздухообмена и температуры. В любой момент работы системы управления микроклиматом контроллер при помощи интерфейса пользователя выводит информацию о состоянии микроклимата помещения.

**Экспериментальный образец системы управления микроклиматом.** Создан экспериментальный образец представленной системы, внешний вид которой показан на рис. 2 *а, б*. Система содержит блок индикации и управления, рис. 2 *в*, блок датчиков *1*, механизм регулирования воздухообмена *2*, механизм регулирования температуры *3*. Блок управления и индикации системы автоматического управления микроклиматом помещений включает в себя: контроллер ArduinoMega 2560 [12, 13], драйвер двигателей MotorShield (2 канала, 2 А), драйвер двигателей L298N, повышающий преобразователь напряжения DC-DC 3,5–30 *В* на преобразователе LM 2587, текстовый экран MT-20S4A v.2 20x4 *4*, 3 зелёно-красных светодиода *5*, 4 переключателя *6, 7, 8, 9*, матричную клавиатуру 4*4 *10*.




*а* *б* *в*

**Рис. 2 *а, б*.** Внешний вид экспериментального образца системы автоматического управления микроклиматом помещений; *в* – блок управления и индикации.

Драйвер двигателей MotorShield используется для управления механизмом регулирования воздухообмена, а драйвер двигателей L298N – для управления механизмом регулирования температуры. Текстовый экран и 3 зелёно-красных светодиода используются для отображения информации о состоянии микроклимата: содержании углекислого газа, влажности и температуры. Переключатели *6* и *9* используются для выключения автоматического режима управления механизмами регулирования воздухообменаи температуры, а переключатели *7* и *8* – для

ручного управления этими механизмами. С помощью матричной клавиатуры пользователем вводятся допустимые уровни концентрации углекислого газа и влажности воздуха и границы диапазона допустимых значений температуры воздуха в помещении. Блок датчиков системы автоматического управления микроклиматом помещений содержит инфракрасный датчик углекислого газа $CO_2$MH-Z16 и датчик температурыи влажности DHT 22. В качестве механизма регулирования воздухообмена системы автоматического управления микроклиматом помещений используетсяцепной электропривод GIESSE VARIA 24V [14]. Шаровый кран с электроприводом Gidrolock Ultimate 3/4 12V выбран как механизм регулирования температур [15].

**Влияние системы управления на параметры микроклимата помещения.** Экспериментальный образец системы управления установлен в жилом помещении площадью 14 м$^2$. В качестве исполнительного механизма применялся механизм регулирования воздухообмена – цепной электропривод открывания и закрывания окна. Контрольные значения температуры и углекислого газа определялись при помощи прибора Extech CO200, оснащенного оптическим датчиком содержания углекислого газа, датчиками влажности и температуры. Измерения параметров микроклимата проводились в течение 7 часов, с интервалом регистрации показаний 1 мин. Графики изменения температуры и влажности в жилом помещении с установленным образцом системы управления микроклиматом показаны на рис. 4.

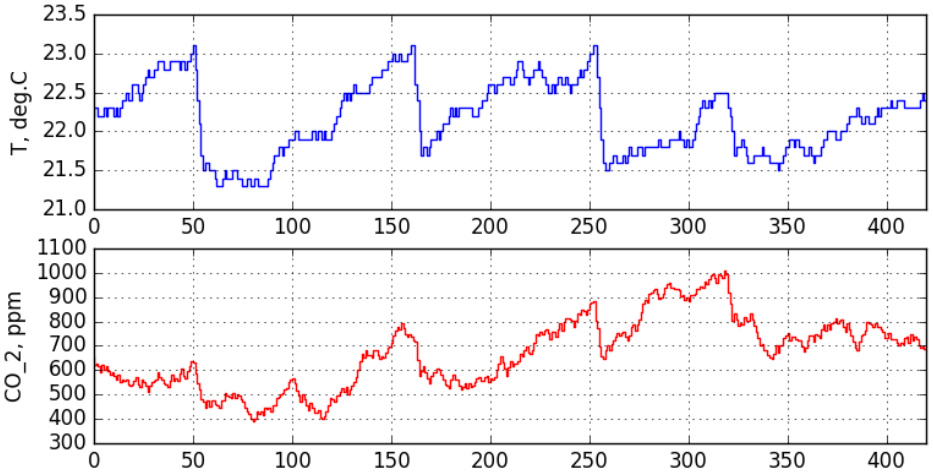



**Рис. 4.** Графики изменения температуры и влажности в помещении площадью 14 м$^2$ с установленным экспериментальным образцом системы управления микроклиматом в течение 7 часов:
T – температура, ºC;
CO_2 – содержание углекислого газа, ppm.

Пороговыми значениями диапазона допустимых значений температуры выбраны 22 и 23ºC, концентрации углекислого газа – 1000 ppm. Концентрация 400 ppm соответствует воздуху на улице. На графиках виды моменты резкого спада температуры и концентрации углекислого газа, вызванных открыванием окна. Снижение температуры в некоторые моменты времени ниже порогового значения 22ºC объясняется тепловой инерцией помещения и продолжающейся конвекцией воздуха после закрывания окна. Резкие перепады концентрации углекислого газа вызваны также конвекцией. В целом, температура и содержание углекислого газа поддерживалось в заданных пределах, что подтверждает работоспособность экспериментального образца устройства. Ожидается, что применение разработанного устройства позволит сократить удельную стоимость отопления помещений на 80 % и более по сравнению с традиционным способом регулирования при сохранении параметров микроклимата в заданных пределах. Дальнейшие исследования направлены на совершенствование алгоритмов управления и адаптацию разработанной системы для помещений различных типов.

**Выводы**

1. Высокая концентрация углекислого газа, выделяемого в процессе дыхания, может снижать работоспособность и ухудшать самочувствие людей. Недостаточная проработка путей решения этих проблемных вопросов в литературных источниках подтверждает актуальность разработки системы автоматического управления микроклиматом.
2. Предложена блок-схема системы управления микроклиматом, а также алгоритм её работы. Система содержит контроллер, интерфейс пользователя, датчики содержания углекислого газа

в воздухе, влажности и температуры, исполнительный механизм регулирования воздухообмена. При необходимости система может дополнительно содержать исполнительный механизм регулирования температуры.
3. Создан экспериментальный образец устройства управления, содержащий блок индикации и управления, блок датчиков, цепной электропривод для управления окном, шаровый кран с электроприводом для управления расходом теплоносителя в отопительном приборе.
4. Экспериментальный образец системы управления, установленный в жилом помещении, позволяет нормализовать параметры микроклимата и сократить удельную стоимость отопления исследуемого помещения по сравнению с традиционным способом регулирования при сохранении параметров микроклимата в заданных пределах.

**Список литературы**

[1] Микроклимат и его влияние на человека // Ecotecoecology of technology economy. – 2013.– № 10 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ecoteco.ru/library/magazine/zhurnal–10/ekologiya/mikroklimat–i–ego–vliyanie–na–cheloveka/, свободный.
[2] Патент РФ № 2348061, 27.02.2009, Масов М.Н. Система автоматического регулирования отопления здания с автоматическим задатчиком.
[3] Патент РФ № 2141081, 10.11.1999, Джозеф Д.Рилей, Марк Х.Попек. Устройство и способ для управления уровнями характеристик искусственного микроклимата в помещении.
[4] Патент РФ № 2247422, 27.02.2005, Потапенко А.Н., Белоусов А.В., Потапенко Е.А., Костриков С.В. Система автоматического регулирования отопления здания с учётом климатических факторов.
[5] ГОСТ 30494–2011. Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – Взамен ГОСТ 30494–96; введ. 2013–01–01. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 12 с.
[6] СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: Санитарные правила и нормы. – Взамен «Санитарных норм микроклимата производственных помещений», утвержденных Минздравом СССР от 31.03.86, № 4088–86; введ. 1996–10–01. – М.: Информационно–издательский центр Минздрава России, 1997. – 11 с.
[7] Бодров В.И., Бодров М.В. и др. Микроклимат зданий и сооружений. – Нижний Новгород: Арабеск, 2001. С. 25–37.
[8] Кувшинов Ю.Я., Самарин О.Д.Основы обеспечения микроклимата зданий. – АСВ, 2012. С. 7–14.
[9] Микроклимат помещений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ekontrol.ru/climate/, свободный.
[10] Байдаров А.А., Южаков А.А., Лоскутов А.А. Интеллектуальные системы управления микроклиматом помещений. Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – М.: Радиотехника, 2016. – С. 14–17.
[11] Булгаков А.Г., Аль Джубури Иссам Мохамед Али Нечёткая система управления микроклиматом помещений зданий // Известия высших учебных заведений. Северо–кавказский регион. Серия: Технические науки. – Ростов–на–Дону: Южный Федеральный университет, 2009. – С. 31–37.
[12] ArduinoMega 2560 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardMega2560, свободный.
[13] Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino / Freeduino / У. Соммер. – СПб.: БХВ–Петербург, 2012. – 256 с.: ил. – (Электроника)
[14] Цепной электропривод Вариа (Varia) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pochini–okno.tiu.ru/p1105910–tsepnoj–elektroprivod–varia.html, свободный.
[15] Шаровой кран с электроприводом GIDROLOCK ULTIMATE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://gidrolock.ru/ru/page–gidrolock–ultimate, свободный.

# ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ МОЩНОСТЕЙ В СЛОЖНОЗАМКУТЫХ ВОЗДУШНЫХ СЕТЯХ 10 КВ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ И УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**В.Т. Сидорова, В.В. Карчин**

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

Определение рациональной точки размыкания воздушной сети, соответствующей минимуму потерь активной мощности, является довольно трудоемкой задачей. Поэтому на практике эта точка берется произвольно, что ведет к значительным потерям активной мощности и напряжения. В настоящее время не существуют методики определения точки разрыва для сложнозамкнутых воздушных сетей 10 кВ, учитывающей потери мощности в линии и реальные значения напряжения, что приводит неверному определению точки разрыва. В данной работе разработана методика определения оптимальной точки размыкания сложнозамкнутых сетей 10 кВ, обеспечивающая минимальные потери активной мощности и напряжения. Справедливость предлагаемой методики проверена на примере нескольких типичных сетей 10 кВ.
**Ключевые слова:** потокораспределение мощностей, сложнозамкнутые сети 10 кВ, точка размыкания, потери активной мощности

**1. Введение.** Электрические сети соединяют потребителей электроэнергии с источниками питания, по ним передается энергия от мест выработки к местам потребления. Технические характеристики линий оказывают большое влияние при передаче и распределении электроэнергии в цепочке электростанция (подстанция) – потребитель. Затраты на сооружение и эксплуатацию электрической сети велики, вследствие этого при решении ее развития или реконструкции необходимо проводить технико-экономический анализ с целью нахождения наиболее экономичного решения.

В условиях эксплуатации в сетевых компаниях определения экономичности означает нахождение рациональной нагрузки линий, трансформаторов на подстанциях, применение схем питания, обеспечивающих при этом минимальные потери.

Для повышения надежности питания потребителей применяют замкнутые схемы. Под такими схемами понимают такие схемы, в которых потребители получают питание не менее чем с двух сторон. Практически все замкнутые сети неоднородны из-за неодинаковости отношения реактивных сопротивлений к активным – $X_i/R_i$ на каждом участке сети. Для достижения минимальных потерь мощности в линии с двусторонним питанием необходимо принудительно добиться экономического потокораспределения. Способ размыкания неоднородных контуров сети широко применяется как в распределительных сетях до напряжения 110 кВ, так и в местах более высокого напряжения. Определение рациональной точки размыкания воздушной кольцевой сети, соответствующей минимуму потерь активной мощности, является довольно трудоемкой задачей. Поэтому на практике эта точка берется произвольно, что ведет к значительным потерям активной мощности [1].

Наибольшая неоднородность наблюдается в замкнутых сетях разных номинальных напряжений, связанных между собой через обмотки трансформаторов. Выбор точки размыкания должен осуществляться по критерию минимизации потерь активной мощности и электроэнергии. Поэтому необходимо периодически анализировать потоки мощности в петлевых сетях, для выявления оптимальных точек раздела сети [2].

**2. Методики определения точки размыкания.** Существуют две основные методики определения точки экономического потокораздела: без учета потерь мощности в линии [1] и с учетом потерь мощности на каждом из участков [3].

Чаще всего, для упрощения расчетов применяется первая методика, что приводит к неточному ее определению и как следствие – к дополнительным потерям.

Для определения точки экономического потокораздела с учетом потерь мощности необходимо:

1. привести исходную схему сети к схеме с двойным питанием;
2. определить точку потокораздела естественного распределения мощностей с учетом потерь мощностей в линии;
3. если в данной точке возможно осуществить разрыв сети с точки зрения надежности электроснабжения, определить потери активной мощности;
4. иначе выбрать за точку разрыва ближайшую из точек, в которой потери активной мощности будут минимальные.

В данной работе было исследовано несколько типичных воздушных сетей 10 кВ с помощью обоих методик. Для расчета использовались данные плановых замеров (активная мощность потребителей, коэффициент мощности, напряжение, поопорная схема с данными марок и длины участков линии). На рисунке 1 приведен пример одной из исследованных линий.

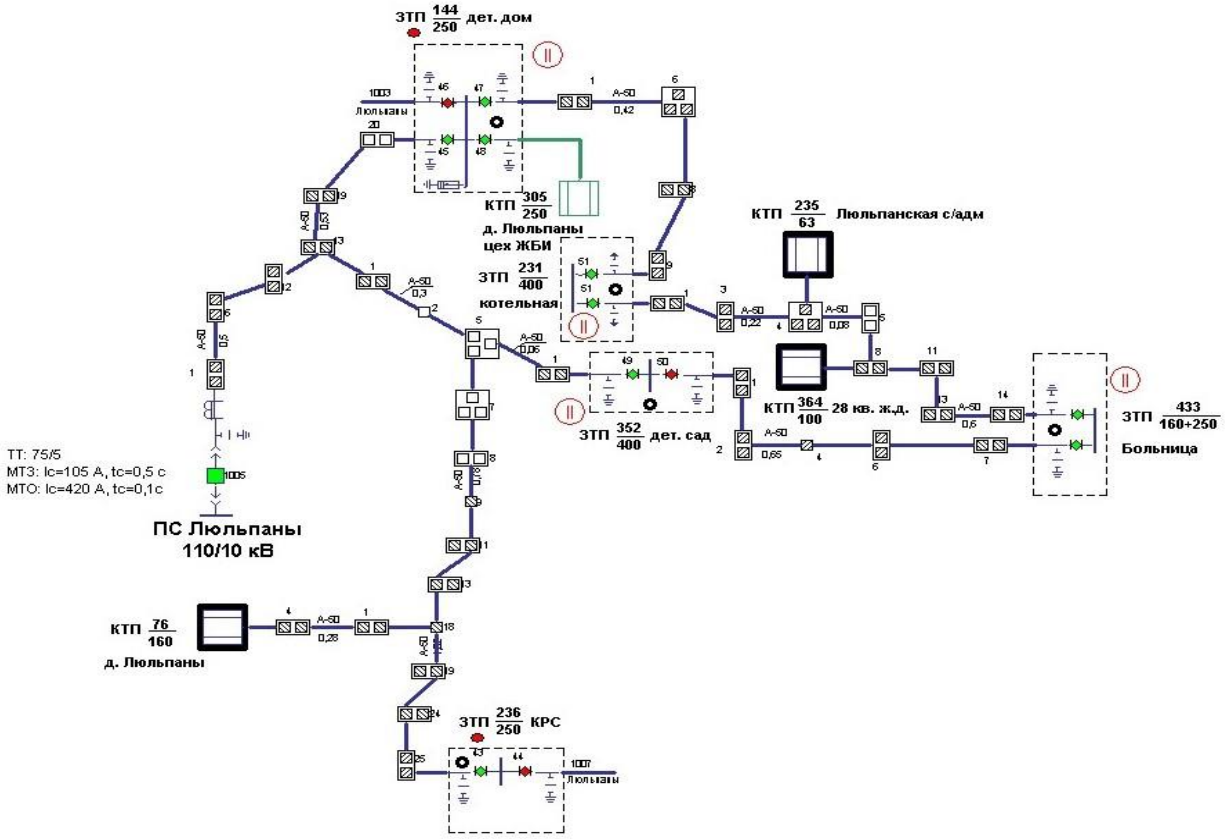



**Рис. 1.** Пример одной из исследованных линий 10 кВ

На рисунке 2 приведена схема той же самой линии, приведённая к схеме с двойным питанием. Определение точки потокораздела мощности осуществляют исходя из условия:

$$\sum_{i,j}^{n} S_{ij} \cdot R_{ij} = 0,$$

$S_{ij}$ – поток мощности рассматриваемого участка (кВА), $R_{ij}$ – сопротивление рассматриваемого участка (Ом).

Определение потоков мощности по участкам с учетом потерь мощности осуществляется по формуле:

$$S_{ij} = S_i + \frac{S_i^2}{U_{\text{ном}}^2}(R_i, +jX_i),$$

$S_i$ – мощность нагрузки в соответствующем узле (кВА), $Ri$, $X_i$ – активное и реактивное сопротивление рассматриваемого участка, соответственно (Ом).

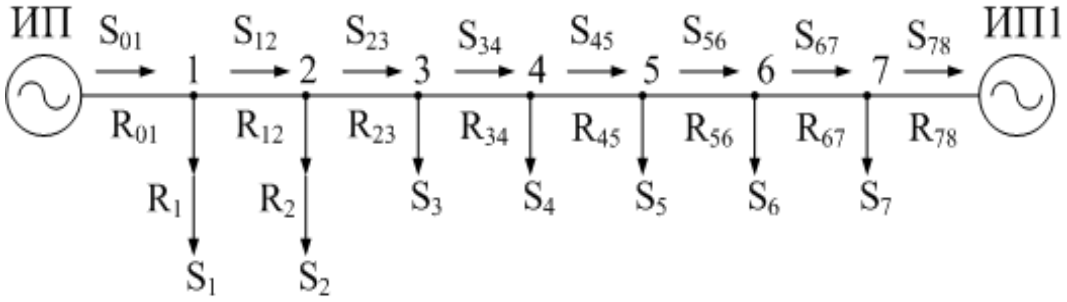



**Рис. 2.** Схема с двойным питанием

Суммарные потери мощности, соответствующие местоположению точки потокораздела:

$$\Delta P_c = \sum_{i,j=1}^{n} \frac{S_{ij}^2}{U^2} \cdot R_{ij}.$$

Расчет проведен в программе Mathcad.

**Заключение**

Проведен анализ с помощью двух методик расчета на примере нескольких сетей 10 кВ с учетом и без учета потерь мощности в линии. При учете потерь мощности в линии точка экономического потокораздела совпала с фактической точкой в сети. Без учета потерь рациональная точка потокораздела не совпала с фактической. Анализирую полученные результаты можно сделать вывод о необходимости учета потерь мощности непосредственно на линии и фактических значений напряжения на ее участках. При таком учете можно уменьшить потери мощности на 2 %. Далее планируется исследование других неоднородных сельских сетей 35-110 кВ, исследование особенностей таких сетей и общего алгоритма определения точки деления сети, обеспечивающей минимальные потери мощности, минимальные значения отклонения напряжения и необходимую надежность электроснабжения.

**Список литературы**

[1] А.А. Герасименко, В.Т. Федин *Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие,* КНОРУС, Москва (2012).
[2] 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).
[3] А.В. Лыкин *Электрические системы и сети*, НГТУ, Новосибирск (2002).

# ЭЛЕКТРОИСКРОВАЯ ПОДГОНКА ПЕРЕМЕННЫХ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

**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 обзору различных методов корректировки величины сопротивления и функциональной характеристики переменных резисторов, их преимуществам и недостаткам. Особое внимание уделяется электроискровой подгонке переменных резисторов и кинетике процесса как важному показателю эффективности.

The article is devoted to the review of different methods of resistance and functional characteristic adjustment of variable resistors, advantages and disadvantages of them. Particular attention on electrospark trimming of variable resistors and process kinetics as the important efficiency index is also given.

**1. Введение.** В связи с активным развитием электронной промышленности производство электронных компонентов увеличивается с каждым годом на 10-20%. Одним из основных электронных компонентов является резистор. Объемы мирового выпуска резисторов сегодня достигают более 500 млрд. шт. в год.

Основное назначение резисторов в электронных схемах – управление и регулирование энергетических и информационных потоков как внутри отдельных электронных схем, так и между ними. Использование резисторов в каждом конкретном случае зависит от типа электронной схемы и применяемых пассивных и активных изделий электронной техники. Поэтому точность функционирования электронных схем напрямую зависит от точности резисторов, в том числе переменных и подстроечных.

В зависимости от точности резисторы делятся на резисторы общего назначения и специальные (прецизионные и суперпрецизионные). Резисторы общего назначения используются в качестве различных нагрузок, поглотителей и делителей в цепях питания, элементов фильтров, в цепях формирования импульсов и т. п. Допускаемые отклонения сопротивления от номинального значения: ±1; ±2; ±5; ±10; ±20%. Прецизионные и суперпрецизионные резисторы отличаются высокой стабильностью параметров при эксплуатации и большой точностью изготовления (от ±0,0005 до 0,5%). Они применяются в измерительных приборах, вычислительной технике и системах автоматики.

В зависимости от технологии изготовления резисторы делятся на проволочные и непроволочные. Проволочным резисторам практически нет замены при производстве высокоомных прецизионных и суперпрецизионных резисторов. Такие резисторы выпускаются многими фирмами, например, «Caddock», «Vishay» и др. Поэтому проволочная технология в настоящее время используется для изготовления прецизионных и суперпрецизионных высокоомных резисторов, а также до сих пор на ее основе осуществляется производство прецизионных проволочных потенциометров, которые достаточно часто используются как датчики положения и угла [1].

Однако самыми массовыми являются толстопленочные резисторы из-за оптимального соотношения «цена - качество». Но недостатком толстопленочной технологии является низкая точность резистора (отклонение от требуемого номинала может достигать ±20%). Чтобы повысить точность толстопленочных резисторов их подвергают подгонке. При этом резистивный слой подвергается воздействию, которое может носить разрушительный характер. Для постоянных резисторов это не имеет существенного значения, но для переменных резисторов это может привести к изменению функциональной характеристики и выходу его из строя. Таким образом, для подгонки переменных толстопленочных резисторов предъявляются более

высокие требования. Далее будут рассмотрены основные методы для подгонки переменных резистивных элементов.

**2. Цель работы.** Разработка и исследование электроискрового способа подгонки переменных резисторов.

**3. Решаемые задачи.** Аналитический обзор существующих методов подгонки переменных резисторов, выявление их преимуществ и недостатков. Разработка электроискрового метода корректировки на примере переменных резисторов марки СП3-44а. Исследование кинетики подгонки толстопленочных резисторов.

**4. Интерпретация результатов.** В отличие от постоянных резисторов подгонка переменных резисторов является более сложным процессом, поскольку необходимо контролировать сопротивление и при этом не допустить значительного разрушения резистивного слоя, проявляющегося в сильном искажении функциональной характеристики. Различают несколько способов подгонки переменных резисторов:

1) осуществление непрерывной выборки резистивного материала вдоль резистивной полоски;
2) дискретная подгонка сопротивления путем проведения серии радиальных резов с определенным шагом;
3) равномерное удаление пленки со всей поверхности резистивной полоски (изменение толщины пленки);
4) изменение величины сопротивления за счет структурных преобразований в материале резистивного слоя.

Исторически первым способом являлось осуществление непрерывной выборки резистивного материала вдоль резистивной полоски, заключающейся в механическом удалении резистивного слоя в продольном направлении (рисунок 1).

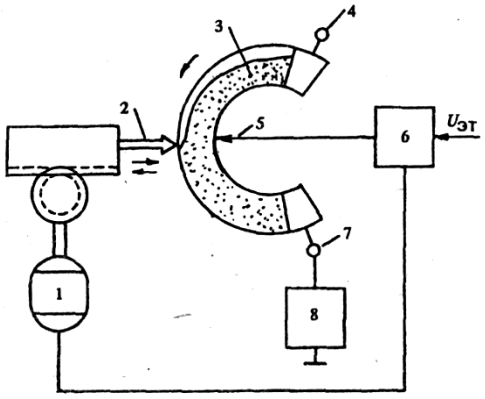



**Рис. 1.** Корректировка сопротивления переменного резистора на основе сравнения с эталонной характеристикой

В основе работы устройства лежит воздействие режущим инструментом 2, приводимым в движение с помощью двигателя 1, управляемого устройством сравнения 6. Измерительный зонд 5 и режущий инструмент 2 находятся на одном уровне, что позволяет корректировать сопротивление до момента равенства измеряемого напряжения с эталонным $U_{эт}$. Резистор 3 подключается к источнику тока 8 через узлы 4 и 7. Недостатками данного вида подгонки являются невозможность определить заранее осуществимость подгонки и низкая скорость подгонки (порядка 15°/мин), Существенно улучшить показатели процесса корректировки (точность и чистоту профилирования, производительность) позволило использование в качестве режущего инструмента луча лазера, предложенное японскими учеными.

На основе лазерного излучения был разработан способ дискретного воздействия путем проведения серии радиальных резов с определенным шагом (рисунок 2).

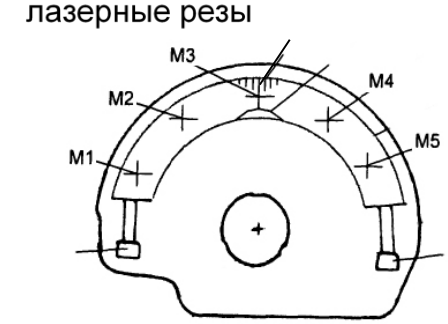



**Рис. 2.** Лазерная подгонка переменных резисторов

Принцип лазерной подгонки идентичен механическому способу, только вместо режущего инструмента используется лазер. Эти два способа позволяют корректировать сопротивление резисторов при одновременном изменении функциональной характеристики и носят разрушительный характер, поскольку применяется лазер и режущий инструмент.

В случае равномерного изменения толщины пленки функциональная характеристика практически не меняется. Корректировка сводится к сошлифовыванию поверхности скольжения резистора при помощи цилиндрического шлифовального диска с одновременным контролем величины сопротивления. Способ отличается простотой реализации и высокой производительностью. При этом вместе с подгонкой сопротивления осуществляется полировка рабочей поверхности скольжения, что уменьшает шумы резистора. Недостатком метода является его применимость только для тех резисторов, функциональные характеристики которых соответствуют норме [2].

Наряду с вышеописанными методами подгонки корректировка величины сопротивления переменных резисторов может базироваться за счет структурных преобразований в материале резистивного слоя:

а) изменение сопротивления в результате проведения высокотемпературных операций (повторных циклов обжига);

б) изменение сопротивления за счет пропускания через резистивный элемент импульсов высокого напряжения;

в) изменение сопротивления под воздействием электроискрового разряда.

На сегодняшний день они являются более предпочтительными, так как не влияют на функциональную характеристику резисторов, но в свою очередь, не позволяют корректировать ее.

Этих недостатков лишен электроискровой способ подгонки, принцип которого заключается в воздействии электрической искрой на поверхность резистивного слоя, что, в свою очередь, вызывает структурные изменения, но не приводит к разрушению слоя. Однако, при неверных параметрах искры и/или продолжительном воздействии в одно и то же место, электроискровое воздействие также может привести к разрушению резистивного слоя. Схема установки электроискровой подгонки резисторов показана на рисунке 3.

При подгонке напряжение прикладывается между электродом Э и телом резистора $R_x$, причем электрод Э располагается на некотором расстоянии от резистора $R_x$ (обычно в пределах от 100 до 2500 мкм). Прикладываемое напряжение носит импульсный характер, что приводит к периодическому пробою искрового промежутка. Частота повторения разрядных импульсов – от десятков герц до десятков килогерц, рабочее напряжение – от сотен вольт до нескольких киловольт. Для обеспечения двунаправленной подгонки в состав установки подгонки входят низкочастотный (0,05 - 3 кГц) и высокочастотный (10 - 20 кГц) генераторы.

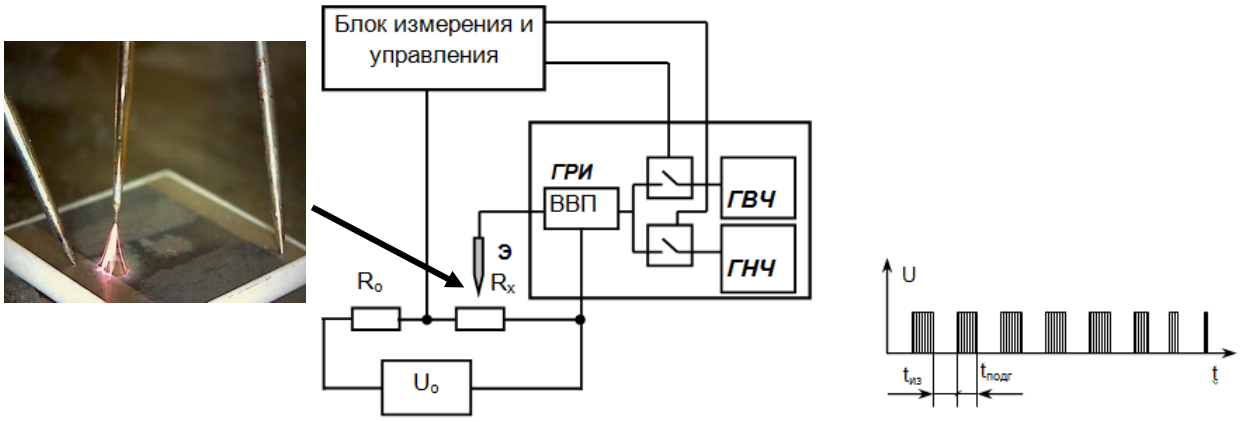
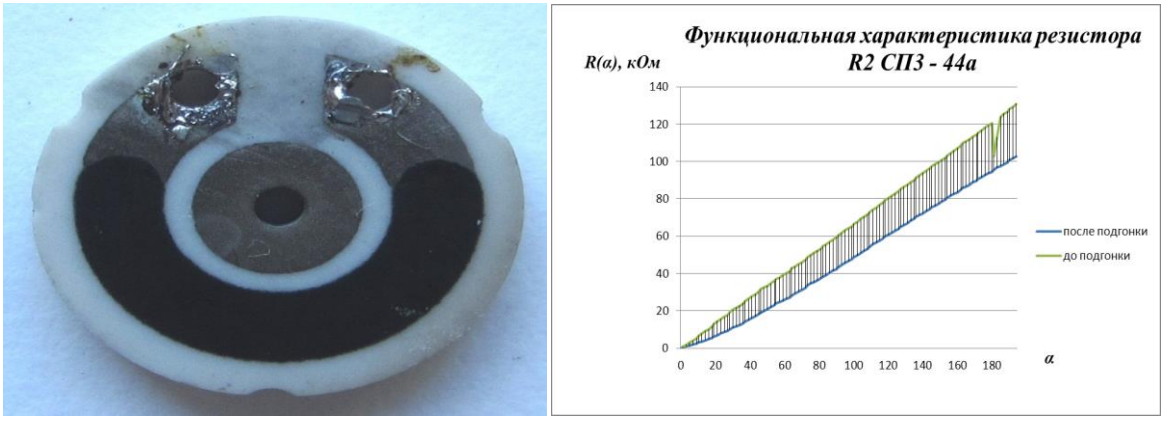



**Рис. 3.** Схема установки:
ГРИ – генератор разрядных импульсов; ГВЧ и ГНЧ – генераторы высокой и низкой частоты; ВВП – высоковольтный преобразователь; Э – электрод

Процесс подгонки электроискровым разрядом обычно состоит из чередующихся циклов подгонки ($t_{подг}$) и циклов измерения ($t_{из}$). В цикле подгонки на разрядный электрод подается серия высоковольтных импульсов, что вызывает пробой разрядного промежутка и приводит к структурным изменениям. Блок измерения и управления снимает потенциал между подгоняемым $R_x$ и эталонным $R_o$ резисторами и, в зависимости от потенциала, задает необходимую форму разряда. Для повышения точности измерения используется источник опорного напряжения $U_o$ [3].

Подгонка переменных резисторов марки СП3-44а (рисунок 4а) показала возможность практического применения этого метода в целях корректировки сопротивления и функциональной характеристики (рисунок 4б).



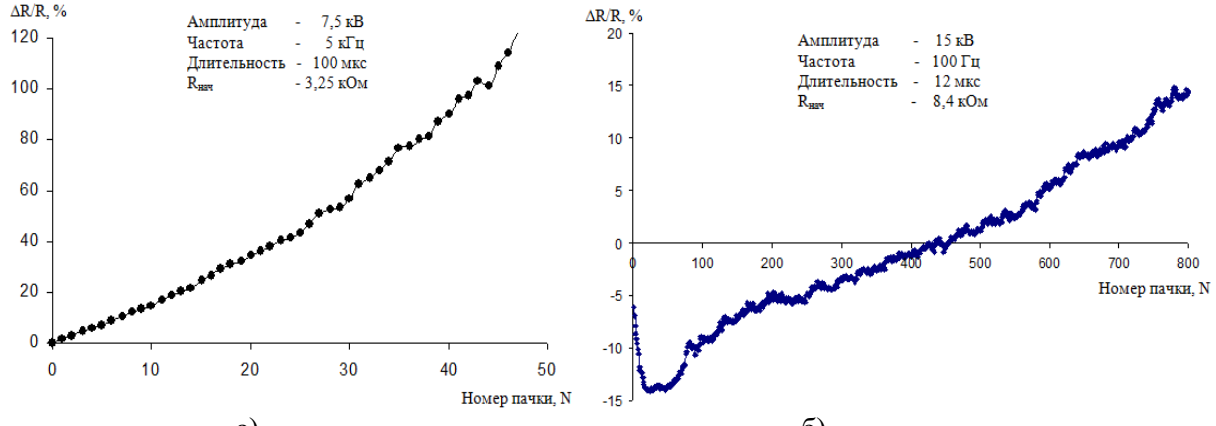

а) б)

**Рис. 4.** Электроискровая подгонка резистора СП3-44а (а) и его функциональная характеристика (б)

Как видно из рисунка 4б функциональная характеристика после подгонки стала линейной, и при этом резистивный слой остался без видимых следов воздействия.

Однако практика показывает, что и электроискровая подгонка может проходить с разрушением резистивного слоя. Это обусловлено тем, что при определенных параметрах (амплитуда, частота, длительность импульсов), электрическая искра может принимать форму плазменного шнура. В таком случае на резистивном слое могут оставаться следы воздействия, а характеристика резистора сильно искажается. Это в свою очередь подвигло на экспериментальные исследования кинетики подгонки для того, чтобы оценить процесс протекания относительного изменения сопротивления во время подгонки.

Таким образом, удалось отследить 2 типа характера изменения сопротивления, которые показаны на рисунке 5.




а) б)

**Рис. 5.** Кинетика электроискровой подгонки резисторов без разрушения (а) и с разрушением (б) резистивного слоя

На рисунке 5а представлен график, показывающий значительное относительное изменение сопротивления (120%) за 50 пачек импульсов. Такой процесс протекает мгновенно и не разрушает резистивный слой. На рисунке 5б представлен график, показывающий незначительное изменение сопротивления (не более 20%) за 800 пачек импульсов. Этот процесс протекает неэффективно и вызывает разрушение, поскольку воздействие на резистивный слой достаточно продолжительное. Кинетика подгонки зависит от многих факторов, таких как параметры импульсов (амплитуда, частота, длительность), материала резистивного слоя, начального сопротивления резистора, расстояния от разрядного электрода до поверхности резистора. Так более высокая частота ускоряет процесс подгонки, но на пониженных частотах подгонка осуществляется качественнее.

**5. Выводы.** Следует отметить, что вышерассмотренные способы подгонки переменных резисторов на основе механического воздействия и лазерного излучения носят разрушительный характер ввиду применения таких методов воздействия как лазер и режущий инструмент. Исследование этих методов показало их жизнеспособность, но присутствие массы недостатков, таких как скорость подгонки, разрушение пленки, сильно ограничивает их применение. Наиболее перспективным является метод, основанный на структурных изменениях в пленке, а именно электроискровой метод. Он позволяет не только корректировать сопротивление, но и функциональную характеристику резисторов не разрушая резистивный слой, что подтверждено результатами исследований. Но сложность этого метода заключается в необходимости контроля множества параметров, поскольку при неверных параметрах кинетика подгонки может проходить неэффективно (<20% за 800 пачек).

**Список литературы**

[1] Недорезов, В.Г. Резисторы и их классификация // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2006. – Т. 1.

[2] Сапрыкин, Л. Лазерные машины нового поколения в производстве электронных компонентов [Текст] / Л. Сапрыкин, М. Миленький // Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 2004. – С. 72-74.

[3] Леухин, В.Н. Технология электроискровой подгонки / В.Н. Леухин, Е.В. Шабдаров, И.Д. Блинов // Труды ПГТУ. Сер.: Технологическая. Вып. 3. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – С. 99-104.

# КОРПУС-ЭКРАН МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ

**В.Н. Игумнов**

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»
*e-mail: igumnovvn@volgatech.net*

В данной работе предложен новый способ экранирования интегральной микросхемы от магнитных полей с помощью высокотемпературной сверхпроводниковой пленки. Получены соотношения, с помощью которых можно выбрать режимы создания корпуса-экрана для определенного высокотемпературного сверхпроводника.

This paper proposes a new method of IC screening from magnetic fields using high-temperature superconducting films. Correlations with the help of which you can choose to create modes screen enclosures-a certain high-temperature superconductor.

**1. Введение.** В настоящее время необходимость точных магнитных измерений возникает в самых различных областях науки, техники, медицины. Все более чувствительные магнитометрические приборы применяются в самых различных отраслях. Однако, проведение высокоточных магнитных измерений, исследования и испытания высокочувствительных магнитометрических приборов и устройств, а также их эксплуатация в сильной степени затруднены, а во многих случаях и невозможны из-за высокого уровня магнитных помех. Помехи эти создаются самыми разными источниками: естественными вариациями магнитного поля Земли, электромагнитными полями промышленных установок, линиями электротяги и транспорта и т.д. Например, в лаборатории, расположенной в пределах промышленного города, уровень магнитных полей в среднем составляет 0,4 – 0,6А/м, в то время как предельная чувствительность большинства магнитометров лежит в пределах 10-8 – 10-3 А/м. Отсюда видно, насколько важное значение приобретают усилия, направленные на решение проблем магнитной защиты, на создание магнитных экранов, частично или полностью поглощающих магнитные помехи.

Различают три основных способа экранирования магнитных полей. Первый способ – использование экранов из ферромагнитных материалов. Второй способ – компенсация постоянных и изменяющихся магнитных полей: с помощью системы катушек с током, расположенных оптимальным образом вокруг защищенного объекта, создаются магнитные поля, противоположные полям помехи с той же напряженностью. Третий способ – использование экранов из низкотемпературных или высокотемпературных сверхпроводниковых материалов (НТСП или ВТСП). Действие экранов основано на фундаментальных законах: эффекте Мейсснера, нулевом электрическом сопротивлении, законе сохранения магнитного потока.

Причиной эффекта являются сверхтоки, которые возникают в сверхпроводнике и текут в его приповерхностном слое толщиной ~λ. На базе данного эффекта разработаны различные экраны как низко - так и высокотемпературные. Для ВТСП материалов характерна малая длина когерентности ($\xi_0$=$10^{-10}$–$10^{-9}$ м) в сравнении с низкотемпературными сверхпроводниками ($\xi_0$=$10^{-6}$ м). Это приводит к тому, что потенциальный барьер шириной более $\xi_0$ оказывается непрозрачным для сверхтока. Такой барьер возникает при контакте ВТСП покрытий основания и крышки корпуса при его сборке. Этот барьер будет препятствовать прохождения сверхпроводникового тока и создает участки, сквозь которые может проникнуть магнитное поле внутрь экрана. Для достижения результата потенциальный барьер должен быть уменьшен или ликвидирован.

**Целью данной работы** является разработка ВТСП экрана, свободного от указанных недостатков.

**2. Конструкция ВТСП экрана.** Нами была разработана конструкция экрана. На рис.1 представлен разрез корпуса экрана, на рис. 2 – увеличенный разрез области контакта до формовки. Корпус-экран содержит основание корпуса 1 с выводами 2, на котором установлено экранируемое устройство, например, микросхема 3. Он также содержит крышку корпуса 4. Материал корпуса – керамика ВК-98 ($Al_2O_3$). На основание и крышку корпуса наносят ВТСП покрытие Y-123 5 с окнами 6 для выводов корпуса, после чего крышку и основание корпуса соединяют. Зона контакта 7 представлена на рис. 2.

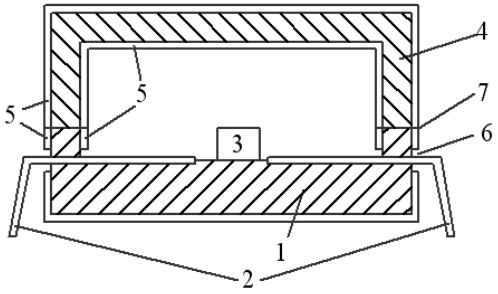



Рис. 1.

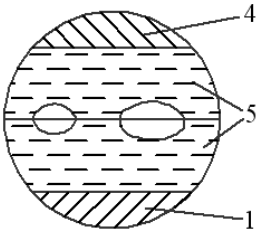



Рис. 2.

Поставленная цель достигается также тем, что после сборки к горизонтальным плоскостям крышки и основания корпуса прикладывают давление $P$, равное пределу текучести материала покрытия $\sigma_T$ и разность потенциалов $U_{ПП}$. Давление $P$ позволяет деформировать часть выступов пленки и обеспечить контакт. Напряжение $U_{ПП}$ обеспечивает ток, с помощью которого разогревают зону контакта до подплавления материала ВТСП $T_{ПП}$. В это же время $\Delta t$ происходит электродиффузионное заращивание дефектной зоны в контактной области ($\Delta t$ – время формовки контакта). Оно заканчивается, когда падение напряжения на контакте приближается к падению напряжения на аналогичном участке ВТСП пленки $U_0$. Тогда ток отключают. Впоследствии корпус герметизируют, например заливкой.

**3. Основные соотношения.** Условия формовки контакта крышка корпуса – основание выбирают из следующих соображений. Известно, что при протекании тока через контакт, удельное сопротивление перехода которого больше удельного сопротивления материала, перегрев $\theta$ на контакте определяется следующей формулой [2, с. 103]

$$\theta = \frac{U^2}{8\overline{\rho k}}, \tag{1}$$

где $\theta$ – температура перегрева, $\theta = T - T_0$;
$U$ – напряжение на контакте;
$\overline{\rho k}$ – среднее значение электро- и теплопроводности материала контакта;
$T_0$ – температура материала вне зоны контакта.
Температуру в контакте необходимо увеличить до температуры подплавления $T_{ПП}$, меньшей температуры плавления $T_{ПЛ}$. $T_{ПП} \approx 0{,}8\ T_{ПЛ}$.
Для достижения подплавления (1) можно переписать в виде

$$T_{ПП} = \frac{U_{ПП}^2}{8\overline{\rho k}} + T_0 . \tag{2}$$

Таким образом, используя (2) можно найти $U_{ПП}$ для ВТСП материала с параметрами $\overline{\rho k}$

$$U_{ПП} = \left[8\overline{\rho k}\left(T_{ПП} - T_0\right)\right]^{1/2}. \tag{3}$$

Среднее значение $\overline{\rho k}$ можно найти по известной формуле

$$\overline{\rho k} = \frac{1}{T_{ПП} - T_0}\int_{T_0}^{T_{ПП}} \rho(T)k(T)dT . \tag{4}$$

Известно, что с ростом температуры сопротивление растет. Для сопротивления стягивания контакта можно записать [2, с. 83]

$$\rho(T) = \rho_0\left(1 + \frac{2}{2}\alpha T\right), \tag{5}$$

где $\alpha$ – температурный коэффициент сопротивления (определяют по таблицам или результатам измерений).
Теплопроводность материала $k$ также является функцией температуры. В частности, можно использовать выражение

$$k(T) = AT + BT^3, \tag{6}$$

где $A$ и $B$ – коэффициенты, зависящие от состава и структуры материала (определяют по таблицам или результатам измерений).

**4. Результаты.** Используя выражения (4)-(6), можно определить напряжение, необходимое для формовки контакта. Время формовки контакта можно оценить по результату – удельному сопротивлению контакта $\rho_K$. Если оно становится сравнимым с удельным сопротивлением аналогичного участка ВТСП покрытия $\rho_0$, формовку заканчивают. Этот момент определяют, сравнивая падение напряжения на контакте $U_K$ и вне его $U_0$. Для этого к поверхности ВТСП покрытия подключаются контакты вдоль линии тока. Кроме того, условия перегрева в этом случае уменьшаются до нуля ($\rho_K \approx \rho_0$).

Именно такой способ позволяет уменьшить или ликвидировать барьер между крышкой и основанием корпуса и достичь технического результата. К основанию и крышке корпуса прикладывают давление 9 и разность потенциалов от источника 10 (рис. 2, 3).

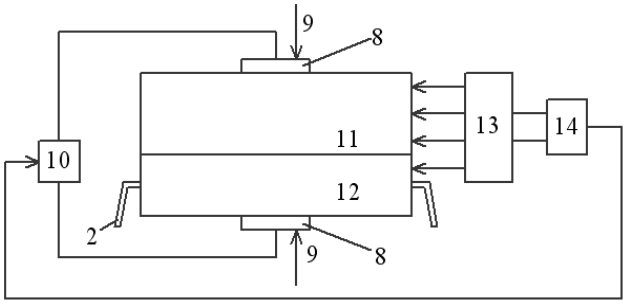



**Рис. 3.**

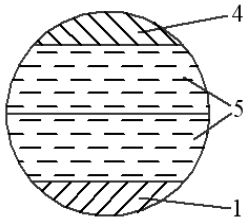



**Рис. 4.**

Давление составляло 10 ГПа. Разность потенциалов $U_{ПП}$ выбирали согласно (3)-(6) и $T_{ПП}$=1030К; $T_0$=300К,ρк =1,6·10$^{-4}$ Ом·Вт/К, $U_{ПП}$=0,8 В. Параллельно линиям тока были размещены контакты 11 и 12, с помощью которых регистрировали уменьшение контактного сопротивления. Эту функцию выполнили коммутатор 13 и компаратор 14. Последний отключил источник питания 10 в момент приближения величины $U_K$ к $U_0$. Время составило 15 с. Графики работы схемы проиллюстрированы на рис. 5 и рис. 6.

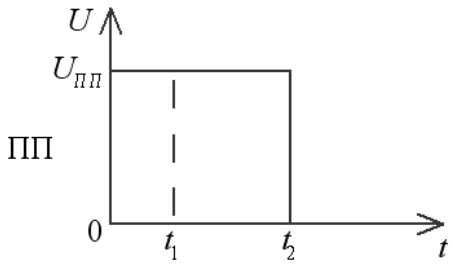



**Рис. 5.**

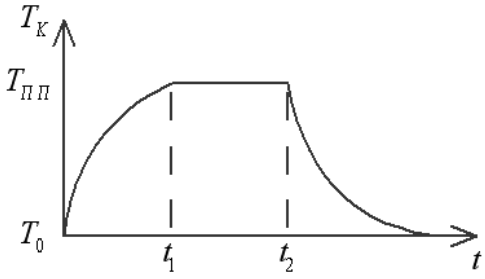



**Рис. 6.**

При включении разности потенциалов на корпусе температура контакта повышалась от $T_0$ до $T_{ПП}$ в интервале $t_2$–$t_1$ в зоне контакта происходила формовка, подплавление и диффузионное заращивание материала контакта. После окончания процесса формовки корпус герметизировали с помощью заливки эпоксидной смолой. Для проведения оценки магнитного поля внутрь корпуса-экрана непосредственно перед сборкой помещали датчик Холла, а после заливки корпус помещали в магнитное поле. Коэффициент ослабления внешнего магнитного поля составил порядка 3000.

**Список литературы**

1. Патент 24254385 РФ. Корпус-экран магнитного поля для микросхем и способ его изготовления/ В.Н. Игумнов, А.П. Большаков.2011. БИ 11.
2. Хольм Р. Электрические контакты. – М.: Изд. иностр. литературы, 1961. – 464 с.

# ПОДЛОЖКИ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**В. Н. Игумнов**

*ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»*
e-mail: isumnovvn(a),volsatech. Net

В данной работе исследованы методы получения подложек для ВТСП пленочных элементов. Такие подложки, как минимум не должны негативно влиять на свойства ВТСП покрытий. Нами разработаны и апробированы два способа получения таких пленок с уплотнением поверхности и с внедрением серебра. ВТСП пленочные элементы, созданные на таких подложках, обладают более высокими критическими параметрами.

Abstract in this paper investigated methods of obtaining substrates for HTSC film elements. Such substrates as a minimum should not adversely affect the properties of HTSC coatings. We have developed and tested two ways to obtain such films with sealing surface and with the introduction of silver. VTSP film elements created on such substrates have higher critical parameters.

**1. Введение.** В пленочной криоэлектронике роль подложек более значительна, чем в обычной пленочной электронике. Это связано с особенностями высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) материалов: перитектическим распадом при высоких температурах, необходимостью строгой выдержки стехиометрического состава и деградацией пленок при введении в них некоторых примесей. Поэтому выбор структуры и химического состава подложки является существенным для создания качественных тонких или толстых пленок. Негативное влияние подложки на ВТСП пленку может протекать по двум направлениям: физическому и химическому. В первом случае оно связано с инконгруэнтным плавлением ВТСП материала. Как уже отмечалось, эти материалы при достижении определенной температуры распадаются с образованием твердой и жидкой фаз. В определенных условиях охлаждение приводит к обратному процессу с образованием ВТСП фазы. Однако удаление части жидкой фазы делает обратную реакцию невозможной. Такое удаление возможно в результате всасывания при нагревании жидкости капиллярами подложки. При охлаждении подложки жидкость затвердевает в капиллярах, и химический состав ВТСП материалов не восстанавливается. Сверхпроводимость не проявляется. Из сказанного следует, что поверхность подложки для ВТСП пленок не должна иметь капилляров, она должна быть либо оплавлена, либо уплотнена каким-либо иным способом [1].

При выборе материала пленки необходимо учитывать температурные коэффициенты расширения материалов пленки и подложки. Существенная разность этих параметров приводит к разрушению покрытия – ведь перепад температур достигает 100 К.

Ряд материалов подложки, загрязняя пленку, приводит к снижению ее критических параметров или даже к полному подавлению сверхпроводимости в азотном диапазоне (более 77 К). Так, ряд атомов ферромагнетиков (Fe, Ni и др.) отрицательно влияют на параметры ВТСП и, естественно, не могут присутствовать в материале подложки. Кроме ферромагнетиков, неблагоприятное воздействие на критические параметры оказывает присутствие Al, Si и ряда других элементов. Однако AI**2**O**3** и SiC>**2** широко применяются в электронике. В связи с этим используют буферные подслои, разделяющие ВТСП пленку и такую подложку. В качестве подслоя используют пленки MgO, TarOз, LaF**3**, очень эффективен ZrC>**2**. Толщина подслоя ~ 20 нм.

Известно так же, что добавки серебра в керамическую подложку благотворно влияют на параметры ВТСП пленки [1].

**Цель исследования.** Целью работы являлось создание подложек для ВТСП толстых и тонких пленок, способных, как минимум не снижать свойств ВТСП элементов криоэлектроники.

В данной работе были исследованы два направления:

1. Уплотнение поверхностного слоя подложки с одновременным легированием
2. Создание металлокерамической подложки на основе MgO и серебра.

Известно, что при изготовлении электротехнических керамик при прессовании в порошок добавляется некоторое количество органического связующего **[3].** В качестве связки используют крахмал, поливиниловый спирт, декстрин, восковую эмульсию и другие материалы.

Связующее вещество вводят для проведения гранулирования керамического порошка при последующем придании механической плотности сформированной заготовке. Оно должно разлагаться и улетучиваться во время обжига при относительно низких температурах, не содержать неорганических веществ, остающихся после обжига в материале, хорошо распределяться в порошке и не прилипать к поверхности металлической формы, при этом позволять проводить гранулирование при введении ее в минимальном количестве.

При изучении процессов формирования поликристаллических подложек из оксида магния был использован порошок *MqO*, изготовленный фирмой Crystal Growth Technology (Голландия). Гранулометрический анализ показал, что данный порошок является полидисперсным и содержит частицы размером от 0,05 до 50 мкм (рисунок 3.28, до 50 % частиц диаметром 5 мкм).

При прессовании таблеток аксиальным прессованием было установлено, что порошок оксида магния в чистом виде не прессуется в диапазоне давлений от 20 до 100 МПа, т.е. не обладает пластичностью. После извлечения образцов из пресс-формы происходит разрушение целостности таблеток-прессовок. Поэтому возникла необходимость введения органического связующего и проведение гранулирования керамического порошка.

**Уплотнение поверхностного слоя** подложки с одновременным легированием. Как уже отмечалось подложки, полученные таким способом, могут иметь большие размеры и сложную форму, однако для некоторых материалов характерно наличие каналообразующих пор, проникающих под поверхность в глубь подложки. В процессе вжигания ВТСП-покрытий при нагреве часто происходит распад ВТСП-фазы с образованием другой фазы (несверхпроводящей) и жидкости (расплава). При охлаждении проходит обратная реакция и исходная ВТСП-фаза восстанавливается [1,2]. Однако если подложка имеет капилляры и жидкость смачивает подложку, то часть жидкости под действием капиллярных сил увлекается вглубь подложки, химический состав материала покрытия вблизи поверхности подложки изменяется. При охлаждении в этом объеме сверхпроводящая фаза не образуется. Эффективная толщина сверхпроводящего слоя будет зависеть от объема втянутой жидкости, т.е. от степени пористости подложки. Параметры ВТСП-элемента ухудшаются и сверхпроводимость может быть подавлена полностью.

**2. Описание экспериментов.** В данной работе осуществлялось уплотнение поверхностного слоя подложки.

**Пример 1.** Порошок $Y_2BaCuOs$ смешивали с 3% органического связующего, прессовали с помощью ручного гидравлического пресса с усилием 2 т в форме таблеток (D=10 мм, h=2 мм). После прессования заготовки подложек подвергали обжигу в цепи сопротивления с максимальной температурой 1100°С. После спекания подложки имели каналообразующую пористость порядка 2-4%. Было изготовлено 3 группы образцов. В поверхность образцов 1-ой группы механически втирали мелкодисперсный порошок $Y_2BaCuOs$ до заполнения поверхностных пор. В поверхность образцов 2-й группы также втирали порошок $Y_2BaCuOs$ с добавкой 10% $Ag0_2$. Образцы 3-й группы были контрольными. На поверхность всех образцов наносили пасту, содержащую ВТСП- фазу УВагСизО? и органическую связку, после чего пасту вжигали в цепи сопротивления с максимальной температурой 980°С. После охлаждения образцы исследовали, измеряли критические параметры. Контрольные образцы не обладали сверхпроводимостью, покрытые представляют собой смесь фаз $У_2ВаСиОз$ и УВагСизОу. Образцы 1-ой группы обладали сверхпроводимостью с плотностью критического тока 17 А/см. Образцы второй группы обладали сверхпроводимостью с плотностью критического тока 50 А/см.

Результаты проведенных исследований и анализ литературы [1,2] позволяют сделать следующие выводы. При температуре более 940°С происходит химическая реакция распада ВТСП-фазы с образованием жидкости (L) и газа $УВа_2Си_30_7$ -> $Y_2BaCu0_5$ +L+$0_2$. В контрольных образцах часть жидкости капиллярными силами была втянута в глубь подложки. При охлаждении происходил обратный химический процесс с образованием ВТСП-фазы. В контрольных образцах этот процесс прошел не до конца. В образцах с уплотненной поверхностью ВТСП-фаза восстановилась в большей степени, а легирующая добавка во второй группе увеличила степень восстановления сверхпроводящей фазы.

**Пример 2.** В поверхность таблеток (см. пример 1) втирали порошок электролитической меди (1-я группа) и этот же порошок с добавкой 3% порошка ZrO (2-я группа). Подложки 3-й группы служили контрольными. На поверхность всех подложек наносили пасту и затем вжигали (см.

пример 1). После вжигания контрольные образцы оставляли несверхпроводящими, образцы 1-ой и 2-ой групп обладали сверхпроводимостью с плотностью критического тока 25 и 40 А/см$^2$.

**Пример** 3. Прессованием с последующим спеканием готовили подложки на основе $A1_2O_3$ аналогично примеру 1. Готовые подложки имели открытые поры. В поверхность подложек 1-ой группы втирали серебро, а в поверхность подложек 2-ой группы – серебро, смешанное с 3% РЬО. Подложки 3-й группы оставались контрольными. На все подложки наносили и затем вжигали пасту на основе ВТСП-порошка $Bi_2Sr_2CaCu_20s$. Результаты измерений показали, что контрольные образцы оставались несверхпроводящими, образцы 1-ой и 2-ой групп обладали сверхпроводимостью и плотностью критического тока соответственно 80 и 300 А/см .Это подтверждает достижение результата.

**Создание металлокерамической подложки на основе MgO и серебра.** Были приготовлены исходные смеси порошков *8Ag$_2$0'* начальное, до термообработки, масс, процентное содержание *AgjO (Ag)* в смеси прекурсоров) *Ag20* с содержанием *Ag20* от 0 до 50 масс. %. В исходные смеси добавляли 3 масс. % этилцеллюлозы растворенной в ацетоне, затем смеси гомогенизировали и высушивали (нагрев до $T$ = 50 °С, выдержка в течение 10-12 часов).

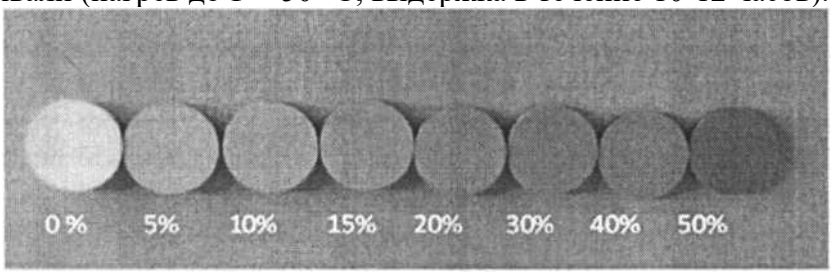



**Рис. 1**. Фотография наружных поверхностей образцов с различными начальными содержаниями ***Ag$_2$0*** (до спекания).

Из готовых порошков при давлении 0,5 0,7 ГПа были спрессованы образцы в форме дисков *(D* = 28 мм, *h* = 5 7 мм, рис. 3.37), которые затем были подвергнуты термообработке (обжигу) в электрической печи сопротивления. Схема термообработки: нагрев со скоростью 2 °С/мин до 450 °С; выдержка 2 часа; нагрев со скоростью 4 °С/мин до 1960 °С; выдержка 10 часов; охлаждение с печью. На рис. 2 представлена фотография поперечных шлифов (образцы после термообработки). Анализ фотографий (рис. 2) показывает, что в процессе вжигания происходит перераспределение серебра внутри подложки.

Для уточнения динамики и характера процесса потери серебра в образцах в работе были проведены эксперименты неполного обжига. Образцы обжигали по вышеописанной схеме, максимальная температура составляла 1050 °С. Для уточнения динамики и характера процесса потери серебра в образцах в работе были проведены эксперименты неполного обжига. Образцы обжигали по вышеописанной схеме, максимальная температура составляла 1050 °С. Как показывают сделанные фотоснимки (рис. 3) на поверхностях образца (верхней и боковой) имеются капли серебра различных размеров. Капли имеют форму близкую к сферической. Краевой угол составляет более 90°. Это доказывает факт вытекания серебра из подложки и необходимость «закупоривания» поверхности.

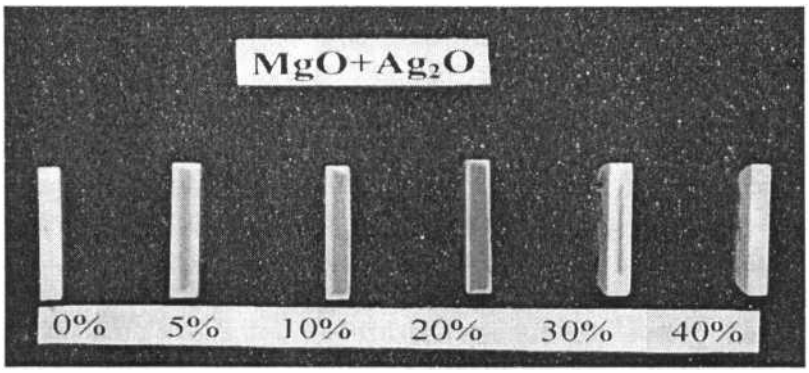



**Рис. 2.** Фото поперечных сечений образцов с различными начальными содержаниями ***Ag$_2$0*** (после спекания).

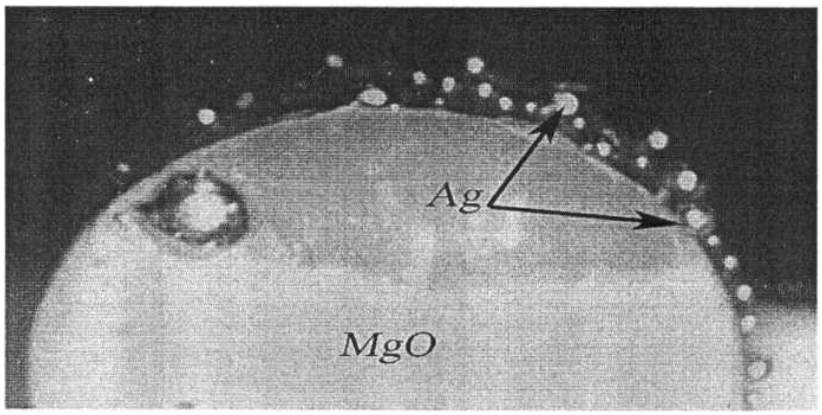



**Рис. 3.** Фотография металлокерамической подложки *MgO+Ag*, отжигаемой при температуре 1050°С.

Предлагаемый способ изготовления подложки для ВТСП покрытий был реализован следующим образом. Была приготовлена смесь, содержащая порошки MgO, серебро (30 мас.%) и органическую связку (3-5%). Смесь гомогенизировали, высушивали и прессовали под давлением 4-6 ГПа. Прессовки имели форму таблеток (D=40 мм, h=4 мм). Прессовки разделили на две партии. Образцы первой партии подвергали обжигу по типовой схеме: нагрев со скоростью 2С °/мин до 450С; выдержка – 2 ч; нагрев со скоростью 4С° /мин до $1000С^0$ ; выдержка – 10 ч; охлаждение вместе с выключенной печью.

Образцы второй партии обжигали с учетом данного технического решения: после прессования проводили промежуточный обжиг: нагрев со скоростью 2С /мин до 450С °; выдержка – 2 ч; нагрев со скоростью 4С° /мин до 1000С; выдержка – 10 ч; охлаждение вместе с выключенной печью. Затем проводили механическое внедрение порошка MgO в поверхности образцов. После обжига рабочую поверхность шлифовали до появления серебра. На все подложки по толстопленочной технологии наносили пасту, состоящую из ВТСП порошка Bi (2212) и органической связки. Образцы вжигали по типовой схеме (максимальная температура – $1000С^0$, выдержка – 24 ч при 870С°). После охлаждения ВТСП покрытия исследовали на величину плотности критического тока. Результаты исследований показали, что эта величина у образцов из второй партии на 50-70% выше. Визуальные исследования разрезов подложек говорят об отсутствии серебра в подложках из первой партии.

**3. Результаты.**

**Способ 1.** Использование предложенного способа изготовления керамических подложек для ВТСП-покрытий обеспечивает следующие преимущества – повышает параметры ВТСП-покрытия [4].

**Способ 2.** Использование предложенного способа изготовления подложки для **ВТСП** покрытий обеспечивает следующие преимущества:

- возможность изготавливать ВТСП покрытия с более высокими характеристиками;
- возможность изменять поверхностную проводимость подложек[5].

**Список литературы**

[1] Игумнов, В.Н. Толстопленочные элементы электроники и микроэлектроники / В.Н. Игумнов – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 204с.

[2] Вендик, О.Г. Физические основы применения пленочных структур ВТСП / О.Г. Вендик, А.Б. Козырев, Т.Б. Симойлова и др.: сб. Высокотемпературная сверхпроводимость – JL: Машиностроение, 1990. – С.7 – 64.

[3] Окадзаки, К. Технология керамических диэлектриков / К. Окадзаки – М.: Энергия, 1976 – 336 с.

[4] Патент 2199505 РФ. Способ изготовления керамической подложки для ВТСП покрытий / В.Н. Игумнов, А.Р. Буев, В.В. Иванов, 2003. БИ 6.

[5] Патент 2234167 РФ. Способ изготовления подложки для ВТСП покрытий на основе MgO – керамики и серебра/ В.Н. Игумнов, А.Р. Буев, В.В. Иванов, 2004. БИ 22.

# ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

**Е.А. Рыжова, А.В. Мороз**

Поволжский государственный технологический университет
*г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3*
e-mail: MorozAndrey2405@mail.ru

Описана технология формирования резистивных пленок на основе оксидов и нитридов элементов нержавеющей стали. Пленки были сформированы методом реактивного импульсного магнетронного распыления мишени из нержавеющей стали.

The technological features of formation of the resistive film by reactive magnetron sputtering of stainless steel. Relationships between the concentration of reactive gas and the surface resistivity of the films are founded.

Современная тенденция к микроминиатюризации микросхем приводит к необходимости нахождения новых материалов для повышения технологичности производства. Поскольку ни один электронный прибор, и в том числе интегральная микросхема, не может обойтись без резисторов, то поиск новых материалов не обошел и резистивные материалы. Для изготовления резисторов с более широким диапазоном удельных сопротивлений, была разработана линейка сплавов серии РС. Каждый сплав из этой серии имеет собственные характеристики: температурный коэффициент сопротивления (ТКС), удельное сопротивление, температура работы и временная стабильность резисторов [1]. Технические условия для резистивных сплавов РС предназначены для формирования тонкопленочных резисторов методом термического испарения. Однако методы термического испарения повсеместно заменяются методами магнетронного распыления, как более технологичными и экономически выгодными [2]. При использовании сплавов серии РС также возникают некоторые сложности. Применение сплавов РС в методе магнетронного распыления приводит к трудоемкому процессу обеспечения стехиометрического состава формируемой пленки. Установлено, что большую роль в пленочных резисторах на основе РС сплавов и тугоплавких силицидах играет кислород, который интенсивно поглощается кремнием из остаточной атмосферы вакуумной камеры при насыщении. Захваченный пленкой кислород в виде $SiO_2$ выделяется по границам зерен, образуя тонкую диэлектрическую прослойку, что в сильной мере сказывается на удельном сопротивлении и ТКС пленки [3]. Вторая сложность использования РС-сплавов - неоднородность материала мишени по площади и объему и различные загрязняющие добавки. Данная проблема решается двумя методами: 1) поиск таких связующих материалов РС сплава и технологии его изготовления, которые при распылении не оказывали бы влияние на формируемую пленку; 2) замена РС-сплава другими материалами. Замена РС сплавов реализуется либо подбором однородных металлических пленок из высокоомных материалов (молибден, хром, вольфрам и т.д.), формируемых методом магнетронного распыления, либо формированием металлических многокомпонентных пленок, напыляемых с нескольких магнетронов, либо сложных мишеней. При этом возникает ряд сложностей: 1) невозможность получения высоких сопротивлений при компактных размерах резисторов; 2) технологическая сложность формирования пленок с заданным химическим составом [4, 5].

Цель работы заключается в исследовании технологических особенностей формирования резистивных пленок оксидов и нитридов элементов нержавеющей стали методом магнетронного распыления.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1) получить пленки нитридов и оксидов элементов нержавеющей стали методом магнетронного реактивного распыления;
2) измерить удельное поверхностное сопротивление четырехзондовым методом;
3) сопоставить технологические параметры формируемых пленок с их удельным поверхностным сопротивлением.

На автоматизированной установке магнетронного распыления [6] были получены пленки нитридов и оксидов нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т1.

**Таблица** 1

Состав мишени из нержавеющей стали 12Х18Н10Т1

| Элемент | Содержание в % |
|---|---|
| Mo | 0,12 |
| Ti | 0,77 |
| Mn | 0,66 |
| Si | 0,63 |
| Ni | 10,31 |
| Cr | 17,69 |
| Fe | 69,2 |

Удельное поверхностное сопротивление измерялось четырехзондовым методом (рис. 1).

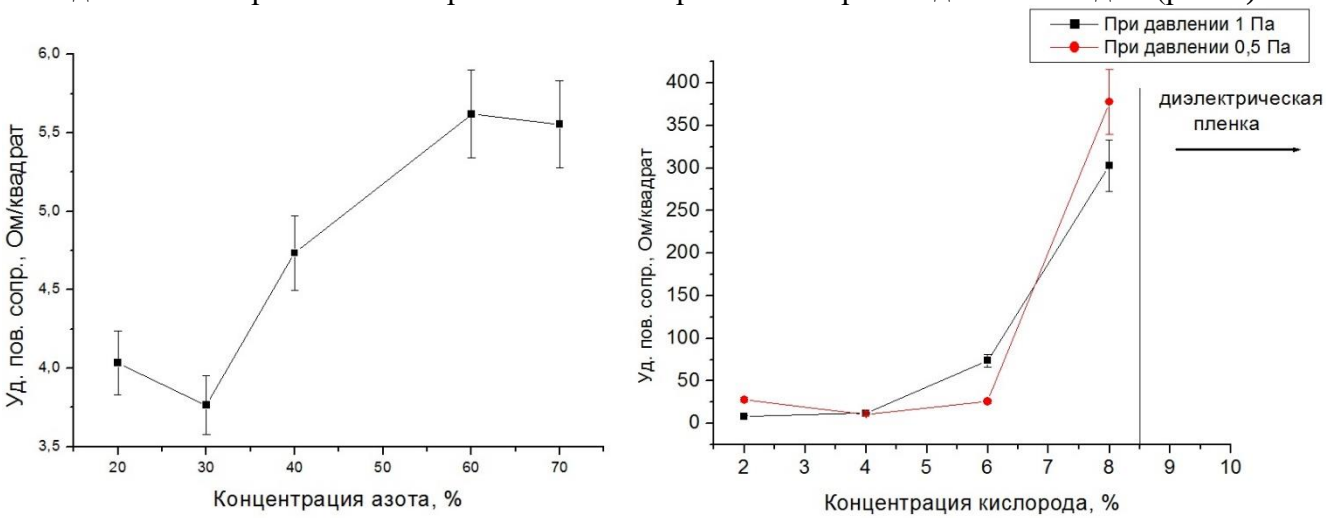



**Рис. 1.** Зависимость удельного поверхностного сопротивления пленок от концентрации азота и кислорода при их формировании.

Анализ полученных результатов показывает, что полученные сопротивления сопоставимы сопротивлениями сплавов РС-5402 (5-100 Ом$^2$) и РС-1714 (300-500 Ом$^2$). Наибольший интерес представляет участок с концентрациями кислорода от 6 до 9%, где наблюдается резкое увеличение сопротивления пленок. Был также измерен температурный коэффициент сопротивления пленок.

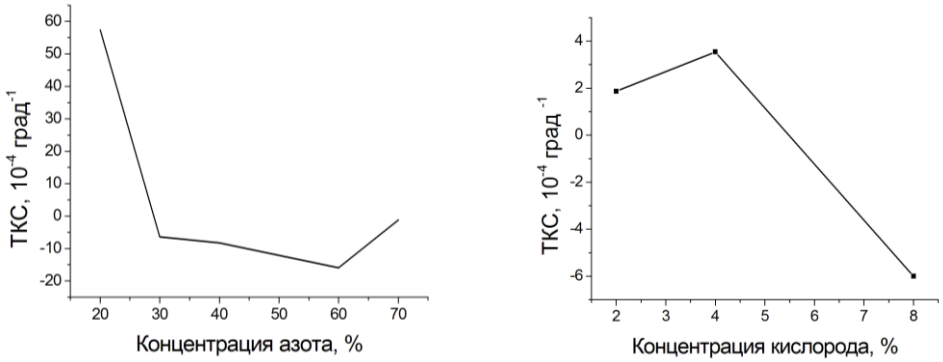
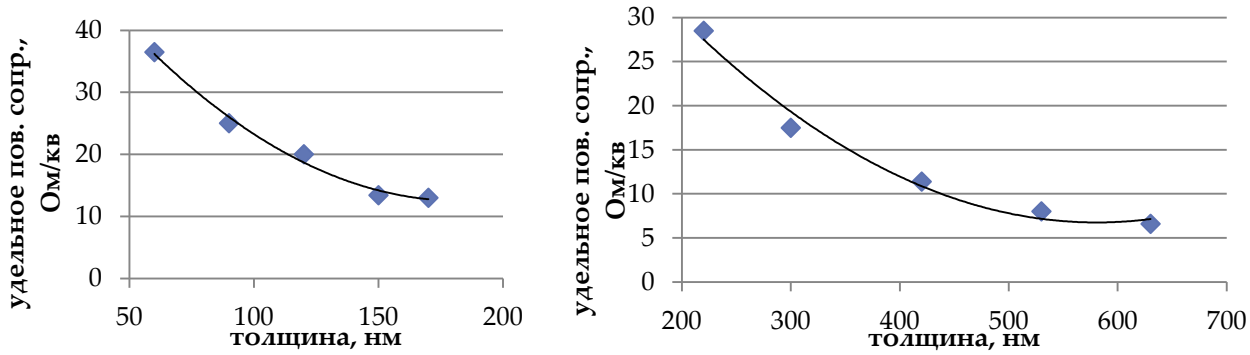



**Рис. 2.** Зависимость ТКС пленок от концентрации азота и кислорода при их формировании.

Была исследована зависимость удельного поверхностного сопротивления нитридных и оксидных пленок (рис. 3) от их толщины. Полученные пленки были подвергнуты термостабилизации (рис. 4).




а) б)

**Рис. 3.** Зависимость удельного поверхностного сопротивления плёнок от их толщины, сформированных в: а) азотсодержащей ( Ar = 90% $N_2$ = 10% ) и б) кисдлородсодержащей ( Ar = 92% $O_2$ = 8% ) атмосферах.

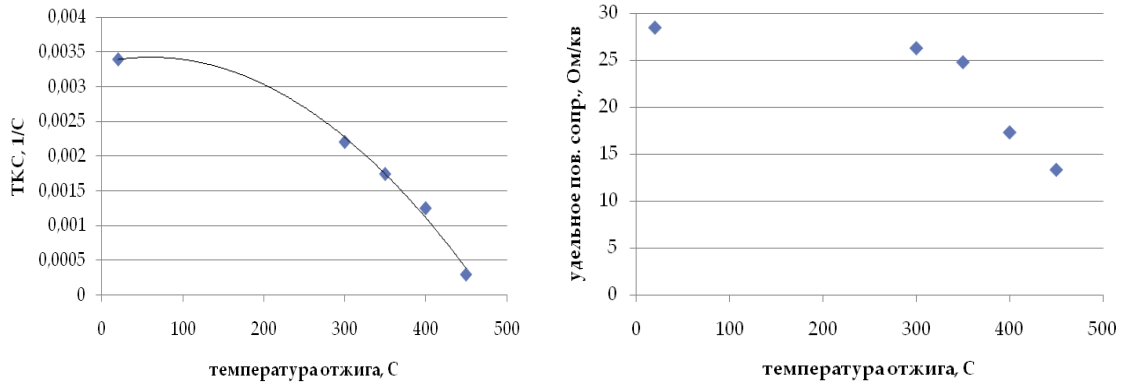



**Рис. 4.** Влияние температуры отжига на ТКС и удельное поверхностное сопротивление пленок

Таким образом посредством изменения состава атмосферы в рабочей камере удалось получать резистивные пленки с широким диапазоном значений удельного сопротивления от 3,7 Ом$^2$ до диэлектрических пленок при концентрации кислорода более 20% при этом ТКС пленок изменялась от $1{,}1\cdot10^{-4}$ до $15{,}9\cdot10^{-4}$ град$^{-1}$. Еще одной возможностью управления сопротивлением пленок является изменение их толщины, практически линейная зависимость позволяет осуществлять напыление пленок с заданным значением удельного поверхностного сопротивления с высокой точностью. Термостабилизация позволяет получать пленки с очень высоким значением ТКС.

Дальнейшая работа будет направлена на:

1. более глубокие исследования для других концентраций и давлений реактивного газа.
2. исследование резистивных свойств оксинитридов элементов нержавеющей стали

## Список литературы

[1] Дмитриев, В.Д. *Технология микросборок специального назначения*: учеб. пособие / В.Д. Дмитриев, М.Н. Пиганов, С.В. Тюлевин; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (1,2 Мбайт). – Самара, 2012. – 87 с.

[2] 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.
[3] Katnani, A.D. *Effects of oxidation on the electrical resistance of cermet thin films* A.D. Katnani, L.J. Matienzo, F. Emmi// *Journal of materials science letters* – 1989. No. 8 – P. 1177 – 1178.
[4] Sujatha, K. Electrical properties of co-evaporated Bi-SiO cermet films/ K. Sujatha, S. Uthanna, P. Jayarama Reddy// *Journal of materials science letters*. – 1989. – No. 8 – P. 75–76.
[5] Katumba, G. *Effects of thickness and composition on the resistivity of Cu-MgF2 cermet thin film resistors*/ G. Katumba, l. Olumekor// *Journal of materials science*. –2000. – No. 35 – P. 2557–2559.
[6] Сушенцов, Н.И. Автоматизированная установка магнетронного распыления для получения наноструктурированных пленок/ Н.И. Сушенцов, Д.А. Двоеглазов, А.В. Мороз [и др.] // *Сборник тезисов докладов научно-технологических секций «Международного форума по нанотехнологиям 09»*. – г. М., 2009. – С. 51–52.

## ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ

# О СВЯЗИ МАССЫ МЕТАГАЛАКТИКИ С ПОСТОЯННОЙ ТЯГОТЕНИЯ

**Р. Ф. Полищук**

Астрокосмический центр ФИАН, Москва

*Памяти моего учителя Абрама Леонидовича Зельманова (1913-1987)*

Введено понятие безразмерного гравитационного заряда, определяемого через планковскую массу и фундаментальные константы, задающие и саму эту массу. Большой Взрыв связывается с распадом единого физического взаимодействия и падением гравитационной постоянной Ньютона на 40,7 порядков по сравнению с принятой за единицу электромагнитной. Это вызывает рост на ту же величину радиуса кривизны Метагалактики и падение средней плотности источников кривизны пространства-времени на 122 порядка: от предельно допустимой планковской плотности до наблюдаемой критической плотности.

На роль частиц тёмной материи предложена гипотеза фридмонов как стабильных частиц с массой, на 9 порядков большей массы нуклона. Частицы отвечают ещё не открытой точной группе симметрии, дуальной группе SU(2): для симметрий Стандартной модели и дуальных симметрий роли точных и нарушенных симметрий, а также соответствующих стабильных и нестабильных частиц, меняются местами. Предложены гипотезы T-дуальности и S-дуальности, связывающие подгруппы $SU(3)xSU(2)xU(1)$ и им дуальные подгруппы $S\tilde{U}(3)xS\tilde{U}(2)x\tilde{U}(1)$ с распадом группы начальной симметрии $E(8)x\tilde{E}(8)$. В частности, указанные дуальности связывают минимальную планковскую длину $10^{-33}cm$ с начальным радиусом кривизны Метагалактики $10^{-13}cm$ планковской плотности и с современным радиусом её кривизны $10^{28}cm.$ То есть указана возможная связь планковской массы с массой Метагалактики в $10^{61}$ планковских масс как связь микрофизики с космологией.

**Ключевые слова**: планковские масштабы, масса вселенной, дуальные симметрии, фридмоны, тёмная материя, распад вакуума.

The notion of the dimensionless gravitational charge of any mass is given. Decay of the gravitation constant on 41 order gives the growing of the curvature radius on 40,7 order of the de Sitter vacuum from $10^{-13}cm$ to $10^{28}cm$ and change of vacuum density from the Planckian value to the critical one. Hypothesis of friedmons as dark matter particles is proposed. Friedmons are stable particles with mass as billion masses of nucleons. The corresponding hypothetical exact symmetry group $S\tilde{U}(2)$ is dual to the group $SU(2)$ of the broken symmetry in frame of the Standard model with stable particles for the other exact symmetry groups $SU(3),U(1).$. There is proposed also hypothesis of a dissociation of primordial de Sitter world with the Planckian density to the modern expanding Universe with the modern critical density. Then the T-duality and S-duality hypothesis of the dissociation of primordial symmetry group $E(8)x\tilde{E}(8)$ into the subgroups $SU(3)xSU(2)xU(1)$ and the dual subgroups $S\tilde{U}(3)xS\tilde{U}(2)x\tilde{U}(1)$ is proposed. These dualities connect the minimal Planckian length $10^{-33}cm$ with the primordial curvature radius $10^{-13}cm$ of the Universe with the Planckian density $(5\cdot10^{93}g/cm^3)$ and with the modern curvature radius of the Universe $10^{28}cm$. This thesis is corresponds to the possible connection between the Planckian mass (near $10^{-5}g$) and mass of the Universe (near $10^{56}g$).

**Key words:** dual symmetries, dark matter, friedmons, dissociation of vacuum.

Согласно представлениям современной физики все физические взаимодействия (сильные, электрослабые и гравитационные) возникли при распаде единого физического взаимодействия в эпоху Большого Взрыва, давшего начало расширению Вселенной 13,7 миллиардов лет тому назад. Например, в рамках первоначального единого взаимодействия гравитация была примерно на 41 порядок сильнее гравитации современной (небольшое ослабление электрического взаимодействия от константы 1/40 до 1/137 не даст существенных поправок там, где важны прежде всего порядки величин). Соответственно, постоянная тяготения была примерно на 41 порядок больше её современного значения, равного (при принятии постоянной Планка и скорости света за единицу) квадрату планковской длины, который естественно назвать *планковской площадью.*

Планковская длина нужна для описания микрофизики, постоянная Ньютона – для описания космологии. Возникает вопрос о связи микрофизики с космологией. Цель данной статьи – указать эту возможную связь. Эту связь легко уловить, связав массу Метагалактики, Универсума ( $M_U \cong 2\cdot 10^{56} г$) с фундаментальными физическими константами (ФФК).

Напомним известные значения фундаментальных констант. Гравитационная постоянная Ньютона $G = 6{,}6745(8)\cdot 10^{-8} см^3/г\cdot с^2 = 2{,}612\cdot 10^{-66} см^2$, лектрический заряд $e = 4{,}8\cdot 10^{-10}(г\cdot см^3/с^2)^{1/2} = 1{,}381\cdot 10^{-34} см$, планковская длина $l_{pl} = (hG/2\pi c^3)^{1/2} = 1{,}616\cdot 10^{-33} см,$ планковская масса $m_{pl} = (hc/2\pi G)^{1/2} = 2{,}177\cdot 10^{-5} г$, приведённая постоянная Планка и скорость света: $h/2\pi = 10^{-27} г\cdot см^2/с = 1,\ c = 3\cdot 10^{10} см/с = 1.$ При сжатии тела до её гравитационного радиуса скорость отрыва от него становится световой. Само тело при этом становится чёрной дырой (или белой дырой при изменении знака времени). Но тело при этом не коллапсирует в точку с бесконечной плотностью, поскольку предельной плотностью является планковская плотность $5{,}157\cdot 10^{93} г/см^3$.

Для оценки массы Вселенной учтём, что объём её 3-сферы радиуса кривизны *a* с материей критической плотности даёт следующее значение:

$$M_U = 2\pi^2 a^3 \rho_{cr} = 2\pi^2 (0{,}7\cdot 10^{28} cm)^3 \cdot 0{,}6\cdot 10^{-29} g/cm^3 = 2\cdot 10^{56} g = 10^{61} m_{pl}$$

Воображаемую частицу планковской массы (назовём её *планкеоном*) можно считать просто чёрной дырой планковской плотности и планковского размера. Куб планковской длины $4{,}221\cdot 10^{-99} см^3$ естественно считать трёхмерным объёмом планкеона и *планковским объёмом.* Когда постоянная тяготения до распада единого взаимодействия была на 40,67 порядков больше, планковский объём был больше на 61 порядок. Увеличивая соответственно массу планкеона, мы получаем массу около $2\cdot 10^{56} г,$ которую примем за массу Метагалактики. Наша гипотеза заключается в том, что возможность подобного получения связи малых и больших величин не случайна.

Введём понятие *гравитационного заряда* $\sqrt{G}m$ (считаем приведённую постоянную Планка и скорость света равными единице) для частицы массы *m.* Для этих их значений размерность массы есть обратная длина, масса планкеона равна единице, а гравитационный заряд есть величина безразмерная, не зависящая от размерной постоянной тяготения Ньютона и равна просто массе в единицах планковской массы. В этом смысле гравитационный заряд подобен безразмерному электрическому заряду, указывающему просто количество элементарных электрических зарядов заряженного тела, хотя заряду электрона обычно приписывается размер $1{,}38\cdot 10^{-34}$ см. Этот размер меньше комптоновской длины волны электрона $\lambda/2\pi = h/2\pi m_e c = 3{,}86\cdot 10^{-11}$ см. Масса планкеона в приведённых единицах равна обратной планковской длине, так что, как уже указывалось, гравитационный заряд планкеона равен (по определению) безразмерной единице.

До распада единого взаимодействия на сильное, электрослабое и гравитационное была только одна фундаментальная константа. Выдвинем гипотезу, что *не зависящий от постоянной тяготения безразмерный гравитационный заряд планкеона при распаде единого взаимодействия остался прежним.* Это означает, что при ослаблении начальной сильной гравитации на 40,67 порядков (обычно берут приближённо 41 порядок, но удобнее считать 40,67) размерная планковская масса увеличилась на 20,33 порядок, а трёхмерный объём планкеона до Большого Взрыва был больше современного значения на 61 порядок. Умножая эту величину на размерную (в граммах) сегодняшнюю планковскую массу, мы и получаем размерную массу $2\cdot 10^{56} г$. А увеличивая на 61 порядок сегодняшнюю планковскую длину, мы по-

лучаем в сантиметрах массу Метагалактики $1{,}6\cdot10^{28}$см. Эта величина отвечает диаметру (удвоенному радиусу) горизонта событий Метагалактики в рамках наблюдательной космологии. Но планковская масса выражается через три основные фундаментальные физические константы. Таким образом, с ними оказывается связанной и полная масса Метагалактики.

Полезно учесть полную компенсацию этой массы отрицательной потенциальной гравитационной энергией. Интуитивно мы привыкли рассматривать массу как вложенную в бесконечный плоский мир Минковского, то есть в духе островной физической системы с геометрией Шварцшильда. Но, согласно Гильберту [4], актуальной бесконечности в природе не существует, и более физичной представляется однородная геометрия пространства в виде трёхмерной сферы де Ситтера с её равноправием образующих её точек и с космологическим членом как источником кривизны мира событий.

Асимптотикой расширяющейся Вселенной является мир, описываемый однополостным гиперболоидом де Ситтера с радиусом перешейка порядка $1{,}6\cdot10^{28}см.$ С какой частицей можно связать этот вакуум де Ситтера? Проведём аналогию с параметрами Солнца. Его масса близка массе чёрной дыры с гравитационным радиусом 3 км. Основной вклад в массу Солнца дают нуклоны размером их комптоновской длины волны около $1{,}93\cdot10^{-14}см.$ Этот размер можно примерно получить из соотношения $3\cdot10^{5}см\cdot1{,}616\cdot10^{-33}см=(2{,}2\cdot10^{-14}см)^2$. То есть произведение гравитационного радиуса Солнца на размер планкеона (планковской длины) примерно равен квадрату размера образующей звезду частицы. Этот размер на 19 порядков больше планковской длины, и масса частицы на 19 порядков меньшей массы планкеона, являющегося самой по себе чёрной дырой. Следовательно, необходима плотная линейная упаковка $10^{19}$ нуклонов и кубическая упаковка $(10^{19})^3=10^{57}$ нуклонов, чтобы получить из них чёрную дыру. Умножая это число на массу нуклона $1{,}67\cdot10^{-24}$ грамма, мы и получаем примерную массу Солнца как типичной звезды.

Для размера системы порядка радиуса горизонта событий Метагалактики получаем $16\cdot10^{27}см\cdot1{,}6\cdot10^{-33}см=(5\cdot10^{-3}см)^2$. Частицу размером $5\cdot10^{-3}см$ и с соответствующей массой около $4\cdot10^{-36}$ грамма назовём: *зерон* (от *зеро,* нуль), как бы нулевой частицей. После распада материи до вакуума де Ситтера Метагалактика будет состоять из $5\cdot10^{91}$ зеронов.

Наблюдательная космология доказывает факт расширения Вселенной. Скорость увеличения расстояний, в отличие от скорости распространения физических взаимодействий, может быть произвольно большой. Расширение началось после Большого Взрыва 13,7 миллиарда лет тому назад. Естественно предположить, что первоначальное состояние было трёхмерной сферой с предельной планковской плотностью материи $5\cdot10^{93}г/см^3$ и с радиусом кривизны порядка $1{,}25\cdot10^{-13}$см. Рост радиуса кривизны на 40,67 порядков отвечал ослаблению первоначальной сильной гравитации как единого взаимодействия на эти 40,67 порядков. После того, как единое взаимодействие расщепилось на сильное, электрослабое и гравитационное, взаимодействие электрослабое далее расщепилось на электромагнитное и слабое.

Константы взаимодействия зависят от энергии. Для энергий в единицах ГэВ величиной 0.01, 0.1, 1 и 100 константы сильного взаимодействия принимают последовательно значения 10, 1, 0.40 и 0.12; константы электромагнитного взаимодействия: 1/137, 1/135, 1/133 и 1/128; константы слабого взаимодействия: 1/26, 1/27, 1/28 и 1/36. Уменьшение константы $\alpha_s$ сильного взаимодействия связано с антиэкранировкой сильного (цветового) заряда.

Величины, обратные константам взаимодействия, зависят от энергии логарифмически и сходятся к обратной константе единого взаимодействия $1/\alpha_{GU}=40$ при энергии $10^{16}$ ГэВ, не достигающей планковской энергии $10^{19}$ ГэВ. При этом для электромагнитного взаимодей-

ствия бралась константа $(3/8)(1/\alpha_e)$, где множитель 3/8 связан со слабым углом смешивания (углом Вайнберга). По теории Великого объединения $\sin^2\theta_W = 3/8$ при энергии $10^{16}$ ГэВ (в эксперименте получено значение 0.231 для энергии 91 ГэВ). При этой энергии возникает единое взаимодействие (за исключением гравитационного), отвечающее специальной (с единичным определителем матрицы) унитарной (унитарность матрицы означает, что её комплексно сопряжённая транспонированная матрица равна обратной матрице) 5-мерной группе симметрии $SU(5)$.

Для пояснения роли симметрии скажем, что лагранжиан электромагнитного взаимодействия $\Psi\overline{\Psi}$ инвариантен относительно умножения волновой функции на единичный комплексный вектор $\exp[i\varphi(x)]$, но уравнение Дирака для электрон-позитронной пары останется справедливым при замене частной производной $\partial_\mu = \partial/\partial x^\mu$ на ковариантную $D_\mu = \partial_\mu - ieA_\mu$ с введением вектор-потенциала электромагнитного поля, удовлетворяющего уравнениям Максвелла (и в этом смысле электромагнитное поле является калибровочным, компенсирующим, сохраняющим уравнение Дирака с включением электромагнитного взаимодействия). Но если мнимые экспоненты отвечают одномерной коммутативной группе симметрии $U(1)$, то многомерные группы симметрии $SU(n)$ уже некоммутативны, и поэтому глюоны сильного взаимодействия (и бозоны слабого взаимодействия, связанные, соответственно с группами симметрии $SU(3), SU(2)$) друг с другом взаимодействуют. При этом $SU(2)\times U(1) = U(2),$ и здесь подгруппы-сомножители имеют различный физический смысл, объединяясь в более общую группу, что интуитивно указывает на внутреннее единство всех физических взаимодействий, не существующих друг без друга.

Симметрии сильного и электромагнитного взаимодействия являются точными, а симметрия слабого взаимодействия смешивает фермионы разных поколений и отвечает нарушению симметрии, что приводит к нестабильности соответствующих частиц (кроме наилегчайших), нарушению CP-инвариантности и к осцилляции нейтрино (периодической смене их типов). Это было открыто в 1957 году физиком Б. М. Понтекорво (кстати, он в своё время приезжал в МГУ, и я его видел, учась на мехмате и в аспирантуре физфака: 1955-1963). Взаимодействующие обменом глюонов кварки и обменом (незаряженных электрически) фотонов электроны стабильны, тогда как векторные $W^+, W^-, Z^0$ бозоны, обмен которыми реализует слабое взаимодействие, нестабильны. Фундаментальными фермионами этой модели являются 6 кварков и 6 лептонов. Их взаимодействие реализуется обменом кроме трёх указанных бозонов и глюонов также обменом бозонами X, Y спина 1 с зарядами 4e/3 и e/3. Для ещё не открытых дуальных симметрий роли стабильных и нестабильных частиц меняются местами, и ниже можно говорить о гипотетических частицах фридмонах [7], отвечающих дуальной группе симметрии $S\tilde{U}(2)$. Генераторами группы симметрии SU(2) являются известные три матрицы Паули, а группы SU(3) – известные восемь матриц Гелл-Манна.

Сильное взаимодействие соединяет нейтроны и протоны в ядра атомов вопреки электромагнитному относительно слабому отталкиванию последних. Сталкивание нейтрона с протоном может родить дейтерий (синтез атомов водорода осуществляется в водородной бомбе), а возбуждение массивного ядра урана, в котором сильное взаимодействие нуклонов ослабевает (из-за вынужденного удаления некоторых из них друг от друга и по сравнению с электромагнитным отталкиванием) может вызвать его распад (это вызывает цепную реакцию в атомной бомбе). Сильное взаимодействие определяется потенциалом Юкавы $U(r) = -(k/r)\exp(-r/r_0),$ где константы $k = 1, r_0 \cong 10^{-13} cm$. Количественная теория сильного взаимодействия была создана Юкавой в 1935 году. Расчёт ферми-импульса для атома гелия показывает, что скорость протона в ядре составляет примерно четверть скорости света, так

что движение нуклонов в ядре носит релятивистский характер и немного увеличивает массу движения нуклонов по сравнению с их массой покоя (в $4/\sqrt{15}$ раз).

Нуклоны состоят из троек кварков, связанных восемью глюонами. Кварк имеет внутренне квантовое число, названное цветом, а также спин, электрический заряд и импульс. Его состояние описывается вектором в трёхмерном комплексном цветовом пространстве. Он инвариантен относительно унитарных вращений с группой симметрии SU(3). Из кварков и антикварков можно создать бесцветные комбинации, которые не взаимодействуют с глюонами в длинноволновом приближении. Асимптотическая свобода кварков вызвана антиэкранировкой их зарядов. При этом конфайнмент (пленение) кварков вызван тем, что они не могут удаляться друг от друга на расстояние более 1фм ($10^{-13}$см). Они связаны глюонами словно резинкой: её растягивание означает затрату массы-энергии, так что при разрыве пары кварков получаем две таких пары. Поэтому мы не наблюдаем свободных кварков. Характерная энергия связи кварков равна 1 ГэВ, что примерно равно массе-энергии нуклона. Бесцветные состояния кварков называются адронами, которые взаимодействуют обменом другими адронами (мезонами из пары кварк-антикварк), связывающих адроны в ядра атомов. Атомы образуют молекулы, которые участвуют в химических реакциях с перестройкой электронных оболочек.

По Демокриту мир есть атомы и пустота, а с точки зрения химии жизнь – это химический процесс организма с локальным выталкиванием энтропии ценой её общего увеличения, с самокоррекцией наследственного кода при условии притока свободной энергии [1, 2] (а разум с его пониманием и целеполаганием возникает естественно как дальнейшее средство экономии энергетических затрат по сравнению с чисто инстинктивным поведением живых организмов). Что касается «пустоты», то она скорее всё, чем ничто: её макроскопическая размерность равна трём (и это - топологический инвариант группы гомеоморфизмов, одно-однозначных отображений множества точек-элементов). Большой Взрыв и асимптотическое состояние Метагалактики (с разбегающимися галактиками, с быстро разжижающимся излучением и с долго распадающейся материей вещества) – это два различных состояния физического вакуума с ненулевой плотностью массы-энергии в виде космологического члена уравнений гравитации. При этом элементарные частицы – это кванты возбуждения вакуума: кванты возникают из-за выживания только резонансов, как у звучащей струны - нерезонансные возбуждения компенсируют друг друга в фейнмановском интеграле по путям всех возможных эволюций физической системы, и при этом действие (интеграл от плотности лагранжиана системы по объёму пространства) достигает экстремума, диктующего вид всех уравнений динамики системы. Так природа нащупывает свои законы эволюции, а бифуркации рождают мир как океан ветвящихся возможностей. При этом детерминированы только вероятности, и выбор человека налагает на него ответственность за свой выбор - при всей детерминации поведения разными факторами и обстоятельствами.

Слабое взаимодействие отвечает за бета-распад нейтрона. Нейтрон и протон состоят из троек верхних и нижних кварков: $n = (uud)$, $p = (udd)$. Распад нейтрона рождает протон и промежуточный электрически заряженный W-бозон, который дальше распадается на электрон и электронное антинейтрино (либо на мюон и мюонное антинейтрино, либо на тау-лептон и тау-лептонное антинейтрино). Кварки бывают шести типов: верхний, нижний, очарованный, странный, истинный и прелестный. Эти типы образуют 3х3 матрицу Кабиббо-Кобаяши-Маскавы, которая параметризуется тремя углами и фазовым множителем. В теории Вайнберга-Салама электрослабое взаимодействие – это квантовая теория с калибровочной группой $SU(2)\times U(1)$. Эта симметрия спонтанно нарушается действием бозона Хиггса. Этот бозон был открыт 4 июля 2012 года на Большом адронном коллайдере ЦЕРН, его масса-энергия порядка 125 ГэВ. Его спин, электрический и цветовой заряды равны нулю. Он обра-

зуется от слияния двух глюонов, заряженных W- или нейтральных Z-бозонов, распадается на пару частица-античастица, где частица – это фотон, b-кварк, электрон, мюон или нейтрино.

Бозон Хиггса вызывает появление массы покоя у элементарных частиц. Поскольку собственным значением квантового оператора скорости является только плюс-минус скорость света, все частицы рождаются в световом состоянии с 4-импульсом нулевой длины (его квадрат равен разности квадратов временной компоненты и 3-импульса: время – мнимая пространственная координата, чем она и отличается от пространственного измерения). На квантовом уровне время можно считать нумерацией пространственных «кадров», сменяющих друг друга с планковской частотой около $2 \cdot 10^{43}$ раз в секунду, получаемой комбинацией трёх фундаментальных физических констант (постоянных Ньютона *G*, Планка *h* и скорости света *c*). Из-за систематического взаимодействия частицы с бозоном Хиггса 3-импульс изменяет своё направление на противоположное, и это световое дрожание частицы в среднем выглядит её топтанием на одном месте с ненулевой массой «покоя».

Слабое и электромагнитное взаимодействия возникли с распадом единого электрослабого взаимодействия при понижении энергии взаимодействия. Электромагнитное взаимодействие вызвано обменом электрических зарядов виртуальными фотонами, возникающими при локализации симметрии $U(1) = \{\exp(i\varphi(x)\}$, то есть при введении зависимости фазы $\varphi$ от координат мировой точки (пространственной точки, взятой в один момент времени).

Сила электромагнитного взаимодействия, в отличие от сильного, подчиняется закону обратных квадратов. Тому же закону подчиняется гравитационное взаимодействие. Но при этом сила электрического взаимодействия, скажем, электрона и позитрона почти на 41 порядок сильнее их гравитационного взаимодействия. Если в теории струн фотон спина 1 является струной с открытыми концами, то переносящий гравитационное взаимодействие гравитон спина 2 является замкнутой петлёй. Все элементарные частицы – различные состояния одной из них, различные моды колебания струны (так современная физика соединяет единство и многообразие нашего мира).

Наблюдательная космология, как уже было сказано, открыла расширение Вселенной (Хаббл, 1929), теоретически предсказанное А. А. Фридманом (Санкт-Петербург, год 1922; кстати, в 1918-1920 годах он жил при Колчаке в городе Перми на 2-ом этаже маленького двухэтажного дома на Сибирской улице, 19, в котором потом был любимый автором данной статьи книжный магазин). Уравнение состояния физического вакуума $p = -\rho$ (давление равно минус плотности вакуума) показывает, что отрицательное давление вызывает ускоренное разбегание пробных частиц. Галактики – не пробные частицы, но они возникли в результате Большого Взрыва, когда сверхплотный вакуум отдал почти всю свою массу-энергию веществу и излучению. Полная масса *M* Метагалактики $2 \cdot 10^{56}$ грамма: это порядка 100 миллиардов галактик по 100 миллиардов звёзд средней массой более $10^{33}$ грамма плюс тёмная материя и тёмная энергия вакуума, увеличивающие общую массу примерно в 20 раз. Эволюция Метагалактики вначале (до образования тяготеющей материи, несколько тормозящей расширение) соответствовала трёхмерной сфере де Ситтера (расширяющийся однополостный гиперболоид, мысленно вложенный в 5-мерный плоский мир Минковского с сигнатурой $(-++++)$ пространства-времени), первоначально сжатой до предельной планковской плотности $\rho_{pl} = 5 \cdot 10^{93}$ грамма в кубическом сантиметре. Радиус кривизны *a* 3-сферы де Ситтера связан с массой первоначального вакуума Метагалактики формулой $M = 2\pi^2 a^3 \rho_{pl}$, где $a = 0{,}75 \cdot 10^{-13}$ сантиметра. Распад первичного единого физического взаимодействия на сильное, электрослабое и гравитационное вызвал ослабление гравитации почти на 41 порядок. Радиус кривизны Метагалактики вырос до величины примерно $10^{28}$ см, а плотность упала,

соответственно, на 122 порядка до критического значения примерно $\rho_{cr} = 0{,}6 \cdot 10^{-29} g$ в кубическом сантиметре.

Заметим, что расширяющаяся Вселенная – не чёрная дыра, но дыра белая, получаемая из чёрной изменением знака времени. При этом мы исходили из решения де Ситтера как для начального состояния, так и для конечного асимптотического состояния Метагалактики, когда вся материя распадётся и образует новый вакуум де Ситтера, в котором тензор энергии-импульса материи сведётся к космологическому члену. При этом энтропия, как известно, равна четверти площади горизонта событий. Поскольку пробные частицы за горизонтом событий удаляются от нас со сверхсветовой скоростью, они не наблюдаемы и становятся в этом смысле виртуальной реальностью: дуги их мировых линий для нашего умозрения пространственно-подобны, то есть для некоторого воображаемого наблюдателя становятся вспыхивающим и тут же гаснущим пространственным интервалом.

Сильные взаимодействия работают только на коротких расстояниях, электрические заряды разных знаков в среднем компенсируют друг друга, и слабейшее (уже не векторное, но тензорное) гравитационное взаимодействие определяет динамику Метагалактики на космологических масштабах. Заметим, что уравнениям Максвелла можно придать вид: *кодифференциал дифференциала вектор-потенциала равен автоматически сохраняющемуся электрическому току,* а уравнениям тяготения Эйнштейна с лямбда-членом можно придать аналогичный вид: *кодифференциал дифференциала тетрадного потенциала равен автоматически сохраняющемуся тетрадному току* [3] (здесь кодифференциал – это ковариантная дивергенция формы со знаком минус по её первому координатному индексу, а внешний дифференциал обычным образом действует на форму, то есть на тензор только с нижними антисимметричными координатными индексами; у тетрадного тока один индекс координатный, один – лоренцев, участвующий в лоренцевых вращениях тетрадного поля, определяющего метрику, кривизну и кручение в теории Эйнштейна-Картана с торсионными полями Картана (1922), которых не было у Эйнштейна (1915) в его общей теории относительности) [5].

Уравнения Эйнштейна-Картана [5,6] обобщают уравнения Эйнштейна на случай кручения мира событий, связываемого со спином материальных источников. Для получения этих уравнений следует варьировать действие по метрике и по несимметричной связности. Пусть $s_{ikj}$ спин-тензор материи, а $S^k{}_{ij} = (\Gamma^k{}_{ij} - \Gamma^k{}_{ji})/2$ тензор кручения связности геометрии пространства-времени. Тогда 16 уравнений Эйнштейна-Картана

$$R_{ik} - \frac{1}{2} R g_{ik} = \kappa \Sigma_{ik} \qquad (1)$$

$$\kappa \equiv 8\pi G / c^4$$

разобьются на 10 и 6 уравнений. Симметричный тензор материи получит вид:

$$T^{ik} = T^{ki} = \Sigma^{ik} + (\kappa/2)[s^{ij}{}_j s^{kl}{}_l - s^{ij}{}_l s^{kl}{}_j + \tfrac{1}{2} s^{jli} s_{jl}{}^k + \tfrac{1}{4} g^{ik}(2 s_j{}^l{}_m s^{jm}{}_l - 2 s_j{}^l{}_l s^{jm}{}_m + s^{jlm} s_{jlm})] \quad (2)$$

Антисимметричная часть уравнений :

$$R_{[ik]} = \kappa \Sigma_{[ik]} = (\kappa/4)[(\nabla_j - S_j{}^l{}_l)[(s_{ki}{}^j - s_i{}^j{}_k + s^j{}_{ki}) - (s_{ik}{}^j - s_k{}^j{}_i + s^j{}_{ik})] \quad (3)$$

Как следует из космологических наблюдений, вакуумная энергия составляет 68,3%, неоднородная тёмная материя составляет 26,8% (поскольку слов не хватает, массу-энергию разделили на энергию и материю как кванты возбуждения вакуума), атомы 4,9%. Вакуумная энергия взаимодействует с видимой материей только гравитационно. Ускоренное расширение Вселенной описывается постоянной Хаббла $H_0 = \dot{a}/a = 2{,}195 \cdot 10^{-18} s^{-1}$ (точка означает производную по времени от радиуса кривизны пространства Метагалактики).

Если принять электромагнитное взаимодействие за единицу, то постоянная тяготения равна примерно $10^{-41}$, для нуклонов с массой $2 \cdot 10^{-24} g$ тяготение отвечает величине $10^{-36}$, слабое взаимодействие кварков в нуклоне - величине$10^{-4}$, слабое взаимодействие нуклонов -

$10^{-4}$, сильное взаимодействие нуклонов в ядре атомов (обмен мезонами) равно 20, сильное взаимодействие кварков внутри нуклонов (обмен глюонами) равно 60.

Стандартная модель частиц за исключением гравитонов связана с симметриями группы *SU(3)xSU(2)xU(1)* как результатом распада на указанные подгруппы исходной группы Ли *SU(5), SO(32), E6* или *E(8)xE(8).* При этом симметрии подгрупп *SU(3)* и *U(1)* точные, а симметрия подгруппы *SU(2)* – нарушенная. Соответственно, возникают стабильные нуклоны (протоны и нейтроны), образованные связанными глюонами тройками кварков, стабильные фотоны и нестабильные $W^{\pm}, Z^{0}$ бозоны, отвечающие группе *SU(2).* Здесь мы предполагаем считать группой великого объединения взаимодействий исключительную группу Ли $E(8)x\tilde{E}(8)$, распадающуюся на указанные подгруппы так называемой Стандартной модели (она описывает все взаимодействия кроме гравитационного) и на дуальные им подгруппы $S\tilde{U}(3)xS\tilde{U}(2)x\tilde{U}(1)$.

То есть мы предполагаем, что существует ещё не открытая новая, дуальная симметрия. Переход к дуальным симметриям аналогичен взаимной замене электрического и магнитного полей для электромагнитного тензора, дуального исходному тензору как внешнему дифференциалу вектор-потенциала, то есть в данном случае - его ротору. В общем случае несимметричной связности для полей Янга-Миллса (ниже $g$ – константа взаимодействия, в случае электромагнетизма $g = e$, где $e$ – электрический заряд) имеем:

$$F = dA = (\partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu + g[A_\mu, A_\nu])dx^\mu \wedge dx^\nu \quad (4)$$

В дуальной электродинамике электромагнитный тензор есть внешний дифференциал дуального вектор-потенциала $\tilde{A}_\mu dx^\mu$, и вместо нестабильных дуальных электрических зарядов существуют только нестабильные дуальные магнитные заряды: ведь внешний дифференциал $d$ и внешний кодифференциал $\delta = *^{-1} d *$ суть нильпотентные операторы с нулевым квадратом ($dd = 0, \delta\delta = *^{-1} dd * = 0$). Здесь символ $*$ есть оператор Ходжа, переводящий $p$-форму (тензор с $p$ нижними антисимметричными индексами) на многообразии размерности $n$ в форму степени $n$-$p$. При этом дифференциал не зависит от метрики, а кодифференциал от неё зависит через квадратный корень из определителя матрицы метрического тензора $\sqrt{-g}$. Например, объём мира событий равен

$$\int *1 = \int d^4 x\sqrt{-g} = \int \sqrt{-g}\, dx^0 \wedge dx^1 \wedge dx^2 \wedge dx^3, \quad (5)$$

где 1 как постоянная функция есть нуль-форма. Внешний дифференциал (частная производная тензора по координате с дальнейшим альтернированием) увеличивает степень формы на единицу, а кодифференциал её на единицу уменьшает. Их сопряжённость проявляется в том, что для определения скалярного произведения форм одной степени $(\alpha, \gamma) := \int \alpha \wedge *\gamma$ (произведение двух форм разной степени равно нулю, тривиально) на многообразии с пустой границей имеем $(\alpha, d\beta) = (\delta\alpha, \beta)$.

Как уже было сказано, при распаде исходной группы на подгруппы и переходе к дуальным полям точные и неточные симметрии меняются местами, и соответственно изменяется стабильность отвечающих симметриям элементарных частиц. Тогда стабильными будут только частицы для группы $S\tilde{U}(2)$, дуальной группе SU(2). Назовём отвечающие подгруппе симметрии $S\tilde{U}(2)$ гипотетические частицы *фридмонами.* Частицы, отвечающие остальным двум подгруппам, считаем распавшимися и отсутствующими в современной Вселенной. Считаем, что распавшиеся нестабильные дуальные нуклоны и фотоны дали свой вклад в массу-энергию вакуума де Ситтера, к которому стремится состояние наблюдаемой расширяющейся Вселенной. Полная масса-энергия обычных и дуальных частиц может быть разной.

Для оценки массы фридмона рассмотрим таковую для нуклона. Поскольку масса нуклона на 19 порядков меньше планковской массы, то, соответственно, его размер на 19 порядков больше планковской длины, что позволяет вычислить, как отмечалось, примерную массу звезды типа солнечной массы. Будем считать, что существует дуальная тёмная материя примерно в том же количестве, что и видимая, то есть в количестве примерно $2 \cdot 10^{56} g$. В момент Большого Взрыва она могла иметь предельную планковскую плотность $\rho_{pl}$ и образовывать 3-сферу де Ситтера радиуса кривизны $a = 1{,}6 \cdot 10^{-13} cm$. Кстати, поскольку 3-сфера не имеет границы, полная масса-энергия мира равна нулю, и масса-энергия материи полностью компенсируется отрицательной потенциальной гравитационной энергией. При этом сохраняются обе компенсирующие друг друга компоненты. Как уже отмечалось, для островной системы в асимптотически плоском на бесконечности пространстве масса-энергия свободного гравитационного поля компенсирует только половину массы-энергии вещества, так что полная масса-энергия системы положительна [7-8].

Будем считать, что тёмная материя по порядку величины имеет примерно ту же полную массу, что и видимая материя. Её образуют, как предполагаем, одинаковые частицы, отвечающие группе симметрии, дуальной группе SU(2). В момент Большого Взрыва Метагалактика могла напоминать своего рода «первоатом Леметра» с указанным выше радиусом кривизны, близким размеру атомного ядра, и с планковской плотностью материи вакуума. Предположим, что фридмоны тёмной материи связаны с планковской длиной примерно так, как и образующие звёзды нуклоны видимой материи: $1{,}6 \cdot 10^{-13} cm \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-33} cm = (1{,}6 \cdot 10^{-23} cm)^2$. Таким образом, размер фридмона $1{,}6 \cdot 10^{-23}$ cm (так что фридмоны, в миллиард раз меньшие нуклонов по размеру, ведут себя почти как точечные частицы среди нуклонов), а масса примерно на 9 порядков больше массы нуклона и равна примерно $10^{-15} g$. Напомним, что теория частиц нуждается в стабильных частицах с массой порядка $10^{-15} g$. Поскольку фридмоны относятся к группе симметрии, дуальной стандартной группе, они только гравитационно взаимодействуют с частицами Стандартной модели. Поэтому и по причине малых размеров они годятся на роль частиц тёмной материи, напоминающей холодную пыль без давления (в отличие от тёмной энергии с уравнением состояния $p = -\rho$).

Теперь рассмотрим гипотезу распада космологической постоянной. В начальный момент Вселенная могла иметь состояние атома Леметра с топологией 3-сферы и с планковской плотностью. В этом квантовом состоянии мира флуктуации метрики были сравнимы с самой метрикой, так что метрика была однородной и изотропной метрикой вакуума с уравнением состояния материи вакуума $p = -\rho$ (ведь квантовая механика исключает абсолютную геометрическую пустоту). Если плотность отрицательна, то отрицательна и космологическая постоянная, определяющая тензор энергии-импульса вакуума. Постоянство космологического лямбда-члена следует из свёрнутых тождеств Бьянки для уравнений Эйнштейна с этим членом (не исключено, что в квантовой гравитации лагранжиан содержит дополнительные члены с тензором Римана, вклад которых в уравнения поля мал на макроскопическом уровне). Тогда мир событий был бы однополостным гиперболоидом с замкнутыми линиями времени в его ортогональных оси симметрии сечениях. Но в фейнмановскои интеграле по путям линии времени противоположных ориентаций компенсировали бы друг друга, и такой мир не мог бы родиться и расширяться в пространстве, эволюционировать.

При положительной плотности и отрицательном давлении вакуума мир событий представлен однополостным гиперболоидом с осью времени в роли оси симметрии и с трёхмерными ортогональными этой оси расширяющимися (после предельного сжатия) пространственными трёхмерными сферами. При этом гиперболоид имеет трёхмерные пространственные плоскости в роли образующих (напомним, что и обычный двухмерный гиперболоид об-

разуется вращением прямой линии вокруг другой прямой линии, с ним скрещенной). Наблюдаемые плоские трёхмерные пространства расширяющейся Вселенной сопутствуют расширяющейся материи. При этом скорость увеличения расстояний между её элементами может быть любой: предельная скорость света ограничивает лишь причинно связанные области. Заметим также, что, строго говоря, скорость света не является в обычном смысле этого слова скоростью, поскольку для воображаемого светового наблюдателя из-за предельного лоренцева сокращения длин до нуля продольное измерение его пространства исчезает, и обычное 1+3 расщепление мира событий на одномерное время и трёхмерное пространство заменяется его 2+2 расщеплением. А поскольку собственным значением квантового оператора скорости является только плюс-минус скорость света, это расщепление следует считать первичным.

Первоначальную плотность естественно считать предельной планковской плотностью. Но тогда это мир де Ситтера планковской плотности с радиусом кривизны $1{,}6\cdot 10^{-13} cm.$ Большой Взрыв естественно связать с релятивистским фазовым переходом вакуума. Сохраняющаяся масса Метагалактики (вакуум плюс вещество) была вакуумной массой, и вакуум почти всю свою массу отдал частицам вещества (в том числе излучения) как квантам возбуждения вакуума. Возник однополостный гиперболоид с радиусом кривизны перешейка $10^{28} cm.$ Из решения де Ситтера уравнений Эйнштейна для однородной изотропной Вселенной с радиусом кривизны пространства $a$ для космологического члена имеем $\Lambda = 3/a^2$. Таким образом, космологический член уменьшился примерно на 82 порядка с величины примерно $10^{26} cm^{-2}$ до величины $10^{-56} cm^{-2}$. Сильная гравитация стягивает геометрию пространства, а слабая – ослабляет стягивание.

Масса Метагалактики равна массе струны планковской плотности, планковского сечения и длиной $10^{28} cm.$ Эта струна словно была вначале плотно упакована в 3-сфере, а затем фрагментировалась в 3-сферу размера длины струны $10^{28} cm$: фрагментация отвечала распаду вакуума. Сегодняшняя расширяющаяся Вселенная, повторяем снова, имеет асимптотикой новый мир де Ситтера, новый однополостный гиперболоид с радиусом кривизны перешейка величиной (вместо прежнего размера порядка $10^{-13} cm$) всё тех же $10^{28} cm.$

В заключение коснёмся так называемых дуальностей. Существуют две дуальности: T-дуальность и S-дуальность. Первая связана с энергетической эквивалентностью топологических и осцилляционных энергетических мод частиц. 4-Импульс частицы равен $(h\varpi, h\varpi, 0, 0),$ где $h$ – постоянная Планка, а частота связана со скоростью света и с длиной волны соотношением $\varpi = c/2\pi\lambda.$ Если многомерную частицу представить вначале в виде шланга, то осциляционные моды отвечают контурам без намотки вокруг него, а топологические определяются числами намотки. При дуальном преобразовании $l \to l_f^2/l$ осцилляционные и топологические моды меняются местами, и дуальными оказываются размер частицы и её гравитационный радиус. До Большого Взрыва фундаментальный радиус $l_f$ кривизны пространства Метагалактики был самодуальным, а после Большого Взрыва произошла топологическая перестройка пространства-времени, и планковская длина стала отличаться от дуального ей размера наблюдаемой Вселенной. Мы замечаем, что фридмоны отвечают распаду начальной симметрии $\tilde{E}(8)$ физических взаимодействий до точной симметрии группы $S\tilde{U}(2)$, а обычные стабильные частицы отвечают распаду начальной симметрии $E(8)$ до точных симметрий Стандартной модели $SU(3)$ и $U(1)$.

S-дуальность отвечает эквивалентности систем с константами взаимодействия $g$ и $1/g$. Вспомним, что гравитационное взаимодействие примерно на 41 порядков слабее электромагнитного. Взаимодействие, S-дуальное данному взаимодействию как раз и отвечает разли-

чию масштабов начального радиуса кривизны $10^{-13}cm$ Вселенной с планковской плотностью с современным его значением $10^{28}cm.$ Таким образом, начальное и современное состояния Вселенной энергетически друг другу эквивалентны. Наблюдаемая материя есть результат распада начального мира де Ситтера планковской плотности, а конечное асимптотическое состояние расширяющейся Вселенной – это мир де Ситтера с критической плотностью, на 122 порядка меньшей плотности начальной.

**Данная работа выполнена в рамках Программы ПРАН П7 «Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звёзд. Переходные и взрывные процессы в астрофизике» и доложена на международной научной школе «Наука и инновации – 2016» (3-10 июля 2016, озеро Яльчик, Республика Марий Эл, организована Поволжским государственным технологическим университетом, руководитель школы профессор И. И. Попов, ПГТУ, учёный секретарь доктор биологических наук В. А. Козлов, Чебоксарский государственный университет, коим выражаю глубокую благодарность).**

**Список литературы**

[1] Polishchuk R. F. In: *Fundamentals of Life* (Eds. G. Palyi, C. Zucchi and L. Caglioti) Elsevier and Accademia Nazionale di Scienze. Lettere ed Artu (Modena). Paris, 2002, p. 141-151.
[2] Chernavskay N. M., Chernavsky D. S. and Polishchuk R. F. Origin in the Biological Chirality. In: *Progress in Biological Chirality* (Eds. G. Palyi, C. Zucchi and L. Caglioti) Elsevier, Oxford, UK, 2004, p. 257-259.
[3] Polishchuk R. F. Tetrad Currents in General Relativity. *Gravitation and Cosmology.* **2(3),** 123-129 (1997).
[4] Hilbert David. Naturerkennen und Logik. *Naturwissenshaften,* 1930, S. 959-963. Перевод: Давид Гильберт. Познание природы и логика. *Избранные труды*. Т. 1, М.: Изд-во «Факториал», 1998, с. 457-465.
[5] Полищук Р. Ф. Тетрадные токи торсионных полей Картана. *Восьмая международная научная школа «Наука и инновации – 2013»,* Йошкар-Ола, ПГТУ, 93-108 (2013).
[6] Полищук Р. Ф. Гипотеза фридмонов как частиц тёмной материи. *Материалы конференции «Астрофизика высоких энергий» НЕА-2011,* 13-16 декабря 2011, ИКИ РАН, Москва, 62-63 (2011).
[7] Полищук Р. Ф. Гипотеза фридмонов как частиц тёмной материи. *Краткие сообщения по физике ФИАН.* **39 (8)** 10-15 (2012).
[8] Polishchuk R. F., Hypothesis of Friedmons as Dark Matter Particles. *Bulletin of the Lebedev Physics Institute.* Edition: Allerton Press. Vol. 39 (8), p. 226-228 (2012).
[9] Полищук Р. Ф. Связь масштабов объединения физических взаимодействий с массами Метагалактики и звёзд. *Девятая международная научная школа «Наука и инновации – 2014»,* 7-12 июля 2012, Йошкар-Ола, ПГТУ, 107-113 (2014).
[10] Полищук Р. Ф. Гипотеза дуальной связи между планковской длиной и размером Метагалактики до Большого Взрыва. *Краткие сообщения по физике ФИАН.* **42(9),** 22-29 (2015).
[11] Polishchuk R. F. Hypothesis of the dual relation between the Planck length and Metagalaxy size before the Big Bang. *Bulletin of the Lebedev Physics Institute,* Edition: Allerton Press. Vol. 42(9), 268-272 (2015).

**Москва, 5 августа 2016 г.**

This work is made in frame of the Program of the Russian Academy of Sciences P7 “The experimental and theoretical investigations of the Solar system objects and the planetary star systems. Transient and explosive processes in the astrophysics”.

**Supplement**
**The four fundamental interactions of nature**

| Property/Interaction | Gravitation | Weak | Electromagnetic | Strong | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | (Electroweak) | | Fundamental | Residual |
| Acts on: | Mass – Energy | Flavor | Electric charge | Color charge | Atomic nuclei |
| Particles experiencing: | All | Quarks, leptons | Electrically charged | Quarks, Gluons | Hadrons |
| Particles mediating: | Not yet observed (Graviton hypothesised) | $W^+$ $W^-$ $Z^0$ | γ (photon) | Gluons | Mesons |
| Strength at the scale of quarks: | $10^{-41}$ | $10^{-4}$ | 1 | 60 | Not applicable to quarks |
| Strength at the scale of protons/neutrons: | $10^{-36}$ | $10^{-7}$ | 1 | Not applicable to hadrons | 20 |

**СКРИНИНГОВАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗДОРОВЬЯ**

# АНАЛИЗ ДВУМЕРНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ПОЛОВОЗРАСТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СОСТАВА ТЕЛА НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Д.В. Николаев[1], С.П. Щелыкалина[1,2], В.А. Колесников[1], В.В. Немычникова[3]**

*[1]ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России,*
*[2]ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России,*
*[3]МФТИ, Россия, Москва*

Состав тела человека принято рассматривать, как совокупность абсолютных и относительных оценок массы компонентов состава тела: жировой массы (ЖМТ), безжировой массы (БМТ), активной клеточной массы (АКМ), внеклеточной жидкости (ВКЖ), скелетно-мышечной массы (СММ). Текущие значения оценок состава тела зависят от ряда обстоятельств предшествующего периода жизни: режима питания, двигательной активности, заболеваний, наследственной предрасположенности. Этим обусловлено широкое использование биоимпедансных методов, оценивающих состав тела и, особенно, приспособленных к условиям скринингового исследования, в профилактической, спортивной медицине, диетологии.

Технология биоимпедансного анализа состава тела (БИА) штатно применяется в скрининговых исследования, проводимых в центрах здоровья с момента их создания в 2009 году [1]. На основе биоимпедансных исследований состава тела формируется ряд диагностических заключений и оценок риска неинфекционных заболеваний. В табл. 1 соотнесены параметры состава тела и основные направления их использования при обследованиях в центрах здоровья [2]. На основе данных, собранных в центрах здоровья, были созданы центильные таблицы [1] антропометрических, импедансных параметров и параметров состава тела для отечественной популяции по состоянию на 2010–2012 годы. Примеры графиков зависимостей от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 93-го центилей некоторых параметров БИА приведены на рис. 1.

**Таблица 1**.

Параметры состава тела и метаболические корреляты, используемые для оценки рисков заболеваемости и смертности, а также для выявления нарушений состояния питания, гидратации и двигательной активности

| Параметр | Область применения |
|---|---|
| %ЖМТ | Классификация содержания жира в организме, выявление избыточного веса, ожирения, липодистрофии, оценка риска метаболического синдрома, характеристика достаточности питания |
| ЖМТ | Численная оценка избытка или недостатка жировой массы в организме для расчета длительности диетологических мероприятий |
| БМТ | Характеристика конституциональных особенностей, выявление катаболических сдвигов |
| АКМ | Характеристика белкового депо организма, достаточности белкового питания |
| %АКМ | Классификация уровня двигательной активности, выявление гиподинамии, выявление катаболических сдвигов |
| ВКЖ | Характеристика состояния гидратации организма, выявление отеков и дисгидрий |
| СММ | Характеристика развития скелетно-мышечной ткани для оценки физического развития индивида |
| %СММ | Характеристика физической работоспособности, выявление риска инвалидности у пожилых людей |

Трехмерные диаграммы распределения плотности данных пар параметров биоимпедансного анализа состава тела имеют куполообразную форму, и проекции их горизонтальных сечений, соответствующие фиксированным уровням плотности данных, образуют систему вложенных замкнутых кривых. На рис. 2 вверху представлены 3D и 2D изображения диаграмм распределения плотности пары: жировая масса и скелетно-мышечная масса для мужчин (слева) и женщин (справа) в возрасте 55 лет.

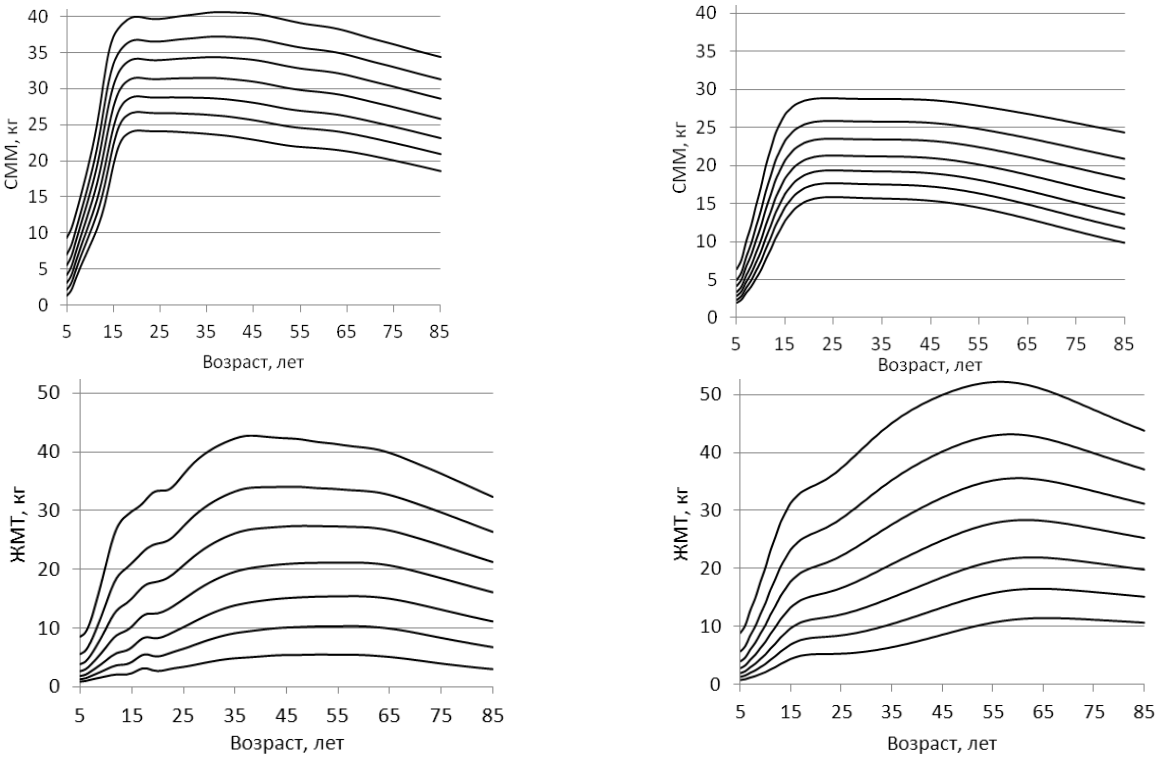



**Рис. 1**. Графики зависимостей от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 93-го центилей скелетно-мышечной массы (вверху) и жировой массы (внизу). Слева показаны данные мужской части популяции, справа – женской.

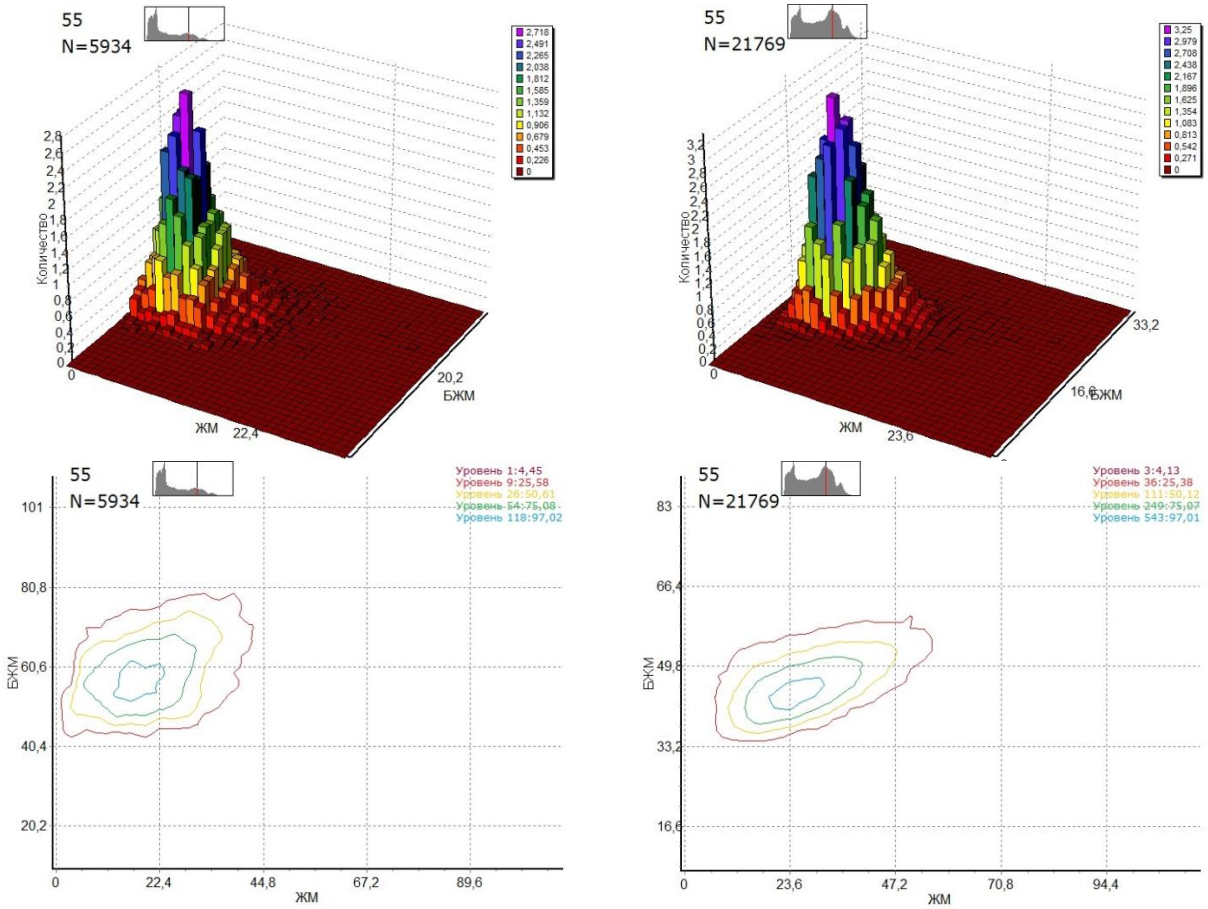



**Рис. 2.** 3D и 2D изображения диаграмм распределения плотности пары: жировая масса и скелетно-мышечная масса для мужчин (слева) и женщин (справа) в возрасте 55 лет.

Наличие выраженных областей высокой плотности с типичными, наиболее часто встречающимися, сочетаниями значений различных пар параметров БИА, переходящих в широкие области нетипичных значений с низкой плотностью, может интерпретироваться как наличие у популяции выраженных «ядра» и «периферии». Логично ожидать, что в периферической части распределения будет выше доля индивидов с физическими отклонениями, заболеваниями и рисками развития заболеваний, ведущих к изменениям состава тела.

Проверке этой гипотезы и посвящена данная работа.

**Материал и методы.** Анализировалась выборка данных обследования населения в центрах здоровья в 2010-2015 гг, прошедшие процедуру фильтрации от артефактов измерения и фальсификации данных, описанную в [1]. После фильтрации в базе данных содержалось 1 638 596 биоимпедансных исследований. На рис. 3 приводятся распределения численности обследованных по возрасту и половой принадлежности. Из рисунка видно, что численность половозрастных групп выше 5000 наблюдалась у мужской части обследованных в диапазоне от 6-ти до 64-х лет, а у женской – от 6-ти до 77 лет.

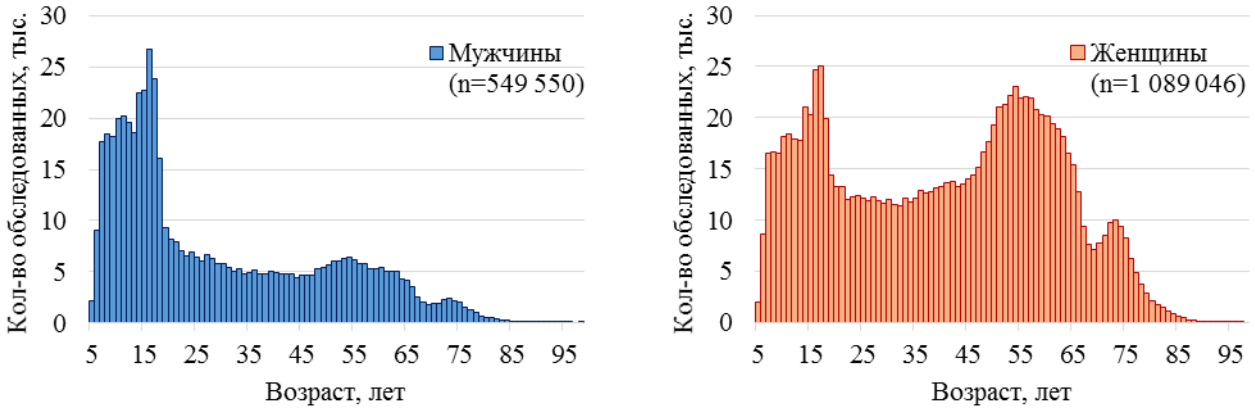



**Рис. 3.** Возрастные распределения численности пациентов, обследованных в центрах здоровья по методике биоимпедансометрии с использованием анализаторов «АВС-01 МЕДАСС» (n = 1 638 596)

Параметры биоимпедансного анализа состава тела были разделены на две группы: «входные» – рост, вес, активное сопротивление R50, реактивное сопротивление Xc50, и вычисляемые: жировая масса (ЖМ), безжировая масса (БЖМ), активная клеточная масса (АКМ), скелетно-мышечная масса (СММ) и их процентные соотношения. Расчетные формулы всех вычисляемых параметров состава тела приведены в [3]. Наряду с значениями компонент состава тела анализировались значения фазового угла.

Двумерные распределения сочетаний параметров состава тела строились в виде плоских замкнутых кривых, ограничивающих области, содержащие 95, 75, 50, 25 и 4 процента обследованных в половозрастных подгруппах. Построение осуществлялось посредством специально разработанной программы Animation17 (НТЦ «МЕДАСС», 2015).

В наиболее краткой форме вся информация каждого биоимпедансного исследования содержится в совокупности его четырех входных параметров, а также возраста и пола. Для визуального сопоставления четырехмерных объектов входной информации и двумерных карт плотности распределения пар вычисляемых параметров, имеющих медицинскую интерпретацию, предложен подход с использованием расчета значений индекса типичности данных каждого исследования.

Индекс типичности – относительная частота (от 0 до 1) встречаемости конкретного сочетания значений параметров в группе определенного пола и возраста. Пациенты с наиболее высокими значениями индекса типичности представляют самые частые типажи в своей половозрастной группе. Четырехмерный индекс типичности рассчитывается для каждой поло-

возрастной группы на основании следующих параметров: R50 [Ом], Xc50 [Ом], рост [см] и вес [кг]. Для того, чтобы индекс типичности можно было применять на выборках ограниченного объема, необходимо использовать более низкую дискретизацию чем точность измерения параметров. В настоящем исследовании частота дискретизации параметров при расчете индекса типичности составила 20 Ом для R50, 2 Ома для Xc50, 2 см для роста и 2 кг для веса, таким образом, был рассчитан индекс типичности 20.2.2.2 на основе выборки из более чем 1,6 млн человек. Исследования упорядочивали по убыванию значений индекса типичности в каждой половозрастной группе, и выбирали, например, первые 50 процентов от группы, таким образом, формируя 50-ти процентную ядерную субпопуляцию. Расчет индекса типичности и построение диаграмм распределения данных с заданными значениями индекса типичности на фоне 2D изображений диаграмм распределения плотности пар параметров БИА осуществлялись посредством специально разработанной программы Animation17.

Данные о рисках сердечно-сосудистых заболеваний для используемой выборки данных взяты из работы [4], где в каждой половозрастной группе выделялись подгруппы, характеризующиеся признаками ожирения (ИМТ выше 30 кг/м$^2$), гиперхолестеринемии (содержание общего холестерина более 5,2 ммоль/л) и повышенного уровня глюкозы в крови (более 5,6 ммоль/л).

**Результаты и их обсуждение.** На рисунках 4 и 5 изображены типичные диаграммы распределения вычисляемых параметров состава тела на фоне пороговых контуров двумерных распределений для детского (6 лет), среднего (28 лет) и пожилого (70 лет) возраста. Обладающие наиболее высокими значениями индекса типичности точки сосредоточились в основном в областях кучностей двумерных диаграмм (рис. 4, 5).

Из рисунков 4 и 5 видно, что с возрастом облако точек пациентов с наибольшими значениями индекса типичности (50% от всей половозрастной группы), становится более размытым и у мужчин, и у женщин. У женской части населения тенденция размывания ядра с возрастом выражена сильнее.

Повышение степени размытия облака точек ядра популяции с возрастом свидетельствует о нарастании факторов, приводящих к большему разнообразию. Причинами таких изменений могут быть и дифференциация состава тела в результате заболеваний и в результате разнонаправленных возрастных изменений. На существование таких тенденций указывает и большая степень расходимости в пожилом возрасте квартильных кривых на рис.1. По-видимому, женской части популяции это присуще в большей степени, чем мужской.

На рисунках 6 и 7 показаны точечные диаграммы обследованных в центрах здоровья с выявленными рисками различных заболеваний на фоне пороговых контуров двумерного распределения по доле жировой массы (по оси абсцисс) и абсолютным значениям безжировой массы (по оси ординат).

Данные женской части обследованного населения показаны на рис. 6. Видно, что превышение нормы артериального давления (135/85 мм. рт. ст., верхний ряд диаграмм) чаще наблюдается в возрасте 55 лет. Такая тенденция наблюдается в диапазоне с 48 по 75 лет. Плотность точек на диаграммах выше в правом верхнем углу, что соответствует высоким значениям %ЖМ и высоким значениям БЖМ.

Повышенные значения глюкозы в крови (выше 5,6 ммоль/л, средний ряд диаграмм) и уровня общего холестерина в крови (выше 5,2 ммоль/л, нижний ряд диаграмм) не смещены относительно пороговых контуров двумерного распределения, но плотность их распределения максимальна в том же диапазоне возрастов.

Данные мужской части обследованного населения (рис. 7) демонстрируют те же тенденции, но выраженные несколько слабее.

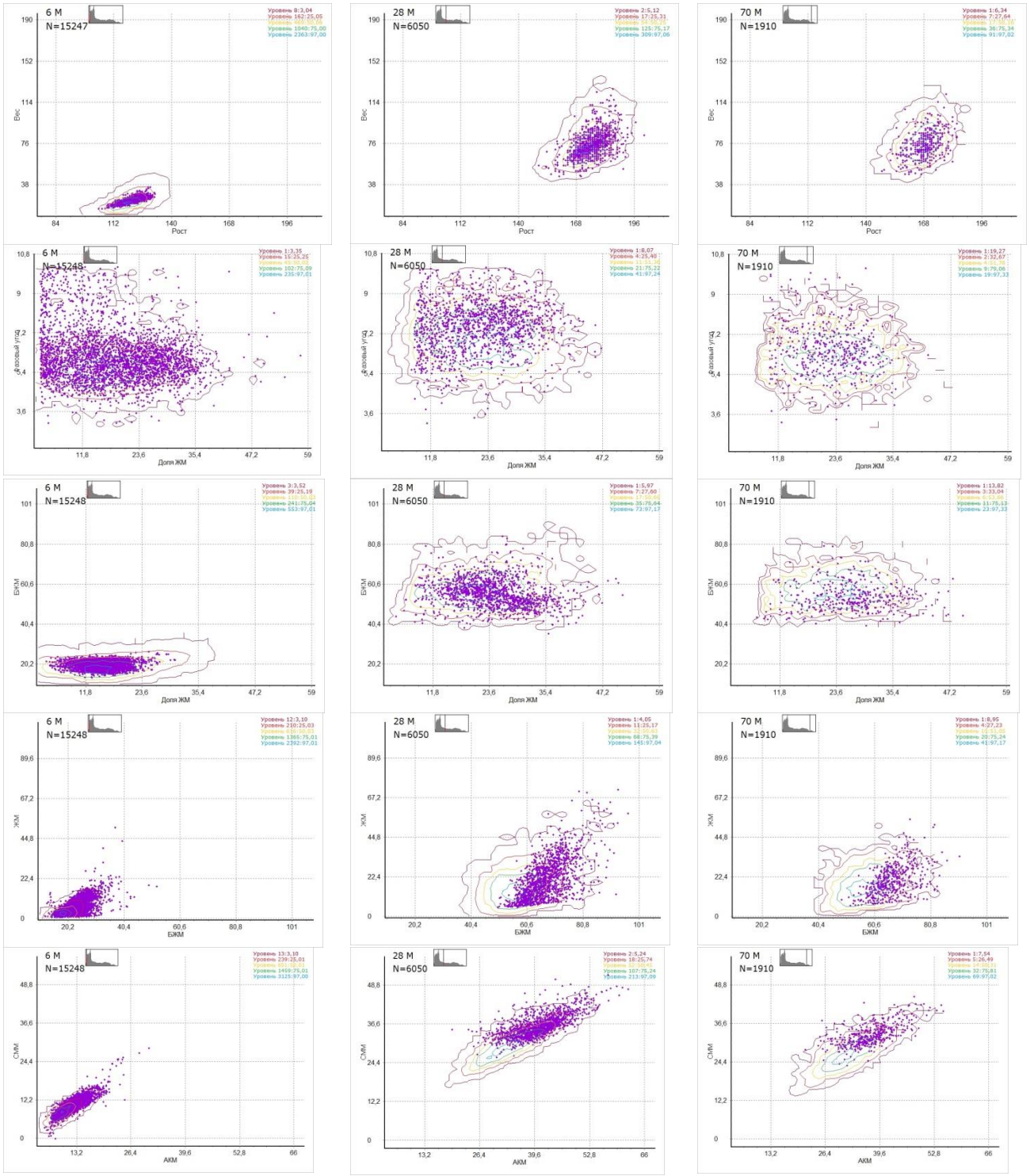



**Рис. 4**. Диаграммы распределения параметров состава тела мужского населения России для детей (6 лет) – левая колонка, людей среднего возраста (28 лет) – средняя колонка и лиц пожилого возраста (70 лет) – правая колонка. Использованные пары параметров двумерных диаграмм: верхний ряд – рост и вес, второй ряд – доля ЖМ и фазовый угол, третий ряд – доля ЖМ и БЖМ, четвертый ряд – БЖМ и ЖМ, пятый ряд – АКМ и СММ. Точки принадлежат 50% обследованных в каждой половозрастной группе с максимальными значениями индекса типичности.

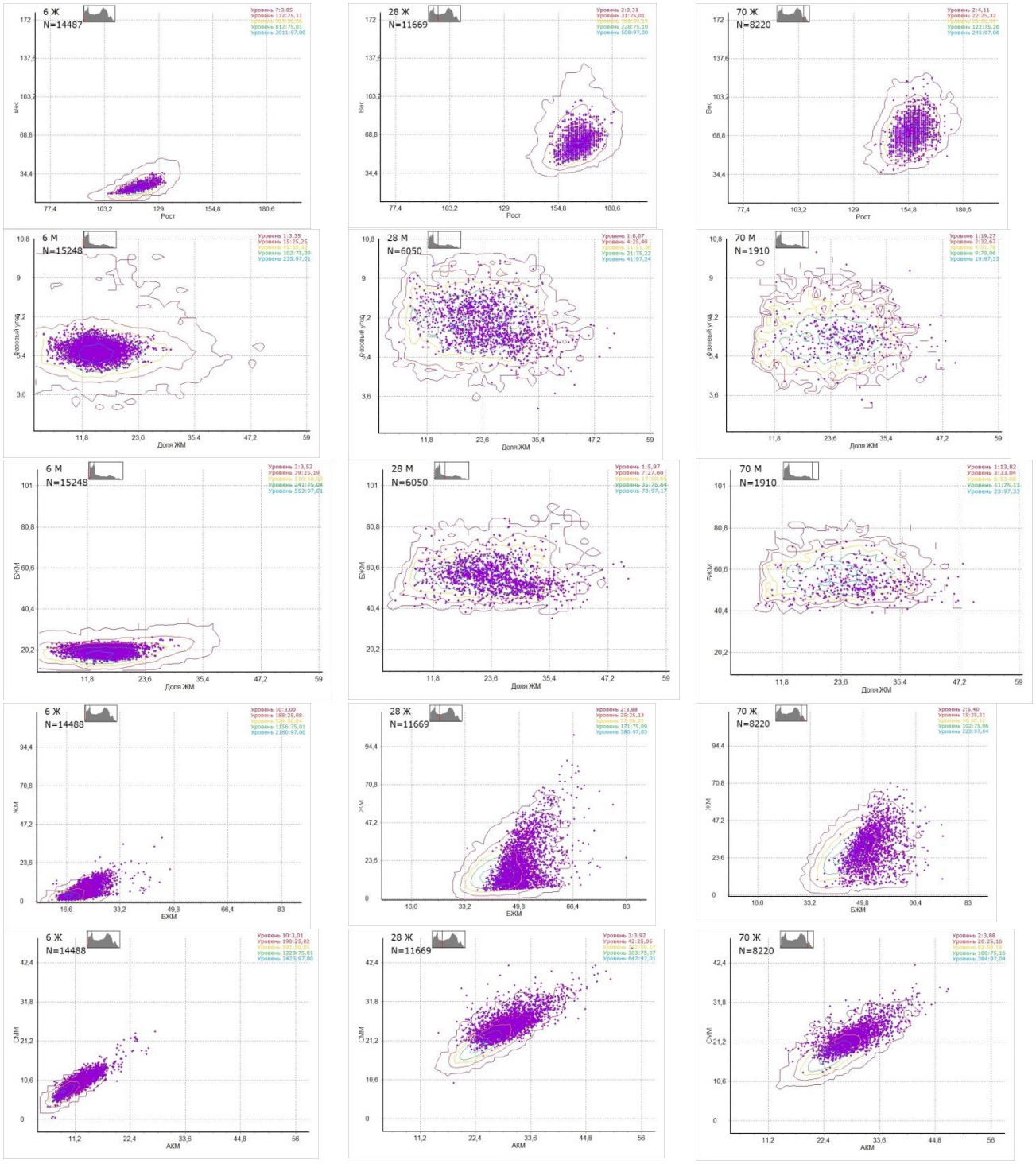



**Рис. 5.** Диаграммы распределения параметров состава тела женского населения России для детей (6 лет) – левая колонка, людей среднего возраста (28 лет) – средняя колонка и лиц пожилого возраста (70 лет) – правая колонка. Использованные пары параметров двумерных диаграмм: верхний ряд – рост и вес, второй ряд – доля ЖМ и фазовый угол, третий ряд – доля ЖМ и БЖМ, четвертый ряд – БЖМ и ЖМ, пятый ряд – АКМ и СММ. Точки принадлежат 50% обследованных в каждой половозрастной группе с максимальными значениями индекса типичности.

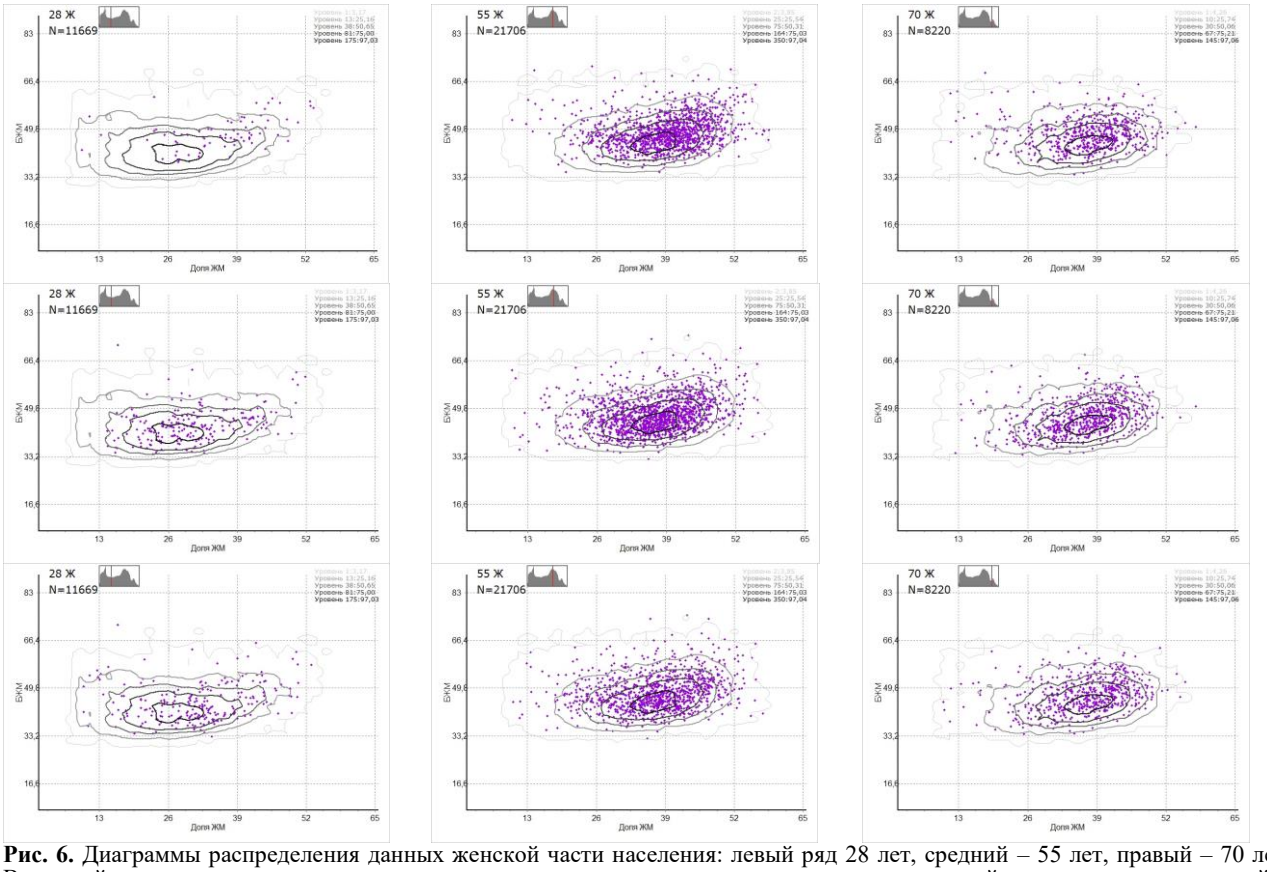



**Рис. 6.** Диаграммы распределения данных женской части населения: левый ряд 28 лет, средний – 55 лет, правый – 70 лет. В верхней строке с превышением верхних порогов нормы артериального давления, во второй – холестерина, в третьей – концентрации глюкозы в крови.

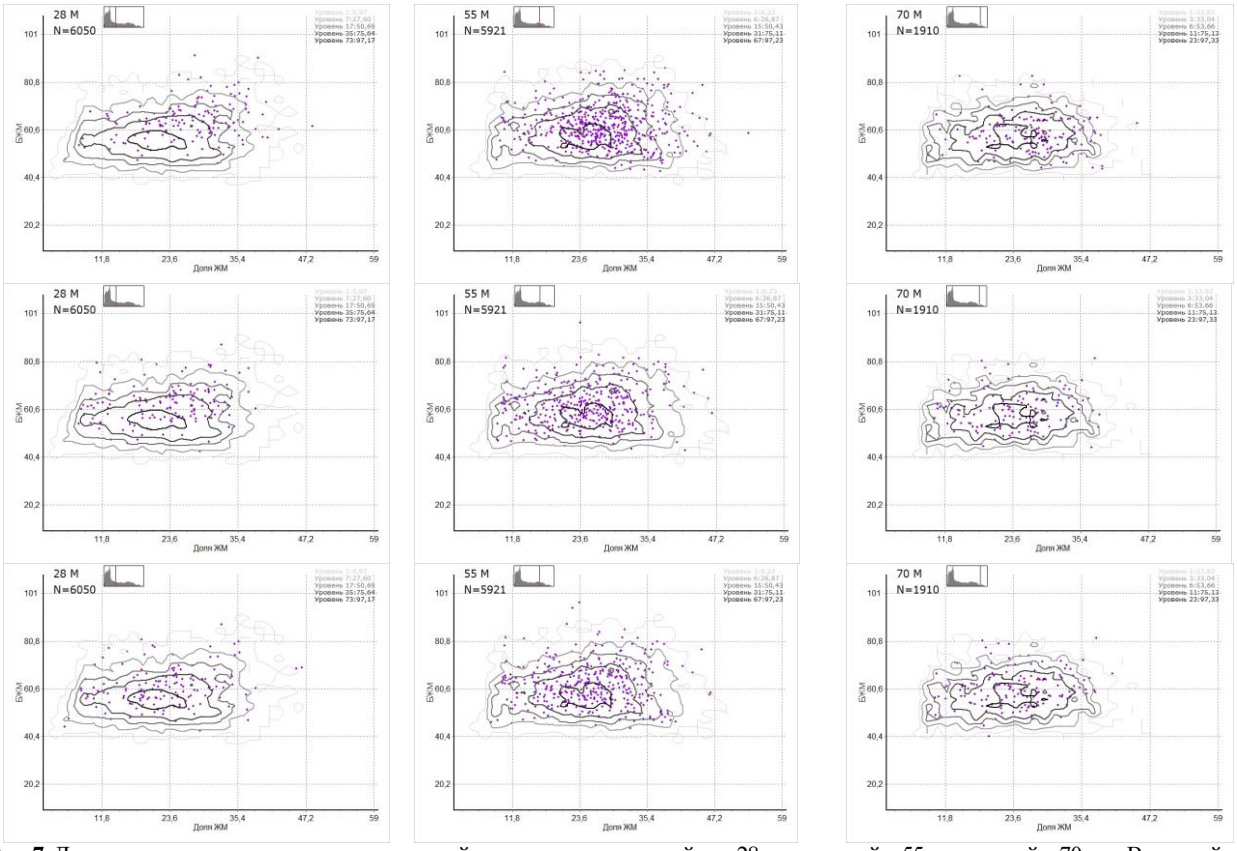



**Рис. 7.** Диаграммы распределения данных мужской части населения: левый ряд 28 лет, средний – 55 лет, правый – 70 лет. В верхней строке с превышением верхних порогов нормы артериального давления, во второй – холестерина, в третьей – концентрации глюкозы в крови.

**Выводы**

Анализ распределений плотности данных биоимпедансных исследований с высокими значениями индекса типичности на двумерных плоскостях с координатами пар основных параметров состава тела показал, что визуально конфигурация облака рассеяния сохраняется. Это явление может быть использовано для разделения результатов скрининговых исследований БИА на две группы: с низкими и высокими вероятностями патологических причин отклонений показателей состава тела от наиболее часто встречающихся значений.

Анализ распределений плотности данных биоимпедансных исследований контингентов с выявленными рисками сердечно-сосудистых заболеваний на двумерных плоскостях с координатами пар основных параметров состава тела показал, что эти распределения не образуют выраженных кучностей и демонстрируют максимальную населенность в диапазоне возрастов от 48 до 75 лет.

Изложенные выше наблюдения позволяют говорить о возможностях клинического использования двумерных представлений параметров БИА для сортировки данных массовых биоимпедансных обследований и обобщенных индивидуальных оценок результатов исследования конкретного обследования, что повлечет необходимость разработки количественных критериев и математических инструментов оценки данных обследования.

**Работа поддержана грантом РНФ № 14-15-01085 (ЦНИИОИЗ).**

**Список литературы**

1. Руднев С.Г. и др. Биоимпедансное исследование состава тела населения России. М.: РИО ЦНИИОИЗ, 2014. 492 с.
2. Николаев Д.В., Щелыкалина С. П. Лекции по биоимпедансному анализу состава тела человека. М.: РИО ЦНИИОИЗ, 2016. 152 с.
3. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. М.: Наука, 2009. 392 с.
4. Щелыкалина С. П., Ерюкова Т. А., Николаев Д.В. и др. Распространенность факторов сердечно-сосудистого и метаболического рисков по данным центров здоровья. РМЖ (в печати)

# ПОЛОВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗНАЧЕНИЙ ФАЗОВОГО УГЛА РОССИЯН: ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНДЕКСА МАССЫ ТЕЛА

**С.П. Щелыкалина [1,2], Д.В. Николаев [1], В.А. Колесников [1]**

*[1]ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России,*
*[2]ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Россия, Москва*

**1. Введение.** Биоимпедансный анализ состава тела человека позволяет наряду с оценками ряда компонент состава тела: жировой, безжировой, активной клеточной и скелетно-мышечной массы получать оценки степени метаболической активности текущего состояния организма – значения основного обмена и фазового угла. Оба перечисленных показателя востребованы в практической медицине. Биоимпедансные оценки основного обмена используются в основном для характеристики питания.

С точки зрения электротехнических измерений фазовым углом называется сдвиг фазы синусоидального зондирующего тока относительно кривой измеряемого напряжения. Другой способ расчета фазового угла, не требующий фиксации нескольких периодов (состоящих из сотен единичных измерений) кривых тока и напряжения, состоит в том, что по результатам одного измерения вычисляют по формуле: $(180/\pi)\mathrm{arctg}(Xc/R)$, где Xc – реактивное, а R - активное сопротивление измеряемого объекта.

Широкое использование результатов измерения фазового угла на частоте 50 кГц при расположении электродов на кисти и стопе получило распространение после публикации в 2002 году исследований немецких врачей Selberg, O., и Selberg [1]. Показано, что для людей среднего возраста отклонения от диапазона нормальных значений (5,6 – 7,8 градусов) в сторону пониженных значений свидетельствуют о наличии катаболических процессов, и могут служить предиктором ряда распространенных заболеваний катаболической направленности, а также для оценки времени дожития у больных с циррозом печени и риска нарушения нутритивного статуса [1], для прогнозирования скорости течения ВИЧ/СПИД [3], как прогностический фактор при раковых опухолях [4,5,6], как маркер бактериовыделения при туберкулезе [7]. Повышенные значения фазового угла в спортивной медицине трактуются как высокая степень тренированности [2]. В клинике пониженные значений фазового угла принято считать одним из прогностических неблагоприятных признаков. Известно, что фазовый угол зависит от пола, возраста, индекса массы тела. В работе Bosy-Westphal, A. et al (2006 г.) [9] сравнивались средние значения фазового угла (ФУ) обследованных групп населения ФРГ [9], Швейцарии [8] и США [10]. Для данных, полученных в ФРГ, привлекались соответствующие значения индекса массы тела. Показано, что для женской части взрослого населения характерно повышение среднего значения фазового угла с возрастанием значений индекса массы тела в интервале 18,5-40 кг/м$^2$, и снижение при больших значениях индекса массы тела. Для мужской части взрослого населения пределом возрастания значений фазового угла было значение индекса массы тела 35 кг/м$^2$. В России с 2009 г. в рамках работы центров здоровья проводится биоимпедансное исследование населения. Первичный анализ полученных в центрах здоровья данных за 2010-2012 гг. – более 800 тысяч пациентов в возрасте от 5 лет, - был опубликован в 2014 г. в монографии Руднева С.Г. и др. [11]. Сопоставление российских данных ФУ с данными, полученными в других странах показало (рис. 1), что без учёта влияния ИМТ значения ФУ у швейцарцев и россиян близки в возрасте 20-55 лет, но после 55 у швейцарцев ФУ уменьшается быстрее, чем у россиян, у американских мужчин ФУ выше, в то время как у женщин – близок к российским данным [11]. У взрослых российских мужчин и женщин значение фазового угла на 0,5-1 град. больше, чем у жителей Германии на протяжении всей жизни. В настоящей работе представлен анализ обновлённых данных.

**Целью** настоящей работы стал анализ половозрастных особенностей фазового угла в зависимости от значений индекса массы тела у граждан Российской Федерации, посетивших центры здоровья в период 2010-2015 гг.

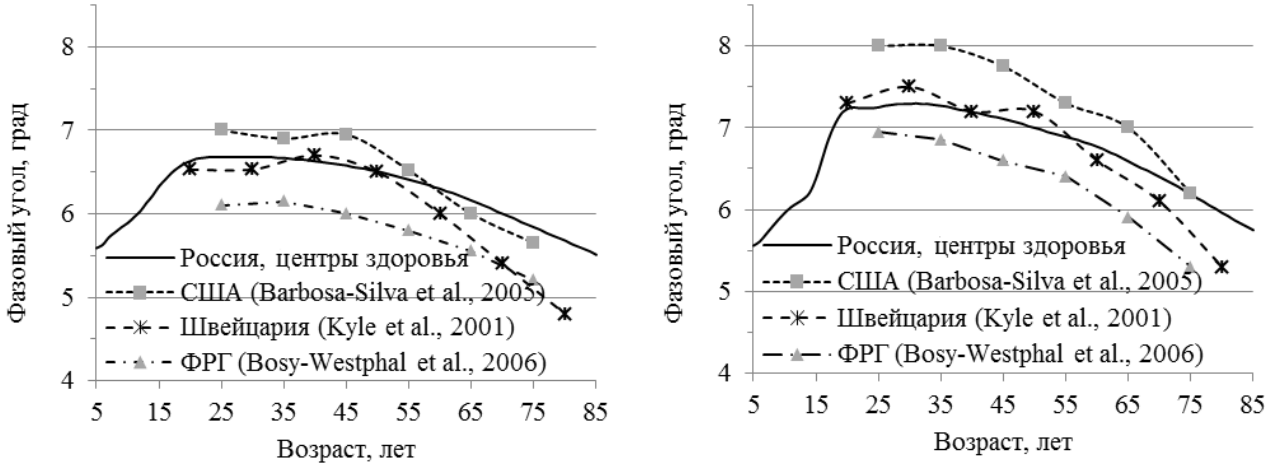



**Рис. 1.** Международные сравнения значений фазового угла от возраста. Слева данные женской части популяции, справа – мужской.

**2. Материалы и методы.** Анализировались данных обследования населения в центрах здоровья в 2010-2015 гг, прошедшие процедуру фильтрации от артефактов измерения и фальсификации данных, описанную в [11]. После удаления артефактных измерений в базе данных содержалось 1 638 596 биоимпедансных исследований, 1 636 720 из которых принадлежали пациентам в возрасте от 5 до 85 лет на момент обследования. Для проведения исследования зависимости значения фазового угла от значений ИМТ были использованы данные биоимпедансных обследований пациентов в возрасте от 5 до 85 лет – 1 087 690 женщин и 549 030 мужчин. Характеристика групп пациентов представлена в таблице 1.

**Таблица 1.**

Характеристика обследованных в центрах здоровья

| Параметры | группа | Жен. | Муж. | | Жен. | Муж. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **N, чел.** | **5-9 лет** | **60 325** | **65 428** | **15-18 лет** | **89 869** | **89 343** |
| **ФУ, град., (Me [25%; 75%])** | | 5,8 [5,4; 6,3] | 5,8 [5,4; 6,2] | | 6,5 [6,0; 7,1] | 6,8 [6,2; 7,4] |
| **Рост, см. (Me [25%; 75%])** | | 127,0 [121,0; 133,0] | 128,0 [122,0; 134,0] | | 164,0 [160,0; 168,0] | 174,0 [169,0; 179,0] |
| **Масса тела, кг (Me [25%; 75%])** | | 26,0 [22,0; 31,0] | 27,0 [23,0; 32,0] | | 56,0 [50,0; 63,0] | 64,0 [57,0; 73,0] |
| **ИМТ, кг/ кв.м. (Me [25%; 75%])** | | 16,0 [14,7; 18,2] | 16,3 [15,1; 18,5] | | 20,7 [18,9; 23,1] | 21,0 [19,2; 23,5] |
| **Возраст, лет (Me [25%; 75%])** | | 7,7 [6,8; 8,6] | 7,7 [6,8; 8,6] | | 16,5 [15,6; 17,4] | 16,3 [15,5; 17,2] |
| **N, чел.** | **10-14 лет** | **93 239** | **100 780** | **старше 18 лет** | **844 257** | **293 479** |
| **ФУ, град., (Me [25%; 75%])** | | 6,0 [5,6; 6,5] | 6,1 [5,6; 6,5] | | 6,4 [5,9; 7,0] | 6,9 [6,2; 7,6] |
| **Рост, см. (Me [25%; 75%])** | | 152,5 [144,0; 160,0] | 151,0 [143,4; 161,0] | | 162,0 [157,0; 166,0] | 174,0 [170,0; 179,0] |
| **Масса тела, кг (Me [25%; 75%])** | | 44,0 [36,0; 53,0] | 44,3 [36,0; 55,0] | | 70,0 [61,0; 81,0] | 78,0 [70,0; 88,0] |
| **ИМТ, кг/ кв.м. (Me [25%; 75%])** | | 18,8 [16,6; 21,5] | 18,9 [16,9; 21,9] | | 26,8 [23,1; 31,2] | 25,7 [23,2; 29,0] |
| **Возраст, лет (Me [25%; 75%])** | | 12,1 [10,8; 13,4] | 12,0 [10,8; 13,4] | | 50,4 [35,7; 60,2] | 43,4 [28,9; 56,8] |

Наблюдается статистическая значимость ($p<0,05$, критерий Манна-Уитни) половых различий по всем параметрам.

Все биоимпеданстные исследования были проведены с помощью прибора АВС-01 «МЕДАСС» (НТЦ «МЕДАСС», Россия, Москва) по стандартной методике с наложением электродов на правую кисть и стопу. Результаты исследований, прошедшие процедуру очистки от некорректных данных, были обработаны с использованием средств языка R. Построение сглаженных центильных кривых для создания набора осевых линий центильных поверхностей с шагом 1 кг/кв.м. по ИМТ и 1 год по возрасту проводилось по методике ВОЗ с использованием процедур GAMLSS.

3. **Результаты и обсуждение.** Результаты пятилетней работы центров здоровья позволили набрать достаточный массив данных для построения набора центильных поверхностей зависимости значений фазового угла от пола, возраста и индекса массы тела. На рис. 2 изображены медианные поверхности, построенные на основе набора медианных значений ФУ подгрупп пациентов с одинаковыми (с точностью до целых) значениями возраста и ИМТ. Для построения использованы значения ФУ подгрупп численностью не менее 25 человек. Для значений ИМТ менее 18 и более 30 кг/м$^2$ полностью охватить возрастной диапазон от 5 до 85 лет не удалось, т.к. редко встречались дети с такими высокими значениями ИМТ и взрослые – с такими низкими.

Обнаружено, что для Российской популяции в зависимости от ИМТ медианные значения ФУ для подросткового возраста лежат в диапазоне 5,5-6,2 град. (13 лет, женщины и мужчины), в среднем возрасте - 6,9-7,5 у мужчин и 6,2-6,7 у женщин (40 лет), в пожилом возрасте - 6,1-6,5 у мужчин и 5,8-6,2 у женщин (65 лет). Максимальное значение медианы фазового угла наблюдалось у мужчин в возрасте 35 лет с ИМТ= 36 кг/м$^2$ и женщин в возрасте 28 лет с ИМТ= 36 кг/м$^2$ – 7,67 град. и 6,95 град. соответственно. На участках со значениями ИМТ, соответствующими нормальному весу, обнаруживается прогиб поверхности в средних возрастах, особенно выраженный у мужчин.

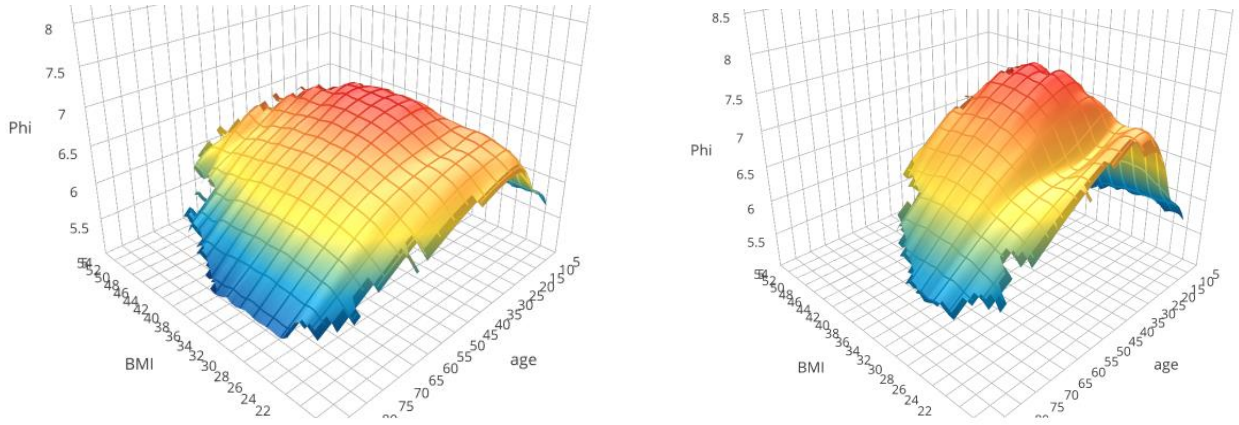



**Рис. 2** Медианная поверхность значений фазового угла (Phi) от возраста (age) и значений ИМТ (BMI). Слева данные женской части популяции, справа – мужской.

На рисунке 3. изображены возрастные срезы медианных поверхностей на уровне 20, 35 и 65 лет. Можно заметить, что линии срезов 20 и 65 лет имею перегиб на уровне ИМТ= 30 кг/м$^2$, а возрасте 35 лет снижение ФУ происходит при больших значениях ИМТ – 35 кг/м$^2$, что согласуется с данными Bosy-Westphal, A. et al (2006 г.) [9]. Также хорошо заметен прогиб поверхности в интервале 22-26 кг/м$^2$, достигающий минимума в возрасте 35 лет при ИМТ=24 кг/м$^2$ у мужчин. У женщин в том же диапазоне значений ИМТ и возрастов прогиб выражен слабее и представляет собой скорее плато, или временное замедление роста значений ФУ с возрастанием ИМТ. На рисунках 4 представлено сравнение значений фазового угла, измеренных у посетителей центров здоровья в 2010-2015 гг., и жителей ФРГ [9] в зависимости от значений ИМТ.

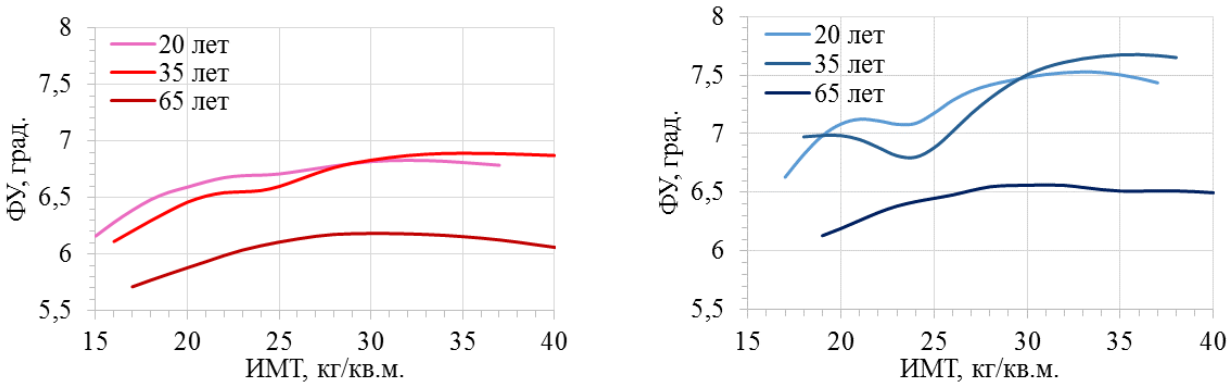



**Рис. 3.** Срезы медианной поверхности зависимости значений фазового угла от возраста и значений ИМТ на уровне 20, 35 и 65 лет. Слева данные женской части популяции, справа – мужской.

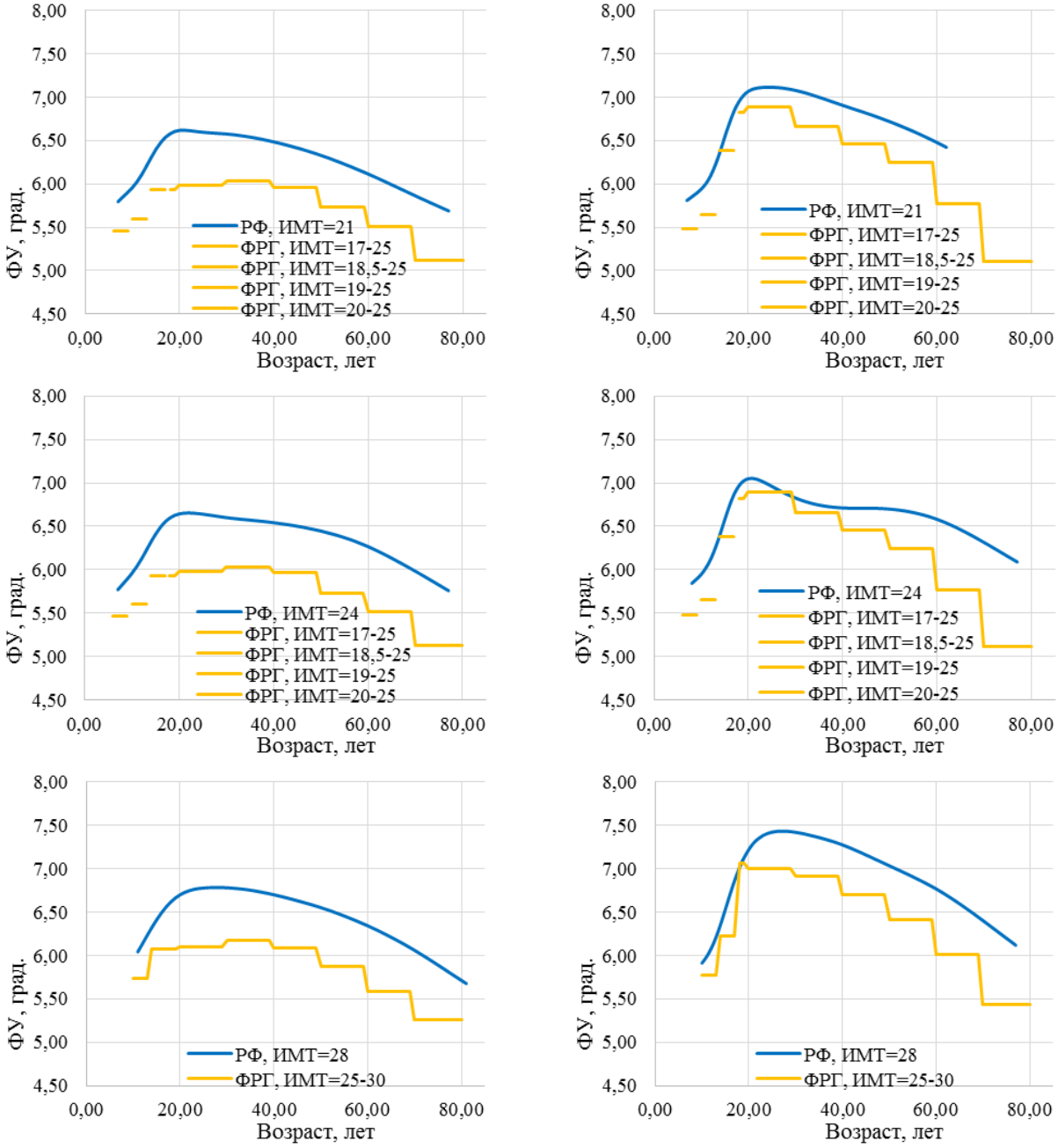



**Рис. 4.** Графики сравнения значений фазового угла от возраста и значений ИМТ России (2010-2015) и Германии (2006). Слева данные женской части популяции, справа – мужской.

Видно, что объем выборки, использованный в работе [9], не позволил авторам построить гладкие кривые, что не дает возможности проверить наличие прогиба поверхности ФУ в области ИМТ 22-26 кг/м$^2$ по данным, полученным в ФРГ. Форма графиков ФУ от возраста для популяции ФРГ в целом не сильно зависит от ИМТ, т.е. на основании представленных данным можно предполагать выпуклость поверхности ФУ. Обнаруженный на данных центров здоровья прогиб поверхности ФУ, возможно, после дополнительных исследований будет объяснён социально-экономическими особенностями российской популяции, сформированными в 90-е годы, и поведенческими реакциями определенных групп населения.

**Выводы**

Уточнены ранее опубликованные популяционные кривые фазового угла: на основании данных обследований в центрах здоровья созданы наборы центильных кривых ФУ в зависимости от значений ИМТ.

Сравнение данных ФРГ с данными россиян показало, что значения ФУ выше на протяжения всей жизни и при всех значениях ИМТ. Полученные результаты могут быть использованы при диагностике заболеваний катаболической направленности в качестве референса, специфичного относительно значений ИМТ.

Обнаруженное снижение значений фазового угла в диапазоне значений ИМТ от 22 до 26 кг/м$^2$, в возрасте 20-40 лет требует дополнительно исследования.

**Работа выполнена в ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-15-01085, руководитель В.И. Стародубов).**

**Список литературы**

1. Selberg, O., & Selberg, D. (2002). Norms and correlates of bioimpedance phase angle in healthy human subjects, hospitalized patients, and patients with liver cirrhosis. *European journal of applied physiology*, *86*(6), 509-516.
2. Lukaski, H. C., Bolonchuk, W. W., Siders, W. A., & Hall, C. B. (1990). Body composition assessment of athletes using bioelectrical impedance measurements. *J Sports Med Phys Fitness*, *30*(4), 434-440.
3. Schwenk, A., Beisenherz, A., Römer, K., Kremer, G., Salzberger, B., & Elia, M. (2000). Phase angle from bioelectrical impedance analysis remains an independent predictive marker in HIV-infected patients in the era of highly active antiretroviral treatment. *The American journal of clinical nutrition*, *72*(2), 496-501.
4. Gupta, D., Lis, C. G., Dahlk, S. L., Vashi, P. G., Grutsch, J. F., & Lammersfeld, C. A. (2004). Bioelectrical impedance phase angle as a prognostic indicator in advanced pancreatic cancer. *British journal of nutrition*, *92*(06), 957-962.
5. Gupta, D., Lammersfeld, C.A., Vashi, P.G., King, J., Dahlk, S.L., Grutsch, J.F., & Lis, C.G. (2008). Bioelectrical impedance phase angle as a prognostic indicator in breast cancer. *BMC cancer*, *8*(1), 249.
6. Norman, K., Stobäus, N., Zocher, D., Bosy-Westphal, A., Szramek, A., Scheufele, R., ... & Pirlich, M. (2010). Cutoff percentiles of bioelectrical phase angle predict functionality, quality of life, and mortality in patients with cancer. *The American journal of clinical nutrition*, *92*(3), 612-619.
7. Руднев С.Г., Стерликов С.А., Васильева А.М., Еленкина Ж.В., Ларионов А.К., Николаев Д.В. (2015) Биоимпедансное исследование состава тела больных туберкулёзом. *Туберкулез и болезни легких*, 9, 33-40.
8. Kyle, U. G., Genton, L., Slosman, D. O., & Pichard, C. (2001). Fat-free and fat mass percentiles in 5225 healthy subjects aged 15 to 98 years. *Nutrition*, *17*(7), 534-541.
9. Bosy-Westphal, A., Danielzik, S., Dörhöfer, R. P., Later, W., Wiese, S., & Müller, M. J. (2006). Phase angle from bioelectrical impedance analysis: population reference values by age, sex, and body mass index. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, *30*(4), 309-316.
10. Barbosa-Silva, M. C. G., Barros, A. J., Wang, J., Heymsfield, S. B., & Pierson, R.N. (2005). Bioelectrical impedance analysis: population reference values for phase angle by age and sex. *The American journal of clinical nutrition*, *82*(1), 49-52.
11. Биоимпедансное исследование состава тела населения России / С.Г. Руднев, Н.П. Соболева, С.А. Стерликов и др. – РИО ЦНИИОИЗ Москва, 2014. – С. 493.

# ОПТИМИЗАЦИЯ СКРИНИГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

**В. В. Тенюков, О. Ш. Ойноткинова, К. Ю. Тенюкова, В. В. Никитин**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»
Центр здоровья, МУЗ БСМП «Больница скорой медицинской помощи» г. Чебоксары,
ГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова», г. Москва, Россия
*e-mail:vanifa52@mail.ru*

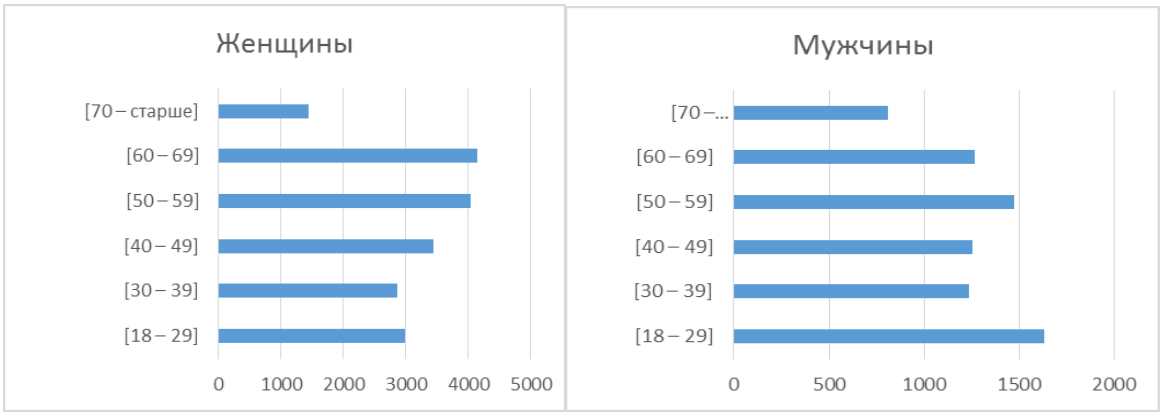
Проведен анализ результатов скрининговых исследований (сердца и сосудов, легких, обменных процессов ,содержание холестерина и сахара в крови и др.) населения (25928 человек женщин и мужчин старше 18 лет) с применением математико-статистических методов одномерного и многомерного анализа результатов (регрессионного, одномерного, корреляционного анализа, рандомизации) для выявления факторов риска и ранних проявления заболеваний (сердечно-сосудистой системы, легких, нарушения обмена и ожирения, метаболического синдрома) пациентов разных полов и возрастных групп. Исследования позволяют определить состояние здоровья каждого (персонализировать лечение) и прогнозировать заболеваемость, имеет профилактическую направленность (превентивность и предсказательность), играет большую роль в формировании рационального питания, профилактики, меняют мировоззрение людей по формированию здорового образа жизни (партисипативность).
**Ключевые слова:** скрининг обследования, математические методы, факторы риска и ранние проявления, заболевания ожирение, метаболичесий синдром, профилактика и прогнозы, здоровый образ жизни

**1. Введение.** Здоровье нации влияет на характер всех демографических процессов, развитие страны. Выявление факторов риска, ранняя диагностика болезней внутренних органов у населения имеет большое практическое значение для прогнозирования заболеваемости, проведения профилактики и лечения многих заболеваний сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, метаболических нарушений (метаболического синдрома – МС).

**Цель работы.** Выявление факторов риска, ранняя диагностика болезней внутренних органов у населения с учетом возрастных и половых особенностей для прогнозирования заболеваемости, профилактики и лечения заболеваний сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, метаболических нарушений (МС) с применением математико-статистических методов одномерного и многомерного анализа результатов (одномерного – методом факторного анализа с расчетом математического ожидания, рандомизации, корреляционного и регрессионного, анализа) на уровне поликлиники и дома, также путем ведения здорового образа жизни.

**2. Материалы и методы.** Обследовано 25928 человек (мужчин 26,5% и женщин 73,5%, в возрастных группах от 18 лет до 29, от 30 до 39, от 40 до 49, от 50 до 59, от 60 до 69, от 70 до 80 лет), статистический анализ различий возрастных когорт был рандомизирован путем прямой стандартизации с помощью метода $\chi 2$. Примененные современные скрининговые, компьютерные аппараты («Кардиовизор» Россия, Smartdop 30 EX – Hadeco – Япония, спирометр Micro Medical) – Великобритания, «Медасс» Россия) для исследования сердца и сосудов, легких, анализа соотношения воды, мышечной и жировой ткани (биоимпедансметрия) дают заключения в словесной форме, поэтому эти вербальные значения, полученные с аппаратов были преобразованы в числовые и обработаны математически. Словесные заключения аппарата по состоянию миокарда, легких, массы тела могут быть различны (факторы риска, ранние проявления). Например, значения параметра (для сердца) $X = \{x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10, x11\}$, где $x1$ – признаки полной внутрижелудочковой блокады; $x2$ – нарушение ритма по типу экстрасистолии; $x3$ – отклонение электрической оси; $x4$ – брадикардия; $x5$ – тахикардия; $x6$ – норма; $x7$ признаки гипоксии; $x8$ – признаки стресс-реакции; $x9$ – признаки левожелудочковой перегрузки или гипертрофии левого желудочка; $x10$ – перегрузка левого предсердия; $x11$ – признаки ишемии. Значения параметра (для легких) $Y = \{y1, y2, y3, y4, y5, y6\}$, где $y1$ – тяжёлая рестрикция; $y2$ – умеренно-тяжёлая рестрикция; $y3$ – средняя рестрикция; $y4$

– лёгкая рестрикция; *y*5 – норма; *y*6 – обструкция. Значения параметра (для массы тела) $Z = \{z1, z2, z3, z4, z5, z6\}$, где *z*1 – истощение; *z*2 – норма; *z*3 – избыточный вес; *z*4 – ожирение 1 степени; *z*5 – ожирение 2 степени; *z*6 – ожирение 3 степени [2]. Для экспресс-определения общего холестерина и глюкозы в крови применили «МикроБиАн», Россия. Значения параметра (для сахара) $U = \{u1, u2, u3\}$, где *u*1 – недостаток глюкозы (<3,3); *u*2 – норма (3,3 – 5,5 мкмоль/л); *u*3 – гипергликемия (>5,5). Значения параметра (для холестерина) $T = \{t1, t2, t3\}$, где *t*1 – недостаток холестерина (<3,61); *t*2 – норма (3,61 – 6,76 мкмоль/л); *t*3 – гиперхолестеринемия (>6,76). Значения расположены условно как бы «по возрастанию» и данные словесного значения были объективно сопоставлены с некоторыми числами. Для подобного преобразованиями воспользовались представлением о дискретной случайной величине, известного из теории вероятностей. Определяли липидограмму крови (холестерин-ХС, триглицериды-ТГ, в- липопротеиды, липопротеиды очень низкой плотности – ЛПОНП, липопротеиды низкой плотности – ЛПНП, липопротеиды высокой плотности – ЛПВП, аполипопротеины А и В – АПО А, АПО В, высокочувствительный С-реактивный белок – «АПО А1, В 100 ВИТАЛ, Германия»; Всем пациентам измеряли артериальное давление (АД). Большей частью у пациентов АД в норме – АД 90/60, 130/90 чаще регистрируется в молодом возрасте, а с увеличением возраста АД возрастает. Ранее были опубликованы результаты исследований более 2000 человек за короткий промежуток времени 2009 – 2010 г.г. В настоящем исследовании использованы данные исследований пациентов Центра здоровья МУЗ БСМП «Больница скорой медицинской помощи» г. Чебоксар за период с 1 декабря 2009г. по 31 декабря 2014 г. и разбиты на 6 возрастных групп и по половому признаку.




Из графиков видно, что количество обследованных пациентов в молодом возрасте (особенно у мужчин) значительно превышает количество пациентов пожилого возраста.

**3. Результаты и их обсуждения.** Результаты одномерного анализа. После преобразования вербальной информации в числовую, мы получили новые значения с соответствующими им вероятностями, которые находятся в разных интервалах (a, b). Все интервалы были приведены к единому стандарту (-1; 1) и сопоставлены полученные результаты между собой, не забывая, что соответствующие вероятности преобразованных данных остаются неизменными согласно положениям теории вероятностей. Ранние проявления изменения состояния миокарда у людей выявляются в возрасте от 18 до 29 лет и – «дети перестройки», в наибольшей степени, в возрасте от 40 до 59 лет одинаково у обоих полов в виде признаков «гипоксии миокарда», «ишемии миокарда», «перегрузки или гипертрофии желудочка», у женщин чаще «признаки стресс-реакции». Увеличение доверительного интервала с возрастом указывает на ухудшение состояние миокарда. Гендерным отличием является то, что если у женщин увеличение доверительного интервала происходит плавно, то у мужчин наблюдается более резкое увеличение после возрастной группы 40 лет (Рис. 1,2). Рандомизированные исследования показывают, что у людей, рожденных с 1941 по1950 год – «дети войны», выявлено большее

количество изменений в миокарде («признаки гипоксии», «признаки перегрузки или гипертрофии левого желудочка», «признаки ишемии») по сравнению с другими возрастами.

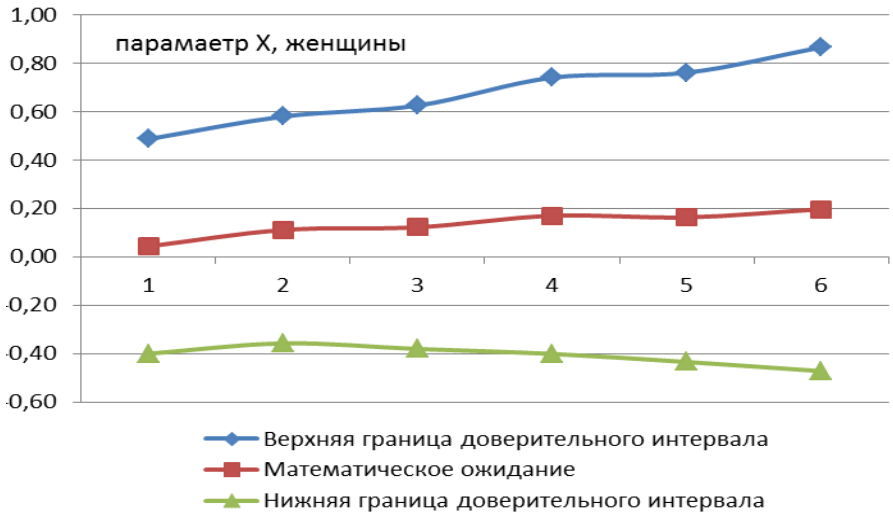



**Рис. 1.** Результаты анализа скрининга состояния миокарда сердце у женщин.
Примечание: Состояние «норма» миокарда сердца по методу факторного анализа соответствует значениям нормы $x6=0$. По горизонтали 1-6 – возрастные группы людей.

Поведение математического ожидания $M$ показывает, что с возрастом состояние сердца у женщин в целом ухудшается от нормы $x_6=0$ до признаков гипоксии $x_7=0{,}18$. Об этом говорит и то, что увеличивается величина доверительного интервала, где с надёжностью 95% будут находиться результаты скрининга сердца отдельного человека. То есть количество возможных отклонений от нормы увеличивается.

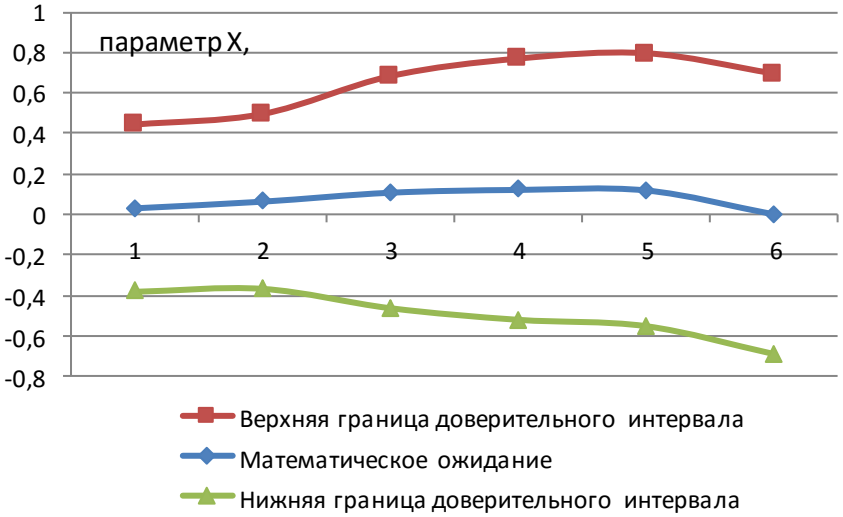



**Рис. 2.** Результаты анализа скрининга состояния миокарда сердце у мужчин.
Примечание: Состояние «норма» миокарда сердца по методу факторного анализа соответствует значениям нормы $x6=0$. По горизонтали 1-6 – возрастные группы людей.

Поведение математического ожидания $M$ показывает, что с возрастом состояние сердца у мужчин в целом ухудшается от нормы $x_6=0$ до признаков гипоксии $x_7=0{,}18$, так же как и у женщин. Однако к (70-старше) годам этот показатель снова возвращается к норме. Увеличение доверительного интервала с возрастом так же указывает на ухудшение состояние сердца. Также стоит отметить, что если у женщин увеличение доверительного интервала происходит плавно, то у мужчин наблюдается более резкое увеличение после возрастной группы (30-39).

В органах дыхания обследованных пациентов состояние «легкая рестрикция» определяется в основном у молодых людей в возрасте от 18 до 29 лет – рожденных в 1981-1992 годы. Эта группа молодых людей нуждается в детальном обследовании органов дыхания, а также имеет плохой прогноз по заболеваемости на будущее. Наиболее здоровые по состоя-

нию органов дыхания, это люди в возрасте от 50 до 59 лет, рожденные в 1951-1960 годы. С годами, после 60 лет состояние легких в целом ухудшается в сторону «легкая рестрикция» и обструкция. В интервале от 60 до 69 лет – лица, родившиеся в период с 1940 по 1951 гг. – наблюдается провал численности здоровых (по результатам рандомизации). Именно в этой группе обследованных пациентов обнаруживается большое количество индивидуумов с тяжелой рестрикцией.

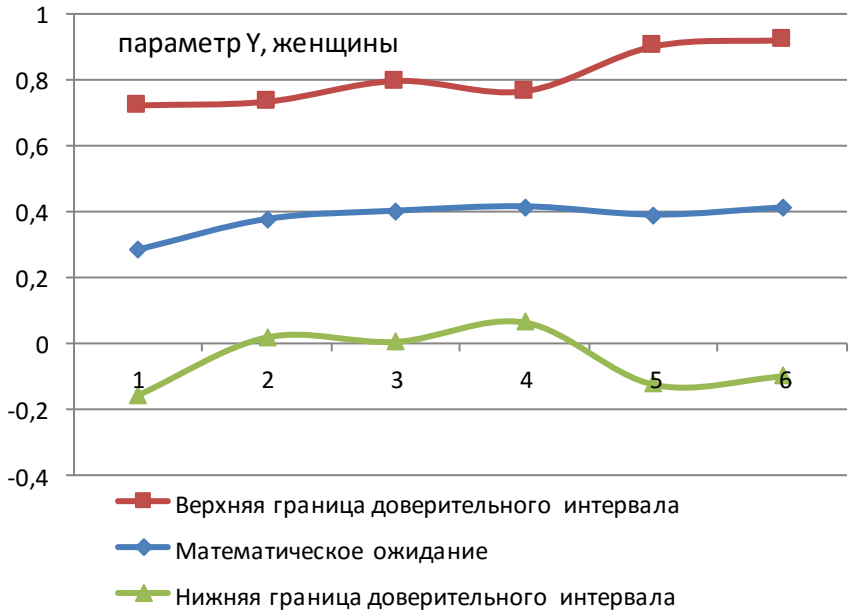



**Рис. 3.** Результаты спирометрии у женщин.

Математическое ожидание позволяет увидеть, что значение «норма» ($y_5$=0,5) не имеет ни одна возрастная группа. Однако ближе всех к ней группа людей (50-59), а дальше всех – группа (18-29). Самая молодая возрастная группа ближе к значению «легкая рестрикция» ($y_4$=0,17). Наименьший доверительный интервал имеет группа людей в возрасте (50-59), с более зрелым возрастом вероятность отклонений от нормы становится больше.

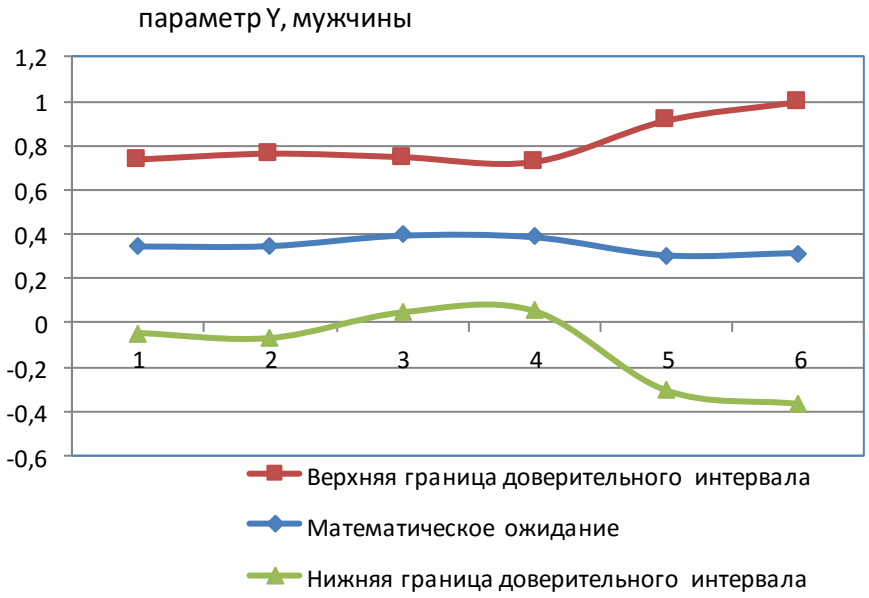



**Рис. 4.** Результаты спирометрии у мужчин.

Результаты анализа позволяют сделать выводы о том, что возрастные группы (40-49) и (50-59) ближе всех к показателю «норма», а группа (60-79) – дальше всех (Рис. 3, 4). Как и у женщин, наименьший доверительный интервал имеет группа мужчин в возрасте [50-59] лет,

а также группа (40-49). В возрасте (60-69), (70-старше) лет доверительный интервал резко увеличивается, это говорит о том, что увеличивается количество случаев, отклоняющихся от нормы.

Изучение данных биоимпедансметрии методом факторного анализа с математическим ожиданием показало, что состояние «норма» по весу соответствует значению z2=-0,5 (Рис. 5, 6). Ближе всех к норме молодые люди в возрасте от 18 до 29 лет (Рис. 5). Поведение математического ожидания М показывает, что с возрастом отклонение от нормы в целом увеличивается в сторону состояния z3= -0,17 (избыточный вес). Величина отклонения от математического ожидания (т.е. величина доверительного интервала) во всех возрастных группах примерно одинаковая, но характер разный. Если в молодом возрасте от 18 до 29 лет это отклонения в пределах «истощение»

– «избыточный вес», то в возрасте от 60 до 69 лет в пределах «норма» – «ожирение 1 или 2 степени». Числовые аналоги значений преобразованного параметра Z для женщин.

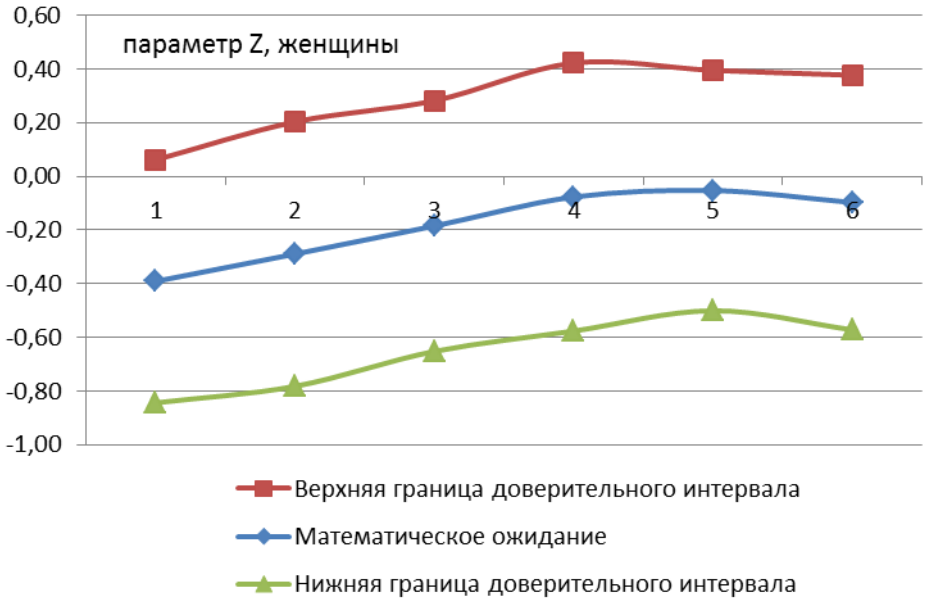



**Рис. 5.** Результаты биоимпедансметрии у женщин.

Состояние «норма» по весу соответствует значению $z_2$= -0,5. Ближе всех к норме молодые люди в возрасте (18 – 29). Поведение математического ожидания показывает, что с возрастом отклонение от нормы в целом увеличивается в сторону состояния $z_3$= -0,17 (избыточный вес). Величина доверительного интервала во всех возрастных группах примерно одинаковая, но характер разный. Если в молодом возрасте (18 – 29) это отклонения в пределах «истощение» – «избыточный вес», то в возрасте (60 – 69) в пределах «норма» – «ожирение 1 или 2 степени».

В целом состояние «веса» мужчин и женщин очень похожи. Среди мужчин к состоянию «норма» по весу ближе всех молодые люди в возрасте (18–29]. С возрастом отклонение от нормы в целом увеличивается в сторону состояния «избыточный вес». Величина доверительного интервала во всех возрастных группах примерно одинаковая, но в возрасте (70-старше) лет она сужается. В молодом возрасте отклонения от математического ожидания в пределах «истощение» – «избыточный вес», как и у женщин. В зрелом возрасте – в пределах «норма» – «ожирение 1 или 2 степени». А в возрасте (70-старше) – снова в пределах «истощение» – «избыточный вес», причем вероятность появления отклонений становится даже меньше, чем в молодом возрасте.

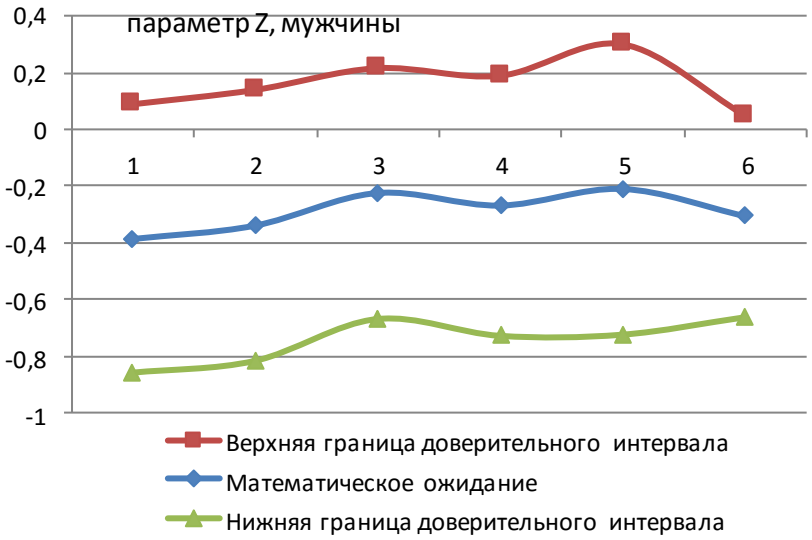



**Рис. 6.** Результаты биоимпедансметрии у мужчин.

По результатам рондомизированных исследований избыточным весом и ожирением в самой молодой возрастной группе страдает уже 30.7% (практически 1/3 обследованных), а в следующей возрастной группе от 30 до 39 лет их количество увеличивается до 45%, т.е. фактически половина обследуемых. Это наглядно свидетельствует о риске развития метаболического синдрома у этих пациентов в будущем.

Атеросклеротические изменения сосудов определяются у около трети обследованных старше 40 лет (более выражено в возрасте от 60 до 69 лет, людей, родившихся в 1940-1950 гг. – «дети войны» по результатам рондомизированных исследований). Исследования также свидетельствуют о ранних проявлениях атеросклероза сосудов и дислипидемии у людей, увеличивающиеся с возрастом.

В крови увеличивается количество атерогенных липидов. Более специфичными оказались АПО В, отклонение содержания которых наблюдалось уже у молодых от 18 лет (даже при нормальном показателе общего ХС), и увеличивалось с возрастом и ЛПВП, снижение содержания которых в крови также начиналось с 18 лет, 54% обследованных попали в группу риска и 18% – патологии, причем примерно такое соотношение сохраняется у людей всех возрастов. Для большинства женщин и мужчин с возрастом содержание ХС в крови увеличивается. У женщин с 18 до 49 лет встречаются случаи недостатка ХС в крови. У мужчин с 18 до 49 лет содержание ХС в крови в среднем стремительно растет, а начиная с 50-59 лет остается примерно на том же уровне, как у женщин.

По содержанию холестерина в крови состояние «норма» соответствует значениям результатов анализа из интервала (3,61; 6,76) (рис.7,8). В ходе преобразований, проделанных в расчетах, он сводится к интервалу (-0,33; +0,33). Для большинства женщин содержание холестерина в крови остается в пределах нормы, но при этом в целом с возрастом содержание холестерина в крови увеличивается. Об этом позволяет судить поведение математического ожидания. Верхняя граница доверительного интервала полностью находится в пределах нормы, чего не скажешь о нижней границе. Здесь в возрастных группах (18-29), (30-39), (40-49) встречаются случаи, когда наблюдается недостаток холестерина в крови. Однако с возрастом величина доверительного интервала уменьшается и полностью соответствует «нормальной».

Начиная с возрастной группы (18-29) до (40-49) содержание холестерина в крови в среднем стремительно растет, а начиная с (50-59) лет остается примерно на одном и том же уровне. У мужчин, так же, как у женщин, верхняя граница доверительного интервала полностью находится в пределах нормы. Нижняя же граница почти полностью вне этих пределов. Однако сто-

ит отметить, что наиболее узок доверительный интервал в возрасте (50-59) и (70-старше) лет, эти группы людей имеют значения холестерина в крови, соответствующие норме.

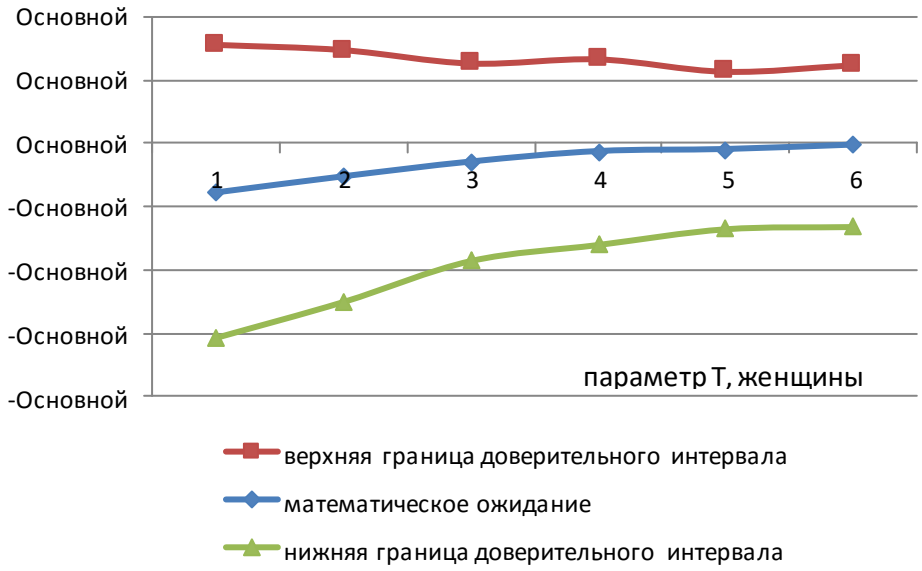



**Рис. 7.** Результаты анализа содержание холестерина в крови у женщин.

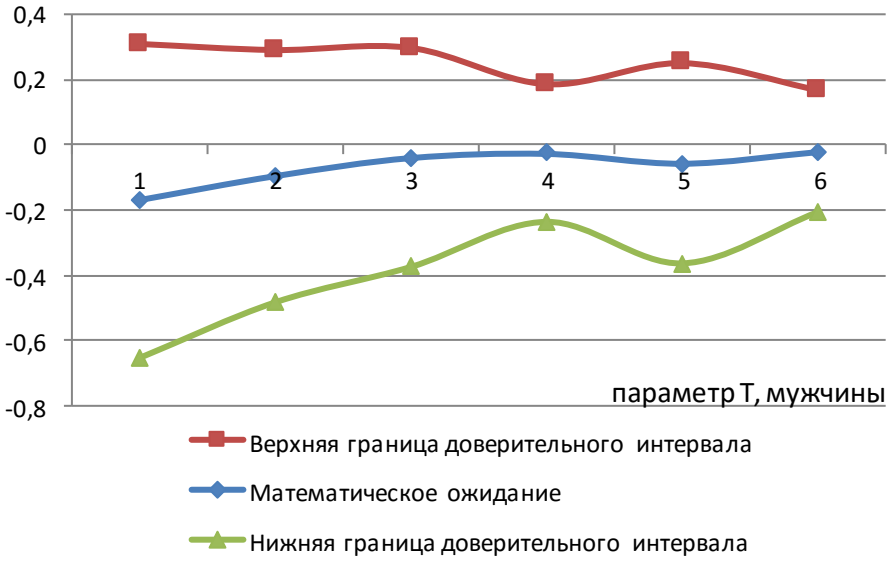



**Рис. 8.** Результаты анализа содержания холестерина в крови у мужчин.

Содержание сахара в крови с годами неуклонно растет. Наименьшее количество отклонений от математического ожидания наблюдается для возрастной группы 30-39 лет. Их состояние крови по сахару лучше, чем у более молодых людей (18-29 лет). Следует также отметить, что для возрастных групп 60-69 лет и 70-80 лет нередки случаи избытка сахара в крови.

По содержанию сахара в крови состояние «норма» соответствует значениям результатов анализа из интервала (3,3; 5,5) (рис. 9, 10). В ходе преобразований, проделанных в расчетах, он сводится к интервалу (-0,33; +0,33). Поведение математического ожидания говорит о том, что в среднем все возрастные группы соответствуют состоянию «норма», но начиная с (40-49) лет и далее содержание сахара в крови увеличивается. Для групп женщин (18-29), (30-39) величина доверительного интервала остается практически неизменной и находится в пределах нормы. Однако отклонение от математического ожидания увеличивается все больше с каждой последующей возрастной группой. У женщин от 50 лет наблюдаются случаи, как недостатка, так и избытка сахара в крови.

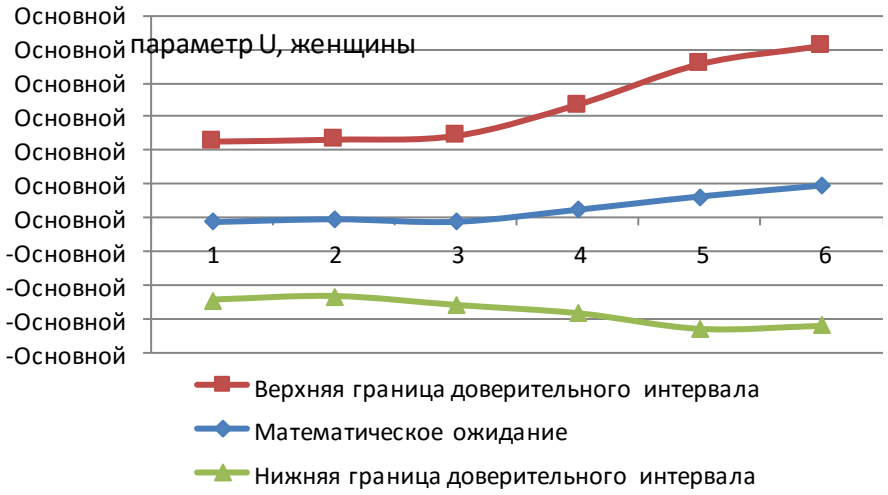



**Рис. 9.** Результаты анализа «содержание сахара в крови у женщин.

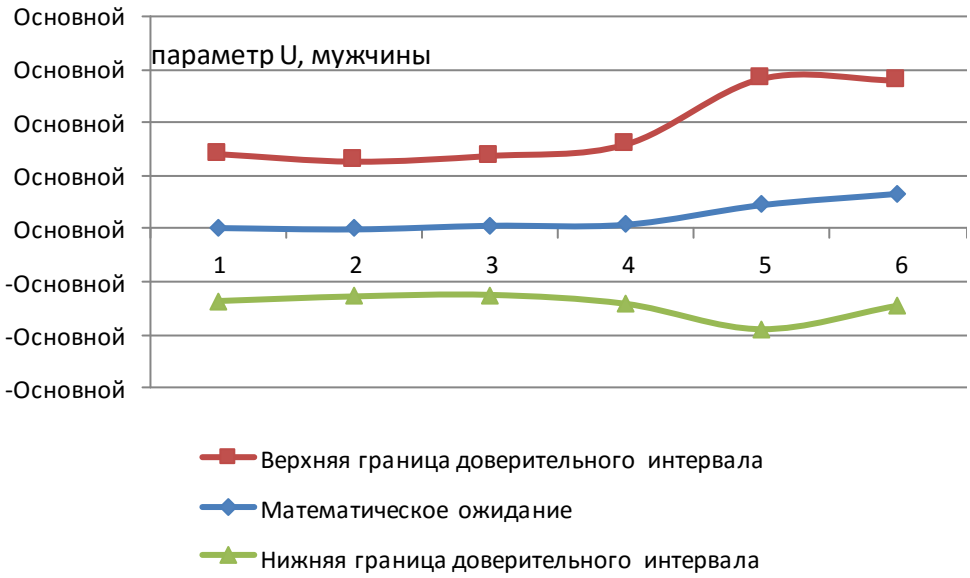



**Рис. 10.** Результаты анализа содержание сахара в крови у мужчин.

Содержание сахара в крови у мужчин находится в пределах нормы, и в среднем остается практически неизменным до (50-59) лет, начиная с этого возраста этот показатель растет. Об этом свидетельствует изменение математического ожидания. Величина доверительного интервала позволяет судить о том, что случаи отклонения от нормы встречаются в возрастной группе (60-69) (недостаток и избыток сахара) и (70-старше) (избыток сахара).

Результаты комплексных исследований свидетельствуют о ранних проявлениях МС уже в молодом возрасте. К этим проявлениям МС у населения можно отнести:

- наличие у большей части пациентов избыточного веса, ожирения 1 степени, причем эти изменения были выявлены у 30.7% обследованных уже в возрасте 18-29 лет и у 45%

обследованных в возрасте 30-39 лет;

- дислипидемии, возрастающие с увеличением возраста. В крови с возрастом увеличивается количество атерогенных липидов. Более специфичными оказались АПО В, отклонение содержания которых наблюдалось уже у молодых от 18 лет (даже при нормальном показателе общего ХС), и увеличивалось с возрастом и ЛПВП, снижение содержания которых в крови также начиналось с 18 лет, 54% обследованных попали в

группу риска и 18% – патологии, причем примерно такое соотношение сохраняется у людей всех возрастов;

- по результатам факторного анализа с математическим ожиданием худшее состояние содержания сахара в крови у молодых от 18 до 29 лет по сравнению с другими возрастами

(увеличена величина доверительного интервала, отмечено наибольшее отклонение математического ожидания), а значит плохой прогноз на будущее. В этом поколении людей в дальнейшем будет больше больных с нарушением углеводного обмена, по сравнению с другими;

- также с возрастом увеличивается количество пациентов с повышенным АД и поражением сосудов по атеросклеротическому типу.

В проведенном исследовании представлены возможности выявления факторов риска и проведения ранней диагностики проявлений МС у населения с использованием компьютеризированных скринингововых обследований и целесообразность профилактики МС путем формирования ЗОЖ, поскольку развитие МС является проявлением «нездорового образа жизни» человека. Исследования свидетельствуют о том, что проявления МС наблюдаются уже в молодом возрасте. В совокупности это имеет большое
практическое значение в работе терапевта и врачей других специальностей.

Одним из наиболее эффективных и распространенных методов, направленных на выявление характера и структуры взаимосвязей между компонентами исследуемого многомерного признака, является корреляционный анализ, который позволяет получить объективные научные и практические выводы.

Была проведена комплексная оценка состояния здоровья по признакам X, Y, Z, T, U (состояние миокарда, легких, масса тела, показатели в крови холестерина, показатели в крови сахара). Для того чтобы исследовать тесноту связи между этими параметрами в каждой возрастной группе, составил корреляционные матрицы размерностью пять на пять.

Каждый коэффициент корреляции находится по формуле (а) по следующему алгоритму:

- строится таблица частот по исходным данным о пациентах путем счета количества отклонений/норм по определенным признакам (например, для возрастной группы (18-29 ж) значение ($y_4$; $x_5$) одновременно имеют 17 человек, а значение ($t_2$; $z_2$) – 114);

- используя вычисленные значения $z_i$ и $g_j$ и полученную таблицу частот, получаем коэффициенты корреляции. Были получены 12 корреляционных матриц для женщин и мужчин.

Анализируя полученные матрицы, пришли к выводу, что для всех возрастных групп, как у мужчин, так и у женщин, коэффициенты корреляции очень малы, т.е. между исследуемыми признаками практически нет связи. Таким образом, мы можем сделать два вывода. Во-первых, органы человека имеют не прямую зависимость, а лишь косвенно влияют друг на друга. Исследуемые признаки самостоятельно определяют здоровье, не особо влияя друг на друга. Во-вторых, дальнейшее применение факторного анализа невозможно, однако нет необходимости избавляться от мультиколлинеарности и можно сразу же приступать к регрессионному анализу.

Таким образом, проверка значимости корреляционных матриц с помощью критерия Уилкса $\chi^2$, как у женщин, так и у мужчин, показывает, что корреляционные матрицы для молодых возрастных групп ((18-29), (30-39) – у женщин, (18-29) – у мужчин) значимы, а значит, мы можем полностью довериться результатам корреляционного анализа. И, скорее всего, в целом здоровье людей данных возрастов, действительно, не зависит от состояния здоровья отдельных органов. Однако, корреляционные матрицы старших возрастных групп незначимы, что не позволяет нам с полной уверенностью полагаться на верность столь малых коэффициентов корреляции. Поэтому, возможно, связь между исследуемыми признаками более тесная, а значит, работа отдельных органов взаимосвязана. Ведь, действительно, это логично. С возрастом здоровье человека более уязвимо. Работа одних органов, так или иначе, может сказываться на работе других.

В результате применения регрессионного анализа, нами был получен параметр F, расцененный нами как формализованный параметр оценки состояния здоровья. Этот параметр дает комплексную оценку состояния здоровья по пяти изученных нами интегральных показателях (функциональное состояние сердца, легких, масса тела, концентрации глюкозы и хо-

лестерина крови). При F, стремящемся к нулю, состояние оценивается как хорошее, чем дальше F отстоит от значения 0, тем состояние хуже. Полученная формула оценки значений параметра F позволяет говорить о комплексном состоянии здоровья отдельно взятого человека. Для этого достаточно лишь подставить в формулу результаты анализа человека, полученные в центре здоровья. Всех обследованных людей можно ранжировать согласно значениям параметра F. Формула комплексной оценки состояния здоровья строится в виде суммы значений пяти параметров:

1) «сердце» – состояние миокарда (*x*1 – признаки полной внутрижелудочковой блокады; *x*2 – нарушение ритма по типу экстрасистолии; *x*3 – отклонение электрической оси; *x*4 – брадикардия; *x*5 – тахикардия; *x*6 – норма; *x*7 – признаки гипоксии; *x*8 – признаки стресс-реакции; *x*9 – признаки левожелудочковой перегрузки или гипертрофии левого желудочка; *x*10 – перегрузка левого предсердия; *x*11 – признаки ишемии),

2) «легкие» (*y*1 – тяжёлая рестрикция; *y*2 – умеренно-тяжёлая рестрикция; *y*3 – средняя рестрикция; *y*4 – лёгкая рестрикция; *y*5 – норма; *y*6 – обструкция),

3) «масса тела» (*z*1 – истощение; *z*2 – норма; *z*3 – избыточный вес; *z*4 – ожирение 1 степени; *z*5 – ожирение 2 степени; *z*6 – ожирение 3 степени),

4) «сахар крови» (*u*1 – недостаток глюкозы (<3,3); *u*2 – норма (3,3-5,5 мкмоль/л); *u*3 – гиперг- ликемия (>5,5)),

5) «холестерин крови» (*t*1 – недостаток холестерина (<3,61); *t*2 – норма (3,61-6,76 мкмоль/л); *t*3 – гиперхолестеринемия (>6,76)), которые входят в общую сумму с определенными весами (параметры α). Чем больше вес (параметр α), тем он сильнее отклоняет значение *F* от нуля и это плохо. В соответствии с теорией регрессионного анализа, качественная оценка весов исследуемых параметров возможна, когда значения параметров (результаты анализов) независимы. В результате предварительного статистического анализа результатов обследования людей, было показано, что условие независимости параметров выполняется.

Выполнение этого условия позволяет перейти к оценке самой регрессии [1]. Функция регрессии представляет собой линейную комбинацию признаков с соответствующими коэффициентами:

$$F = \propto 0 + \propto 1 \times XX + \propto 2 \times YY + \propto 3 \times ZZ + \propto 4 \times TT + \propto 5 \times UU$$

Моделируемым показателем, т.е. объясняемой переменной, является *F* – состояние здоровья.

$$\mathrm{F} = \begin{cases} 0 - \text{здоров, т. е. норма по всем показателям} \\ 1 - \text{отклоение от нормы по разным показателям} \end{cases}$$

$$\mathrm{X} = \begin{cases} 0 - \textit{норма} \\ 1 - \textit{одно отклонение от нормы} \\ 2 - \textit{два отклонения от нормы} \\ 3 - \textit{три отклонения от нормы} \\ 4 - \textit{четыре отклонения от нормы} \\ 5 - \textit{пять отклонений от нормы} \end{cases}$$

$$\mathrm{Y} = \begin{cases} 0 - \textit{норма} \\ 1 - \textit{отклонение} \end{cases}$$

$$\mathrm{Z} = \begin{cases} 0 - \textit{норма} \\ 1 - \textit{отклонение} \end{cases}$$

$$\mathrm{T} = \begin{cases} 0 - \textit{норма} \\ 1 - \textit{отклонение} \end{cases}$$

$$\mathrm{U} = \begin{cases} 0 - \textit{норма} \\ 1 - \textit{отклонение} \end{cases}$$

На примере табл. 1 можно определить, что первый человек здоров по всем показателям, у второго человека имеется одно отклонение по сердцу, поэтому он не здоров, третий человек имеет 3 отклонения от нормы, соответственно, он тоже не здоров.

**Таблица 1**

Состояние здоровья человека по признакам

| № | F | X | Y | Z | T | U |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 |

По *I* признаку – скрининг сердца, человек может иметь несколько отклонений одновременно, в отличие от всех остальных.

$$\alpha_1 \times X = l \times \alpha_1 \times \frac{X}{l} = \widetilde{\alpha_1} \times \tilde{X}, \text{ где } 0 < \tilde{X} < 1 \qquad \text{(а)}$$

где *l* – максимальное количество отклонений *I* признака.

Нам нужно найти *M[F]:*

$$F(0) = a_0 = a,$$

$$F(1) = \alpha_0 + \widetilde{\alpha_1} + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 = b = 1$$

$$F = a - (a - b) \times \tilde{F};$$

$$\tilde{F} \subset (0,1)$$

$$\tilde{F} = \frac{F - a}{b - a} =$$

$$= \frac{1}{\widetilde{\alpha_1} + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5} \times$$

$$\times [\widetilde{\alpha_1} \times \tilde{X} + \alpha_2 \times Y + \alpha_3 \times Z + \alpha_4 \times T + \alpha_5 \times U] =$$

$$= \tilde{F} = M[F]$$

После предварительной обработки данных, была построена регрессионная модель для каждой группы людей, определены коэффициенты регрессии, оценено полученное уравнение регрессии, было проверено на значимость само уравнение и полученные коэффициенты, сделаны выводы.

Уравнение регрессии вида были построены для каждой возрастной группы.

В роли результативного признака *F* выступает состояние здоровья. Зная, что I признак – скрининг сердца (состояние миокарда) – может иметь несколько отклонений одновременно, поэтому $\alpha_1 \cdot X$ вычисляется по *(а).*

Были построены гистограммы вклада коэффициентов регрессии в результирующий признак «состояние здоровья» для каждой возрастной группы и проанализируем, какие из исследуемых признаков оказывают большее влияние на здоровье человека в целом.

*Женщины:*

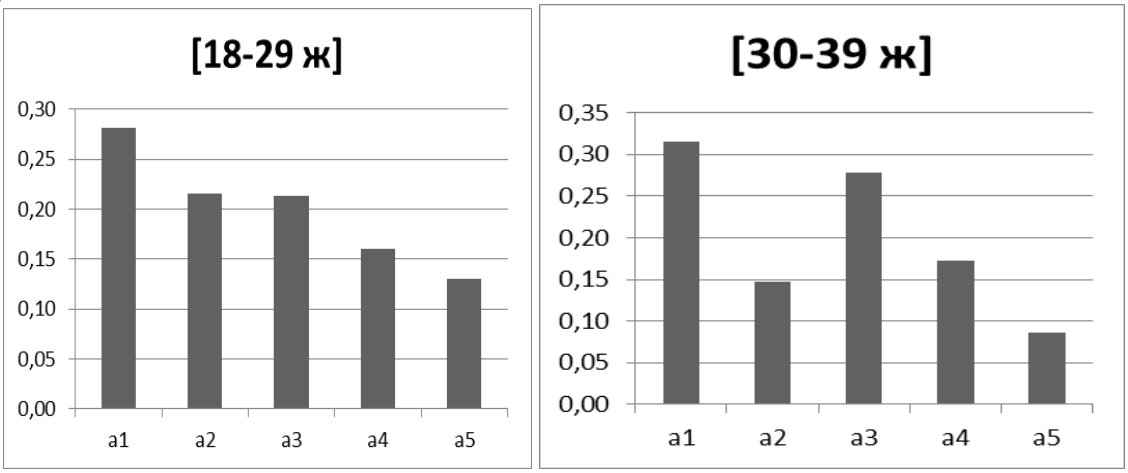



**Рис. 11а, б**

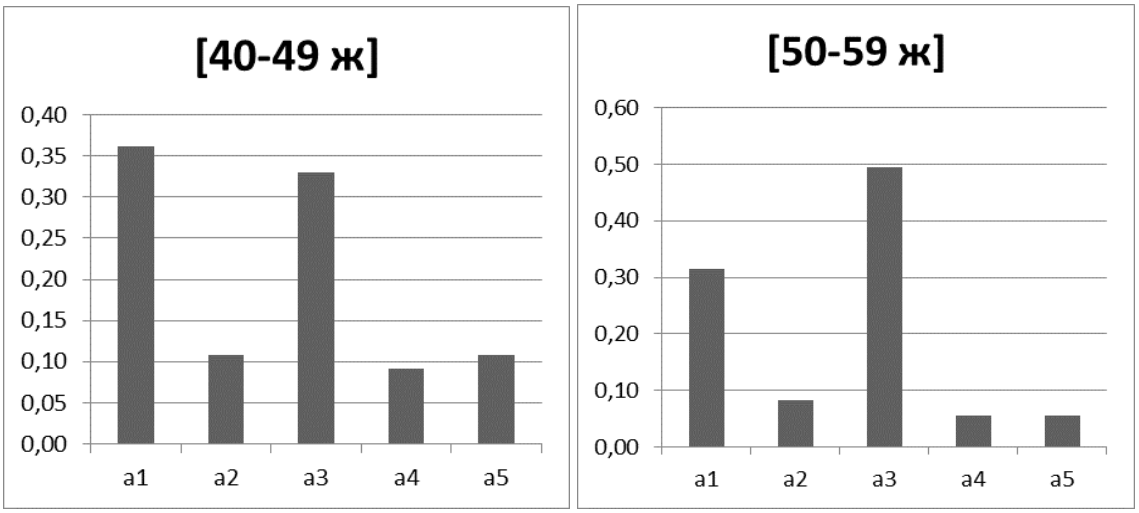



**Рис.11в, 11г**

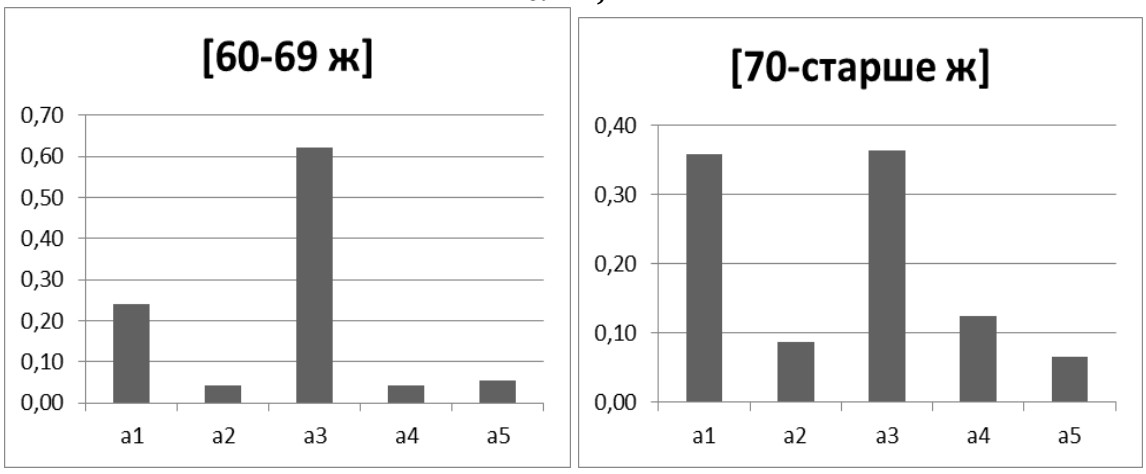



**Рис. 11 д, е**

Анализ гистограмм (Рис. 11 а, б, в, г, д, е) показал, что на состояние здоровья молодых девушек (18-29) все признаки оказывают одинаково весомое влияние, однако «сердце» имеет наибольший вес. Графики возрастных групп (30-39), (40-49) похожи, наиболее значимыми для общего состояния здоровья являются признаки «сердце» и «вес», влияние остальных признаков меньше. Но «холестерин» более весом в группе людей (30-39). С возрастом наблюдается сильное влияние признака «вес» на состояние здоровья (50-59), (60-69). В самой старшей возрастной группе самые высокие значения наблюдаются у «сердца» и «веса».

По представленным гистограммам (Рис. 11 а, б, в, г, д, е), наглядно представлено, какую значимость имеют те или иные признаки для состояния здоровья. У мужчин в самых молодых возрастных группах влияние всех признаков достаточно весомо, но «вес» имеет самое большее значение. Стоит отметить, что данный признак оказывает весомое влияние на состояние здоровье мужчин всех возрастов. Однако в группах (60-69) и (70-старше) самые большие значения принадлежат «сердцу». Начиная с возрастной группы (40-49), изменения «легких», «холестерина» и «сахара в крови» не так сильно влияют на здоровье. Лишь в возрастной группе (50-59) «холестерин» весом.

Таким образом, регрессионный анализ показал, что на развитие заболеваний сердца у молодых женщин от 18 до 29 лет исследуемые состояние сердца, параметры массы тела, состояние легких оказывают одинаково весомое влияние, однако параметры сердца имеют наибольший значение. Для женщин возраста от 30 до 49 лет, наиболее значимыми для развития заболевания являются состояния (миокарда)сердца (состояния миокарда) и массы тела влияние остальных в меньшей степени. Значения уровня холестерина более весом в группе

всех людей 30-39 лет. С возрастом наблюдается сильное влияние массы тела на развитие заболевания у женщин от 50 до 69 лет. Наибольшее влияние в развитии заболевания в старшей возрастной группе женщин имеют исследуемые показатели сердца и увеличения массы тела.

*Мужчины:*

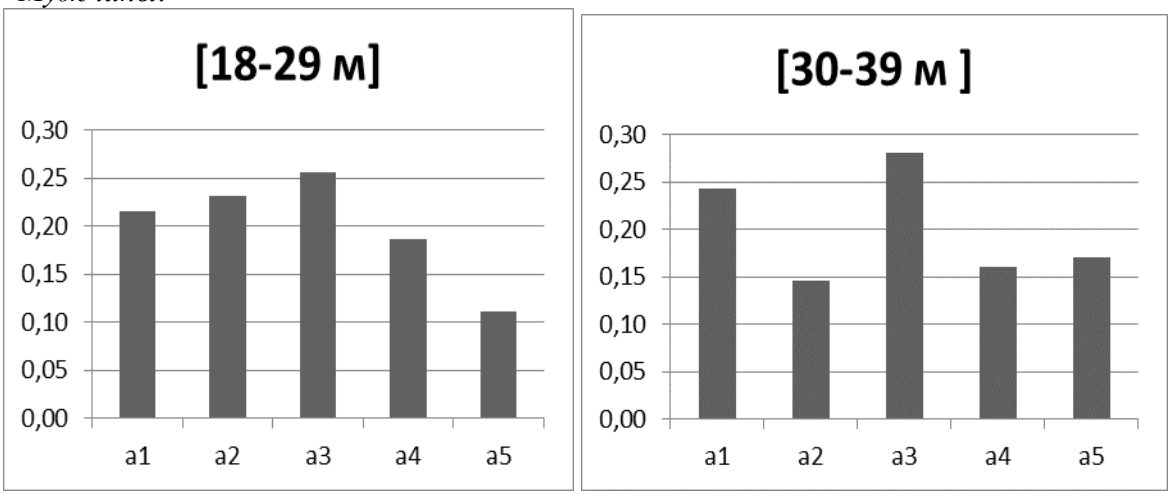



**Рис. 12 а, б**

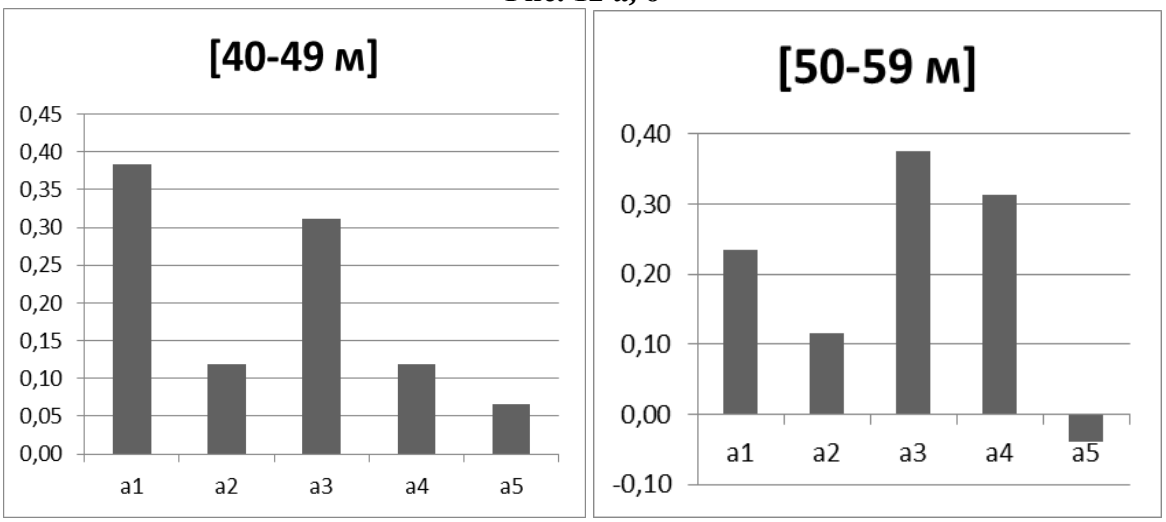



**Рис. 12 в, г**

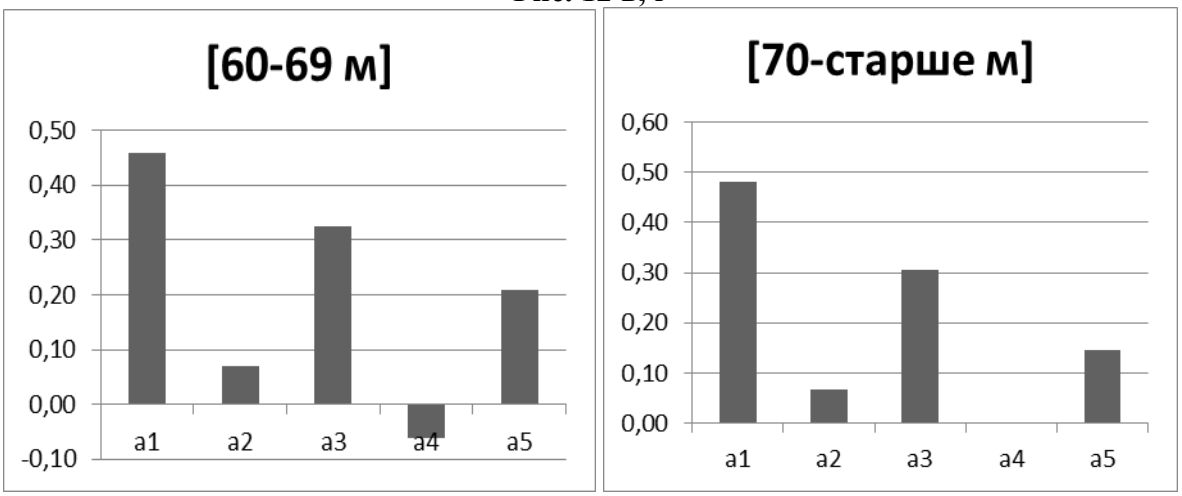



**Рис. 12 д, е**

На мужчин в молодом возрасте для развития заболевания сердца влияют все исследуемые показатели, но в большей степени имеет значение масса тела. Масса тела оказывает значимое влияние на развитие заболеваний сердца мужчин всех возрастов. У мужчин от 60 лет развитие заболевания сердца зависит от состояния миокарда. У мужчин 40-49 лет, состояние легких, уровень ХС и сахара в крови, не так сильно влияют на развитие заболевания. Повышение ХС крови имеет большое значение в возрасте от 50 до 59 лет.

Изложенный выше материал ранее нами был сообщен на нескольких международных конференциях [3-9]. Результаты подобных исследований могут быть использованы органами исполнительной власти, Министерством здравоохранения в качестве информационного обеспечения при разработке программ социального развития. Это позволит, во-первых, повысить обоснованность мер, направленных на профилактику и снижение заболеваемости, улучшение состояния здоровья населения. Во-вторых, заранее оценить необходимый объем денежных средств на конкретные мероприятия, что повысит эффективность использования бюджета региона или страны.

**Выводы.** По результатам исследований выделяются две возрастные группы – это молодые люди от 18 до 29 лет, рожденные с 1983 по1994 года – «дети перестройки» и возрастная группа людей от 60 до 69 лет, рожденные с 1941 по 1950 года – «дети войны», у которых зарегистрировано большее количество изменений в сердце, в сосудах, органах дыхания и обмене веществ по сравнению с другими возрастными группами, что свидетельствует о большом влиянии социально- экономических изменений в стране на здоровье населения.

В данном исследовании представлены возможности выявления факторов риска и ранней диагностики заболевания сердца, сосудов, заболевания легких, проявлений МС у населения с использованием компьютеризированных скрининговых обследований. Результаты могут быть применены для лечения и профилактики этих заболеваний. Показано, что в сердце, в легких и обменных процессах у населения разных возрастов происходят изменения, свидетельствующие о ранних проявлениях заболеваний внутренних органов, которые регистрируются при обследованиях и позволяют при анализе делать прогноз заболеваемости на будущее.

Возможности скрининговых компьютеризированных спирометрических обследований для выявления факторов риска и проведения ранней диагностики заболевания органов дыхания у населения необходимо широко применять в работе врача-терапевта первичного звена. Представленные возможности выявления факторов риска и проведения ранней диагностики проявлений МС у населения с использованием компьютеризированных скрининговых обследований целесообразно использовать для профилактики МС путем формирования ЗОЖ.

Одномерный анализ позволил проследить возрастное изменение каждого из 5 исследуемых признаков: сердце, легкие, вес, холестерин, сахар в крови. Зачастую значения первых трех показателей отклоняются от нормы, особенно после 30-39 лет, как у мужчин, так и у женщин. Вторые же два признака почти на протяжении всей жизни остаются в пределах нормы.

Многомерный анализ включил в себя корреляционный анализ и регрессионный. Первый из них указал на очень слабую корреляционную связь между исследуемыми признаками, что говорит о независимой работе отдельных органов человека. Однако тот факт, что корреляционные матрицы незначимы для возрастных групп старше 30-39 лет, не позволяет нам быть точно в этом уверенными, скорее всего, с возрастом здоровье одних органов все-таки сказывается на здоровье других.

Регрессионный анализ позволил оценить, какие из признаков оказывают наибольшее влияние на общее состояние здоровья человека. Исследование показало, что как у мужчин, так и у женщин, изменение здоровья в большей мере зависит от изменения здоровья «сердца» и «веса». Значение признака «сердце» растет до (50-59) лет, затем слегка падает и снова растет к (70-старше) годам. Значение же «веса» увеличивается с возрастом, пик приходится

на (60-69) у женщин и (50-59) у мужчин, а в самом пожилом возрасте показатель снова падает. Влияние остальных признаков менее значимо, но, тем не менее, весомо.

Использование данного скринингового инструментально-лабораторного диагностического комплекса исследований с глубокой математической обработкой материала позволяют вы-явить факторы риска и ранние проявления заболеваний сердца и сосудов у женщин и мужчин, а так же развивать основные направления практической медицины: превентивность и предсказательность (заранее определяя риски возникновения заболевания и проведения профилактики), применение полученного материала для персонализации (подбора каждому своего способа лечения) и партисипативизации (привлечение к участию в излечении самого человека) лечения пациентов и ведению здорового образа жизни.

**Список литературы**

[1] Иванова В.И., Кулагина А.Г., Ярдухин А.К. Эконометрика: практикум / сост. Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та, 2008. с. 88.
[2] Тенюкова К.Ю., Козлов В.А.Скрининговые исследования обмена веществ у населения г. Чебоксары для выявления и профилактики ожирения // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2011. № 2-1. С. 158-161.
[3] Tenyukova Ks.Yu., Tenyukova E.V., Tenyukov V.V. Screening studies of the cardiovascular system in the Center of Health // The collection of thesis of lectures of the International Congress «Cardiology at a crossroad of Sciences» in conjunction with V International Symposium of echocardiography and vascular ultrasound, XV11 annual scientificpractical conference «cardiology update». Tyumen. 2010 p. 255.
[4] Tenyukova Ks.Yu., Sapognikova A.A., Tenyukov V.V. Identifyng the risk factors and early symptoms of the metabolic syndrome of the population of Chuvashia» / 4rd International Scientific and Practical Conference «Science and Society» ISPC, London 2013, p. 117-127.
[5] Tenyukova Ks.Yu., Nikitin V.V., Tenyukov V.V. The early detection of the diseases of the internals and morbidity prediction with the help of screening of the population. International Confer-ence «The Recent Trends in Science and Technology Management» London, 2013, c. 20-30.
[6] Tenyukova E.V., Nikitin V.V., Tenyukov V.V. Chage of standart of life and state of health of Chuvash republic population (in the USSR and Russia). 7th International Scientific and Practical Conference «Science and Society» 23-30 March, London, 2015, p. 79-89.
[7] Tenyukov V.V., Nikitin V.V., .Tenyukova Ks.Yu. The derection of risk factors and early diagnostics of diseases of respiratory apparatus with help of screening investigation of Chuvash popula-tion. 7th International Scientific and Practical Conference «Science and Society» 23-30 March, London, 2015, p. 68-76.
[8] Tenyukova Ks.Yu., Oynotkinova O.Sh., Tenyukov V.V., NikitinV.V. Age related and sexual features of erly manifestations of heart and vessels diseases of population.
[9] 8th International Scientific and Practical Conference «Science and Society» 24-30 August, London, 2015, p. 68-76.

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИЕПАЙСКОЙ ДИЕТЫ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ИЗБЫТОЧНОГО ВЕСА

**Аудрюс Йозенас[1], В. В. Тенюков[2]**

[1]Литовский Университет Наук Здоровья, г. Каунас, Литва,
представитель в Казахстане, Алматы, Казахстан,
[2]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия
*e-mail:vanifa52@mail.ru*

Показана эффективность лиепайской диеты для коррекции избыточного веса, применение которой не влияет на ритм жизни и работы пациентов, позволяет в дальнейшем вести здоровый образ жизни и является экономичной и доступной для всех слоев общества.
**Ключевые слова:** избыточный вес и ожирение, коррекция веса лиепайской диетой доктора Аудрюса, эффективность применения, здоровый образ жизни.

**1. Введение.** Ожирение является одной из важнейших проблем общественного здравоохранения 21-го века. Никакой другой болезнью люди не болеют так часто, как ожирением. Эта проблема актуальна независимо от социальной и профессиональной принадлежности, зоны проживания, возраста и пола. По последним оценкам ВОЗ, 250 млн. человек страдают ожирением, более 1 млрд. человек на планете имеют лишний вес. В экономически развитых странах почти 50% населения имеют избыточный вес, из них 30% страдают ожирением. В России в среднем 30% лиц трудоспособного возраста имеют ожирение и 25% – избыточную массу тела [3, 4, 5]. ВОЗ рассматривает ожирение как глобальную эпидемию, охватывающую миллионы людей. Самой частой причиной ожирения является несоответствие поступления калорий и их расхода. Это переедание, значительное снижение физической активности. Стратегии, направленные на обуздание эпидемии различны: это разнообразные диеты, медикаментозная терапия, хирургические подходы и конечно, здоровый образ жизни [3, 4, 5]. Процессы похудания (потери веса человека) довольно сложны, мало изучены и в настоящее время возникает больше вопросов, чем ответов [3, 4, 5]. Применение различных методов лечения и профилактики избыточного веса и ожирения являются чрезвычайно востребованными в наши дни. В плане применяемых многочисленных диет хорошо зарекомендовала себя «лиепайская диета» доктора Л.Я.Хазана (г. Лиепае, Латвия) [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15], которая не такая уж и строгая по сравнению с иными диетическими меню и не выбивает пациентов их из ритма жизни, помогает эффективно избавиться от избыточного веса и в дальнейшем заниматься саморегуляцией веса. Кроме того, эта система принятия пищи довольно экономична, не требует нахождения пациентов в дорогих клиниках, доступна для всех слоев общества – «народная», имеет незначительное количество противопоказаний. Доктор Аудрюс Йозенас дополнил её влиянием на пациентов через психологическую сферу человека (коррекцию формирования правильного образа жизни) [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. В совокупности все это послужило актуальностью выбранной темы.

**Цель исследования:** изучение эффективности применения «лиепайской диеты» для коррекции избыточного веса пациентов.

**2. Материалы и методы исследования.** Для изучения распространенности избыточного веса и ожирения у населения в современном обществе было проведено масштабное исследование в г. Чебоксары (Россия) в Центре здоровья на базе МУЗ БСМП «Больница скорой медицинской помощи». Было обследовано 25928 человек (мужчин 26, 5% и женщин 73, 5%, в возрастных группах от 18 лет до 29, от 30 до 39, от 40 до 49, от 50 до 59, от 60 до 69, от 70 до 80 лет), статистический анализ различий возрастных когорт был рандомизирован путем прямой стандартизации с помощью метода $\chi 2$ [1, 2]. Примененный современный скрининговый

компьютерный аппарат («Медасс» Россия) для анализа соотношения воды, мышечной и жировой ткани (биоимпедансметрия) дает заключения в словесной форме, поэтому эти вербальные значения, полученные с аппаратов, были преобразованы в числовые и обработаны математически. Словесные заключения аппарата по состоянию миокарда, легких, массы тела могут быть различны (факторы риска, ранние проявления). Например, значения параметра для массы тела $Z = \{z1, z2, z3, z4, z5, z6\}$, где $z1$ – истощение; $z2$ – норма; $z3$ – избыточный вес; $z4$ – ожирение 1 степени; $z5$ – ожирение 2 степени; $z6$ – ожирение 3 степени. Ранее были опубликованы результаты исследований более 2000 человек за короткий промежуток времени 2009 – 2010 г.г. [6]. В настоящем исследовании использованы данные исследований пациентов Центра здоровья МУЗ БСМП «Больница скорой медицинской помощи» г. Чебоксар за период с 1 декабря 2009г. по 31 декабря 2014 г. и разбиты на 6 возрастных групп и по половому признаку.

В качестве метода выбора профилактики и коррекции избыточного веса применили вариант лиепайской диеты доктора Аудрюса Йозенаса [8]. Создателем, так называемой, «лиепайской диеты» был доктор Лев Хазан (1947-2015, г.Лиепая, Латвия). Его друг, ученик и бывший пациент Аудрюс Йозенас, когда-то сам похудевший более чем на 40 кг, исходя из своего опыта и по согласованию с Л. Хазаном, дополнил методику, и этот вариант диеты получил название иепайская диета доктора Аудрюса Йозенаса. Был проведен анализ эффективности коррекции веса с применением «лиепайской диеты» 2540 человек (мужчин 19% и женщин 81%, в возрастных группах от 18 лет до 74 лет), статистический анализ различий возрастных когорт был рандомизирован путем прямой стандартизации с помощью метода $\chi 2$ [1, 2]. Проанализированы данные изменений веса пациентов доктора Аудрюса Йозенаса из разных стран: Казахстана, России, стран Балтии, Великобритании, Ирландии и др., получавшие диету за период с 2006 г. по 2016 гг. и разделенные на 2 возрастные группы (до 45 и после 45 лет) и по половому признаку. В первой возрастной группе потеря веса происходила на 10-15% быстрее, мужчины теряли вес в среднем 1,5 раза быстрее, чем женщины. Из всех пациентов 564 (22, 2%) человека (мужчин 18, 3% и женщин 23,1%) самостоятельно приняли решение прекратить используемую диету. Осложнений от примененной диеты не наблюдалось. Все пациенты отбирались для применения лиепайской диеты по показаниям и находились под врачебным контролем. Кроме того, всем пациентам проводился опрос о самочувствии в ходе и после проведения диеты, определяли ИМТ (индекс массы тела). Нормой считается ИМТ, равный 18,5-24,99. Показатель ниже 18,5 говорит о дефиците массы тела, выше 25 – о ее избытке [17]. Противопоказаниями для применения диеты служили: психические и онкологические заболевания, беременность, кормление грудью, индивидуальная непереносимость. Питание в ресторанах, столовых и кафе запрещалось. Полностью исключался сахар и другие сладости. Были запрещены любые перекусы. Разрешалось употреблять некрепкие кофе и чай (без сахара). Диета основана на ограничении калорийности принимаемой пищи в сутки (не более 1100–1500 Ккал). По применяемой методике можно есть многое: и бутерброд с ветчиной, и салат из овощей. Никакого раздельного, низкокалорийного питания, пищевых добавок. Пациенты получали трехразовое питание, но в четко определенное время (например – в 8.30-13.30-19.30 ч. с интервалами в 5 и 6 часов) в жестко ограниченных количествах. Соль ограничивали в приготовления пищи и в употреблении. Вода, чай без сахара были ограничены до 1-2,5 литров в сутки. Сон не менее 8 часов в сутки. Строго запрещалось употреблять любые алкогольные напитки, сладкие продукты. Рекомендовано выбирать мясные и рыбные продукты из нежирных сортов, отказаться от свежего хлеба, небольшие физические упражнения, массаж и самомассаж проблемных мест.

Примерное меню на неделю состоит: завтрак – стакан чая или кофе (всегда без сахара), бутерброд с тонким слоем сливочного масла, с мясом (колбасой) или сыром (чередовать каждый день). Размер бутерброда – 6×9 см, толщина хлеба – от 7 до 15 мм, толщина мяса

(колбасы) или сыра от 5 до 12 мм. Один раз в неделю на завтрак – 1–2,5 отварных куриных яиц без хлеба. Обед: 110–170 г мяса или рыбы (морепродуктов) приготовленных любым способом (чередовать каждый день), 90–120 мл любых сырых овощей, мелко нарезанных, без заправки, не менее 3 видов (огурец, капуста, томаты, редис и др.), 1 стакан натурального свежо выжатого сока (апельсин, мандарин, морковь, арбуз, яблоки и др.), Ужин: 90 – 120 мл красного салата (винегрета) или белого (мясного) салата (чередовать каждый ужин). Белый (мясной) салат: отварной картофель, мясо или колбаса, яйцо, зеленый горошек, соленный или свежий огурец (всего 5 компонентов), заправленный 2-3 чайными ложками майонеза, сметаны или несладкого йогурта. Красный салат (винегрет): отварные свекла и морковь, соленный (или свежий) огурец, квашеная капуста (можно свежую), репчатый лук (всего 5 компонентов), заправленный 2-3 чайными ложками растительного масла. С красным салатом (винегретом) всегда столовая ложка с горкой рыбной икры, рыбных консервов или кусочек рыбы. Каждый ужин – кусок хлеба без масла, такого же размера как на завтрак и 1 стакан любой жидкости без сахара (чая, чай с молоком, кефир, сок и др.). Один раз в неделю, в один и в тот же день, твороженная диета: 100 – 300 г творога, 250 – 500 мл молока или кефира, 2 яблока, 5-10 грецких орех, 1-2,5 столовых ложек меда – распределить в течение дня, запивать чаем и водой. В этот день все указанные продукты можно съесть в любое время, в любой последовательности (можно мешать) за 5-6 раз. Точные объемы порций каждому пациенту подбираются индивидуально, в зависимости от стартового веса, пола, количества сбрасываемых килограмм и др. В случае пищевой аллергии или неупотребления некоторых продуктов или их сочетания по религиозным убеждениям, допускалась адекватная смена продуктов по согласованию с ведущим врачом. Со второго месяца в рацион питания вводится фрукты в ограниченных объемах, со 2-3 месяца – 2 раза в неделю сладкий ужин (сладкий твороженный сырок, сухие печенья, изюм, молоко или кефир). После потери не менее 50% сбрасываемого веса, назначаются супы (мясной бульон, овощной суп без мяса). После похудения – 6 месяцев период стабилизации или фиксации веса. В этот период пациенты находились под наблюдением врача и учились сами регулировать свой вес, чтобы он колебался всего 0,7-1 кг в одну или в другую стороны. Во время стабилизации или фиксации веса один раз в неделю вводится моно-разгрузочный день (кефирный, мясной, овощной, молочно-хлебный или фруктово-ягодный). Диету должны дополнять специальные процедуры – теплые ванны с высокой концентрацией хвойного экстракта и морской соли, возможны сеансы массажа.

**3. Результаты и обсуждение.** Исследования данных биоимпедансметрии методом факторного анализа с математическим ожиданием показало, в целом состояние «веса» мужчин и женщин очень похожи. Среди мужчин к состоянию «норма» по весу ближе всех молодые люди в возрасте 18–29 лет. С возрастом отклонение от нормы в целом увеличивается в сторону состояния «избыточный вес». Величина доверительного интервала во всех возрастных группах примерно одинаковая, но в возрасте 70-старше лет она сужается. В молодом возрасте отклонения от математического ожидания в пределах «истощение» – «избыточный вес», как и у женщин. В зрелом возрасте – в пределах «норма» – «ожирение 1 или 2 степени». А в возрасте 70-старше лет – снова в пределах «истощение» – «избыточный вес», причем вероятность появления отклонений становится даже меньше, чем в молодом возрасте. По результатам рандомизированных исследований избыточным весом и ожирением в самой молодой возрастной группе страдает уже 30.7% (практически 1/3 обследованных), а в следующей возрастной группе от 30 до 39 лет их количество увеличивается до 45%, т.е. фактически половина обследуемых. Это наглядно свидетельствует о риске развития метаболического синдрома у этих пациентов в будущем [6].

Результаты исследований показали эффективность применение лиепайской диеты доктора Аудрюса Йозенаса для коррекции избыточного веса пациентов.

В первый месяц, при неукоснительном соблюдении всех правил и меню, мужчины теряли в среднем 12-13 (до 15) кг, женщины – 7-8 (до 10) кг. Во второй месяц мужчины теряли

в среднем 8-9 кг, женщины – 5-6 кг. Похудение в течение третьего месяца обычно составляло 6-7 кг у мужчин и 4-5 кг у женщин. Отмечено, что мужчины худеют быстрее, поскольку мужской гормон тестостерон способствует снижению веса, а женские гормоны эстрогены – накоплению жира. В ходе проведения диеты некоторые пациенты отмечали: легкое чувство голода, изменение настроения, появление депрессии (хочется съесть, но нельзя), запоры, нарушение менструального цикла у женщин, обычно в первые дни, недели. При соблюдении всех правил, после прекращения программы потерянный вес навсегда останется в прошлом, в том случае, если человек не вернется к старому образу питания. Многие пациенты достигали значительных результатов, в отдельных случаях удалось похудеть на десятки кг (за несколько циклов диеты, которые чередовались с обычным умеренным питанием на протяжении 2-3 лет).

Несмотря на имеющиеся противоречия в понимании механизмов воздействия диеты, процесс похудания проходит достаточно быстро и уверенно. Можно порекомендовать диету сомневающимся, при наличии показаний и желания похудеть! Возможно, при такой диете создается дефицит калорий в организме и начинается процесс похудения при отрицательном энергетическом балансе**,** потому что в данный период количество потребляемых калорий меньше, чем нужно для повседневных функций организма. А возможно, такой баланс организм воспринимает как сигнал того, что наступили «тяжелые времена», и запускает режим оптимизации расхода энергии**.** Возможно, в основе системы этого питания лежат элементы принципа Low carbs high fats (мало углеводов – много жиров). Суть в том, что организм работает на глюкозе, получая ее из углеводов. Если их недостаточно, пищеварительная система будет извлекать глюкозу из белков. При дефиците белков организм начнет тратить собственные жировые запасы, а печень перестроится на производство кетонов— веществ, которые не хуже глюкозы снабжают энергией и при этом исключают сбой в выработке инсулина. Кетозом обычно сопровождаются многие диеты, но внимание на нем почти никто не акцентировал. Сейчас же маркетологи активно взялись за его популяризацию, параллельно выпуская книги и приложения с «жирными» рецептами. Чтобы запустить сложный механизм, достаточно перекроить рацион, исходя из следующих пропорций: 60–75% должно приходиться на жиры, 15–30% – белки и незначительные 5-10% – на углеводы. Меню, ограничивающее углеводы и делающее упор на жиры, использовали в лечении больных эпилепсией [16]. Самое главное и действенное – изменяется обычный рацион (формирование низкокалорийного рациона питания – до 1200 Ккал, количество пищи) и пищевые привычки (перекусы, употребление сахара и соли, алкоголя, соблюдения режима питания), исключаются стрессы.

Результаты применения лиепайской диеты доктора Аудрюса Йозенаса для коррекции избыточного веса свидетельствуют об эффективности данной системы приема пищи, позволяющей корректировать лишний вес людей. Диета проста в проведении в амбулаторных условиях, довольно экономична, доступна каждому – для всех слоев общества, не выбивает пациентов их из ритма жизни, при которой они могут продолжать работать, позволяет в последующем перейти здоровому питанию (без перекусов и перееданий), здоровому образу жизни.

**Выводы:**

1. Метод биоимпедансметрии показал, что у большей части обследованных выявляется избыточный вес и ожирение 1 степени, возрастающих с увеличением возраста. Нормальный вес, фитнес-стандарт и истощение наблюдаются чаще в молодом возрасте. По данным биоимпедансметрии выделяют: норму, фитнес-стандарт, истощение, избыточный вес, ожирение 1 степени, ожирение 2 степени, ожирение 3 степени. Показатели в норме наблюдаются только у одной трети обследованных пациентов Центра (норма у 25,25%, фитнес-стандарт у 11,25%), в основном преобладают пациенты с избыточным весом (33,2%) и ожирением

## ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ИННВОАЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ

# ПОСЛЕДСТВИЯ ПОЛНОГО УДАЛЕНИЯ ЖЕЛУДКА: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**С. В. Волков, В. Е. Волков**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»
*428015, Чебоксары, московский проспект 15*

У 283 больных, перенесших операцию полного удаления желудка по поводу рака и других заболеваний этого органа, изучена частота развития патологических синдромов на сроках от 2 мес. до 10 лет. Патологические синдромы были выявлены у 261 (92,2%) больного. Рассмотрен механизм развития агастрических синдромов с учетом утраты важнейших функций желудка после удаления этого органа. Отмечена важная роль ускоренного транзита в развитии внутрикишечной пищевой асинхронии, которая приводит к нарушению нутритивного статуса больных, способствуя снижению массы тела, вплоть до развития синдрома истощения.
*Ключевые слова:* полное удаление желудка, патогенез синдромов, метаболические и иммунные нарушения, внутрикишечная пищевая асинхрония.

Хирургическая операция полного удаления желудка, именуемая гастрэктомией (ГЭ) или тотальной гастрэктомией, до настоящего времени остается одной из наиболее тяжелых и травматичных операций на органах брюшной полости. Согласно нашим данным, операция полного удаления желудка выполняется в 96,3% случаев по поводу рака желудка и в 3,7% случаев по поводу других заболеваний этого органа (диффузный полипоз желудка, осложненный злокачественными превращением или кровотечением; некроз желудка и др.). К тому же данная операция в 34,5% случаев сопровождается удалением или резекцией смежных органов и тканей, увеличивая при этом не только объем оперативного вмешательства, но и его риск, повышая частоту послеоперационных осложнений до 43,5% и летальность до 13,7% [3].

Из-за высокой смертности больных на ранних сроках после полного удаления желудка большинство авторов на протяжении всего XX столетия и даже первого десятилетия XXI уделяли внимание в основном техническому совершенствованию данного оперативного вмешательства. До настоящего времени предложено более 70 методов реконструкции при выполнении гастрэктомии [11]. К сожалению, клиницистам до сих пор не удалось предложить идеальный способ реконструкции при выполнении гастрэктомии.

Актуальность проблемы изучения ближайших и отдаленных последствий гастрэктомии заключается прежде всего в том, что с каждым годом увеличивается количество выполняемых по поводу рака желудка и других заболеваний этого органа гастрэктомий, нередко в сочетании с резекцией абдоминального отдела пищевода и другими сочетанными оперативными вмешательствами (удалением селезенки, резекцией поджелудочной железы, резекцией поперечной ободочной кишки и др.), и одновременно увеличивается 5-летняя выживаемость больных. В связи с увеличением количества выполняемых гастрэктомий исследователи некоторых зарубежных стран (Япония, Германия, Франция, США) в последние два десятилетия большое внимание начали уделять многоплановому изучению последствий полного удаления желудка на отдаленных сроках, рассматривая их не только как хирургическую, но и как патофизиологическую проблему [12,13].

Исходы гастрэктомии до настоящего времени остаются в большинстве случаев непредсказуемыми из-за возможности развития тяжелых и опасных послеоперационных осложнений. По данным некоторых авторов [9, 10] различные по тяжести осложнения после гастрэктомии встречаются с частотой от 33 до 86,7%, а летальность – 6% и более.

После каждой выполненной гастрэктомии, особенно комбинированной гастрэктомии, возникает угроза развития таких опасных осложнений, как несостоятельность швов пище-

водно-кишечного анастомоза, послеоперационный панкреонекроз, послеоперационный перитонит и др. Летальность при несостоятельности швов пищеводно-кишечного анастомоза колеблется в пределах 10-100%, составляя в среднем 45% [7]. Приведенные данные подтверждают необходимость дальнейшей разработки ряда вопросов, касающихся улучшения непосредственных результатов гастрэктомии, прежде всего, расширенно-комбинированных оперативных вмешательств (эзофагогастрэктомии, спленопанкреатогастрэктомии и др.).

Что же касается отдаленных последствий полного удаления желудка, то они изучены до сих пор крайне недостаточно [5,6,12]. Это подтверждается отсутствием классификации патологических синдромов после гастрэктомии, частой подменой в клинической практике различных ведущих синдромов после гастрэктомии такими собирательными терминами, как «болезни оперированного желудка и пищевода», «синдромы агастрии», «демпинг-синдром», «рефлюксная болезнь пищевода». Нередко симптомы отдельных патологических синдромов (дисфагия, нарушения аппетита, регургитация и др.) принимаются ошибочно за синдромы. О сложности проблемы отдаленных последствий у больных, перенесших операцию полного удаления желудка, и ее актуальности можно судить хотя бы по отсутствию объективных данных о частоте того или иного патологического синдрома при различных вариантах формирования пищеводно-кишечного соустья, отсутствию информативных методов ранней диагностики ведущих синдромов. Кроме того, не разработаны эффективные методы лечения тяжелых, особенно сочетанных форм синдромов, и отсутствуют надежные критерии оценки качества жизни больных, перенесших операцию полного удаления желудка.

Большое число нетрудоспособных в связи с полным удалением желудка, нередко с удалением или резекцией соседних органов, развитием различных по тяжести патологических синдромов (демпинг-синдром, синдром агастральной астении, анемия и др.) придает данной патологии не только медицинское, но и важное социальное значение.

Цель работы – изучить у больных последствия полного удаления желудка на отдаленных сроках после операции.

**Материал и методы исследования.** За период с 1972 г по 2012 г на кафедре хирургических болезней ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова» и клинических базах кафедры были изучены отдаленные последствия у 283 больных, перенесших операцию полного удаления желудка на сроках от 2 мес. до 10 лет, а у отдельных больных свыше этого срока. Из общего числа обследованных различные по тяжести патологические синдромы выявлены у 261 (92,2%) больного. Основную группу больных (154 чел) с выявленными патологическими синдромами составляли пациенты в возрасте от 41 до 60 лет. Мужчин было 156 (63,6%), женщин – 95 (36,4%).

Обследование больных включало в себя:

1) выявление жалоб больных после операции с тщательной детализацией клинических симптомов;

2) детальное изучение объема оперативного вмешательства и варианта формирования пищеводно-кишечного соустья;

3) проведение общепринятых лабораторных методов исследования;

4) рентгенологическое исследование пищеводно-кишечного комплекса и определение скорости ороцекального транзита бариевой взвеси;

5) проведение эзофагоскопии и эзофагоеюноскопии с прицельной биопсией;

6) проведение проб с нагрузкой глюкозой, в том числе по методу Штаубе-Трауготта;

7) определение количества общего белка в плазме, иммунологических показателей, электролитов в плазме крови (K, Na, Cl, Ca) и др.;

8) проведение пробы Берштейна-Бакера;

9) Определение индекса массы тела (ИМТ) по методу Брока;

10) Проведение бальной оценки симптомов демпинг-синдрома по шкале H. Sigstad;

11) Определение качества жизни больных по методике SF – 36 Health.

Данные обрабатывали методом вариационной статистики с определением средней арифметической (M), среднего квадратического отклонения (σ ±), средней ошибки (m ±). Для оценки критической достоверности различий сравниваемых средних величин применяли t-критерий Стьюдента. Критерий согласия $\chi^2$ (Chi Sqr или «хи-квадрат») рассчитывали с учетом поправки Йейтса по таблицам сопряженности. Различия признавались статистически достоверными при уровне вероятности $p<0,05$.

**Результаты и их обсуждение.** На протяжении нескольких последних десятилетий было установлено, что после операции полного удаления желудка у больных возникают различные по тяжести патологические синдромы [1,5,6]. Среди агастрических синдромов были выявлены такие синдромы, как рефлюксный эзофагит, демпинг-синдром, анемия, астения, потеря массы тела, нарушение функций печени, поджелудочной железы и кишечника. Однако следует указать, что многие данные по изучению патогенеза большинства из указанных синдромов были получены в основном у больных, перенесших резекцию желудка и органосберегающие операции в сочетании с ваготомией. Для подтверждения этого достаточно назвать рефлюксный эзофагит, патогенез которого подробно подвергся изучению в плане новой нозологической формы патологии – гастроэзофагеальной рефлюксной болезни [4]. Это справедливо и в отношении таких сравнительно частых синдромов, как демпинг-синдром, анемия, агастральная астения, патогенез которых также подробно изучен в основном у больных, перенесших резекцию желудка [8]. Патогенез этих клинических синдромов у больных, перенесших операцию полного удаления желудка, изучен до настоящего времени крайне недостаточно.

D. Sharma [11] попытался представить патогенез постгастрэктомических синдромов в виде схемы (рис. 1). Рассматривая данную схему патогенез в целом, следует признать, что патологию, возникающую после полного удаления желудка, особенно с удалением или резекцией смежных органов, трудно представить в виде какой-то упрощенной схемы. Кроме того, следует учитывать, что полное удаление желудка, как важнейшего органа пищеварительного тракта, приводит не только к утрате секреторной, механической и резервуарной функций желудка, но и других функций этого органа (эндокринная, моторно-эвакуаторная, антирефлюксная). С учетом указанных недостатков отдаленные последствия полного удаления желудка нами были изучены основные ведущие патологические синдромы, включая ранее неизвестную клиницистам патологию и названную нами «еюноэзофагеальной рефлексной болезнью», возникающую вследствие еюноэзофагеального или билипанкреатического рефлюкса на фоне полного удаления пищеводно-кардиального сфинктера [2]. Частота развития данной рефлюксной болезни и других патологических синдромов представлена нами в таблице.

Данная классификация позволяет, на наш взгляд, рассматривать все патологические синдромы в их общей патогенетической связи, проводить дифференциальную диагностику и определять выбор рационального лечения.

Гастрэктомия, особенно эзофагогастрэктомия, сопровождающиеся удалением абдоминального отдела пищевода вместе с нижним кардиоэзофагеальным сфинктером, создает условия для беспрепятственного заброса билио-панкреатического рефлюксата, содержащего агрессивные компоненты (конъюгированные и неконъюгированные желчные кислоты, трипсин и др.), выше зоны пищеводно-кишечного анастомоза, вызывая функциональные и макро- и микроструктурные изменения практически во всем еюноэзофагеальном комплексе. Следствием этого является развитие патогенетически сложной патологии – еюноэзофагеальной рефлюксной болезни (ЕЭРБ), отличающейся патогенетически от гастроэзофагеальной рефлюксной болезни (ГЭРБ). Развитие ГЭРБ обусловлено гастроэзофагеальным рефлюксом при сохраненном желудке и сохраненном нижнем пищеводном сфинктере, а развитие ЕЭРБ – полным удалением желудка с одновременным тотальным удалением кардиоэзофагеального сфинктера и развитием еюноэзофагеального или билио-панкреатического рефлюкса с воз-

действием рефлюксата на зону пищеводного соустья и вышележащий дистальный отдел грудного отдела пищевода, анастомозируемые петли тощей кишки.

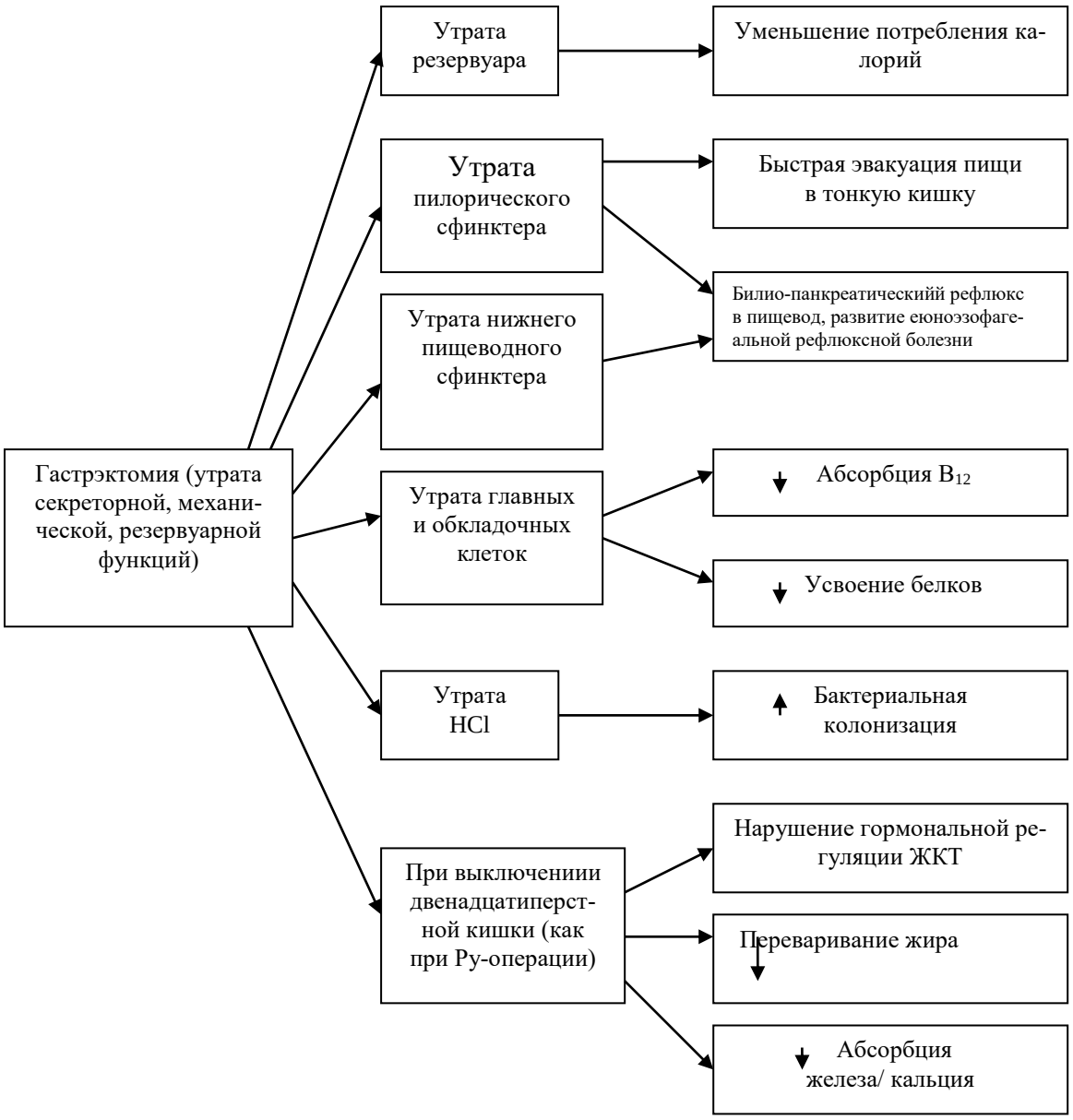



**Рис. 1.** Патогенез патологических синдромов у больных после удаления желудка (по Sharma D., 2004 с нашими дополнениями, касающимися билио-панкреатического рефлюкса и развития еюноэзофагеальной рефлюксной болезни)

Наши исследования показали, что ведущими патологическими синдромами/болезнями, возникающими на различных сроках после гастрэктомии, являются еюноэзофагеальная рефлюксная болезнь, демпинг-синдром, агастральная астения и синдром дефицита массы тела (истощение). Наиболее информативным методом в ранней диагностике еюноэзофагеальной рефлюксной болезни являются эзофагоеюноскопия с биопсией. Этот метод позволяет дать эндоскопическую оценку не только дистального отдела пищевода, но и всего еюноэзофагеального комплекса. После полного удаления желудка еюноэзофагеальный комплекс берет на себя функцию этого безвозвратно утраченного важнейшего органа пищеварительной системы. Нами был проведен анализ клинических симптомов постгастрэктомического демпинг-синдрома с учетом количества баллов по шкале Sigstad. Это позволило систематизировать различные симптомы раннего демпинг-синдрома в виде двух основных групп: *системные* и *абдоминальные*. Разработанные диа-

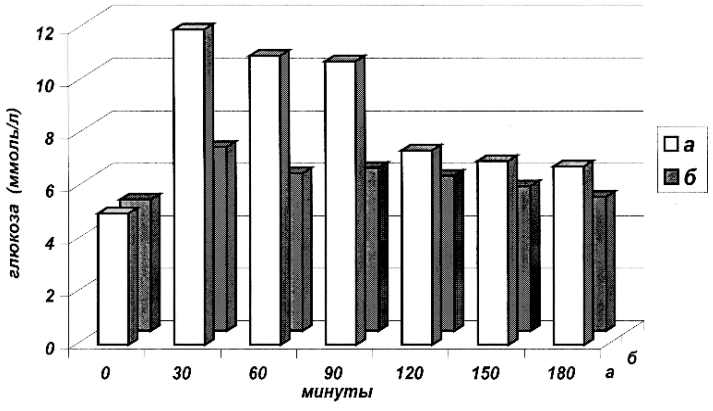
гностические критерии могут использоваться в практической работе для идентификации истинного и ложного демпинг-синдрома у больных, перенесших гастрэктомию.

**Таблица**

Частота развития еюноэзофагеальной рефлюксной болезни и других патологических синдромов

| Патологические синдромы (болезни) | Кол-во больных | в % |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| *Еюноэзофагеальная рефлюксная болезнь* | 176 | 62,2 |
| Степень тяжести: | | |
| степень I | 33 | 18,7 |
| степень II | 54 | 30,7 |
| степень III | 47 | 26,7 |
| степень IV | 42 | 23,9 |
| Формы тяжести эзофагита: | | |
| катаральная | 90 | 51,1 |
| эрозивная | 64 | 36,4 |
| язвенно-некротическая | 15 | 8,5 |
| стенозирующая | 7 | 4,0 |
| Формы дискинезии анастомозируемых петель тонкого кишечника (n=50): | | |
| гиперперистальтическая | 38 | 76 |
| гипоперистальтическая (атоническая) | 12 | 24 |
| Сегментарный еюнит | 75 | 42,6 |
| *Демпинг-синдром* | 109 | 38,5 |
| легкой степени | 57 | 52,3 |
| средней степени | 41 | 37,6 |
| тяжелой степени | 11 | 10,1 |
| *Рубцовый стеноз пищеводно-кишечного анастомоза* | 9 | 3,2 |
| *Агастральная анемия* | 97 | 34,3 |
| *Дефицит массы тела* | 205 | 72,4 |
| *Агастральная астения* | 45 | 17,2 |
| *Метаболические нарушения* | 92 | 52,3 |
| *Рецидив рака в зоне пищеводно-кишечного анастомоза* | 4 | 1,4 |

*Примечание.* У больного может наблюдаться больше одного синдрома




Полное удаление желудка неизбежно приводит к различным по тяжести нарушениями обмена веществ, в частности, углеводного, белкового, жирового, электролитного, микроэлементного, витаминного обмена. Было установлено, что больные ЕЭРБ в сочетании с демпинг-синдромом переносят прием раствора глюкозы (50 г в стакане теплой воды) плохо: почти у всех больных развивается клиническая реакция синдрома, чаще выраженная или тяжелая (рис. 2).

**Рис. 2.** Динамика изменений гликемических показателей у практически здоровых людей и у больных еюноэзофагеальной рефлюксной болезнью в сочетании с демпинг-синдромом.
Обозначения: а – содержание сахара в крови у больных еюноэзофагеальной рефлюксной болезнью в сочетании с демпинг-синдромом; б – содержание сахара в крови у практически здоровых людей

Согласно нашим данным, тест с нагрузкой глюкозой имеет 100% чувствительность в диагностике раннего демпинг-синдрома. Динамику изменений средних значений уровней гликемии у больных можно в определенной степени трактовать как показатели «диабетоид-

ного типа». У больных с данной сочетанной патологией имеет место выраженная интолерантность к моносахаридам. Эти данные свидетельствуют о глубоком нарушении углеводного обмена у этой категории больных. Роль нарушений внутрисекреторной функции поджелудочной железы была подтверждена у 20 больных ЕЭРБ в сочетании с демпинг-синдромом. Было доказано, что стойкие и тяжелые проявления демпинговой реакции у больных ЕЭРБ могут поддерживаться за счет нарушения инкреторной функции поджелудочной железы, что следует учитывать при проведении соответствующей коррегирующей терапии.

Еюноэзофагеальная рефлюксная болезнь и ее сочетанные формы (синдром истощения, демпинг-синдром) приводят к метаболическим нарушениям, в частности, к развитию гипокальциемии (2,1±0,04 ммоль/л, $p<0,001$), гипокалиемии (4,06±0,03 ммоль/л, $p<0,05$), снижению общего белка в плазме (61,5±1,7 г/л, $p<0,05$) и др.

Возникающий после полного удаления желудка в 76% случаев ускоренный транзит необработанной пищевой массы из пищеводно-кишечного комплекса в тонкую кишку способствует развитию своеобразного феномена, обусловленного запаздыванием процесса обработки пищевых масс соком поджелудочной железы и желчью, что подтверждается частым развитием у этой группы больных стеатореи и креатореи, а также дефицитом массы тела у 72,4% больных, их них в 10,8% случаев с развитием синдрома истощения, при котором индекс потери массы тела (ИМТ) превышает 30%. Этот феномен, возникающий после удаления желудка, нами назван «внутрикишечной пищевой асинхронией». Изучение патогенеза этого феномена является оправданным и перспективным, поскольку позволит раскрыть малоизученный сложный процесс внутрикишечного пищеварения и одновременно патогенетически обосновать развитие прогрессирующего падения массы тела, вплоть до развития синдрома истощения.

Широкий спектр метаболических нарушений у больных ЕЭРБ позволяет предполагать возможность развития у этой категории пациентов нарушений иммунной системы. Анализ полученных нами результатов исследований подтвердил тот факт, что на фоне выраженных метаболических нарушений у больных создаются условия для развития дисфункции иммунной системы, особенно фагоцитарного и гуморального звена.

Возникающие в большинстве случаев после полного удаления желудка сочетанные патологические синдромы приводят к глубоким, часто сочетанным расстройствам различных видов обмена – белкового, углеводного, жирового и др. Все это в целом является причиной резкого снижения качества жизни этой категории больных, что подтверждается соответствующими показателями методики SF – 36 Health. Все выше указанные патологические синдромы и обменные нарушения могут возникать у больных при отсутствии рецидива рака.

Проблема лечения синдромов (болезней), возникающих на различных сроках после перенесенной операции полного удаления желудка до настоящего времени остается нерешенной. Что касается лечения ЕЭРБ, то оно не может быть идентичным с методом лечения ГЭРБ. Если использование блокаторов $H_2$-рецепторов гистамина и ингибиторов протонной помпы является эффективными у больных ГЭРБ, то применение этих секреторных препаратов у пациентов ЕЭРБ считаем нецелесообразным, поскольку у них полностью отсутствует желудок вместе с секреторным аппаратом. Наши исследования, проведенные у 97 больных ЕЭРБ, позволили доказать возможность использования с лечебной целью комбинированного метода низкоинтенсивного лазерного воздействия на еюноэзофагеальный комплекс, выявить положительные стороны лазерной терапии и установить показания и противопоказания к ее применению. У 36 больного ЕЭРБ в сочетании с демпинг-синдромом нами доказана целесообразность проведения курса лечения октреотидом. Однако для окончательной оценки эффективности данного препарата необходимы дальнейшие клинические исследования.

**Выводы**

1. Оценка отдаленных последствий и идентификация патологических синдромов/болезней после полного удаления желудка должны проводиться на основании клинических и специальных методов исследования с учетом разработанной классификации агастральной патологии.
2. Удаление желудка сопровождается утратой важнейших функций этого органа, удалением кардиоэзофагеального сфинктера, антропилорического эвакуаторного механизма и полным выключением дуоденального пассажа пищи.
3. В оценке отдаленных последствий полного удаления желудка следует учитывать важную роль в нарушении обменных процессов ускоренного ороцекального транзита пищевых масс, что является одной из важных причин формирования своеобразного феномена – «внутрикишечной пищевой асинхронии».

**Список литературы**

1. *Березов Ю.Е.* Оперированный желудок / Ю.Е. Березов, Ю.В. Варшавский. – М.: Медицина, 1974. – 192 с.
2. *Волков С.В.* Еюноэзофагеальная рефлюксная болезнь. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2007. – 256 с.
3. *Волков С.В*. Гастрэктомия и ее последствия: актуальные вопросы классификации, диагностики и лечения постгастрэктомических синдромов и их сочетанных форм. Автореферат дисс… докт. мед. наук. – Саранск, 2013. – 39 с.
4. *Кубышкин В.А.* Гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь / В.А. Кубышкин, Б.С. Корняк. – М., 1999. – 190 с.
5. *Маркова Г.Ф.* Клиника и лечение последствий полного удаления желудка / Г.Ф. Маркова. – М.: Медицина, 1969. – 160 с.
6. *Маят В.С.* Резекция желудка и гастрэктомия / В.С. Маят, Ю.М. Панцырев, Ю.К. Квашнин и др. – М; Медицина, 1975. – 368 с.
7. *Поликарпов С.А*. Выбор метода наложения пищеводно-кишечного анастомоза после гастрэктомии / С.А. Поликарпов, А.Н. Лисицкий, И.В. Горюнов // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова, 2008. – №9. – С. 56-60.
8. *Самсонов М.А.* Постгастрорезекционные синдромы (патогенез, клиника, лечение) / М.А. Самсонов, Т.И. Лоранская, А.П. Нестерова. – М.: Медицина, 1984. – 190 с.
9. *Andreollo N.A.* Postoperative complications after total gastrectomy in the gastric cancer. Analis of 300 patients / N.A. Andreollo, L.R. Lopes, S. Coelho Neto // ABCD Arq Brus. Chir. Dig., 2011. – V. 24. – № 2. – P. 126-130.
10. *Kotan C.* Noncurative total gastrectomy and oesophagogastrectomy in the treatment of advanced gastric carcinoma in country with incidence / C. Kotan, E.Kisli, O. Cikman et al // Acta chir. belg., 2005. – V. 105. – P. 519-522.
11. *Sharma D.* Choice of digestive tract reconstructive procedure following total gastrectomy: A critical reappraisal / D. Sharma // Indian Journal of Surgery, 2004. – V. 66. – Issue 5. – P. 270-276.
12. *Schölmerich J.* Postgastrectomy syndromes – diagnosis and treatment / J. Scholmerich // Res. Clin. Best Pract. Gastroenterol. – 2004. – V. 18. – № 5. – P. 917-933.
13. *Tomita R.* Pathophysiology after operation for gastric cancer / R. Tomita // J. Jpn. Coll. Surg. – 1998. – V. 23. – P. 1-5.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЕРАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ С ОСТРОЙ ХИРУРГИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИЕЙ ОРГАНОВ БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ

**С. В. Волков, В. Е. Волков**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»
*428015, Чебоксары, московский проспект 15*

В работе приведены результаты лечения 5127 больных с острой хирургической патологией органов брюшной полости за период с 2009 по 2015 г.г. Из этого количества больных были оперированы 3626 (70,72%) чел. Консервативное лечение проведено 1501 (29,28%) пациенту. Из общего количества больных умерли 141 (2,75%) чел. Наиболее частой причиной летального исхода явился гнойный перитонит, сепсис и полиорганная дисфункция. Решающее значение в снижении летальности у больных с указанными осложнениями имеют ранняя диагностика заболеваний и активная хирургическая тактика.
**Ключевые слова:** острые хирургические заболевания органов брюшной полости, оперативное лечение, летальность.

Ранняя диагностика и лечение острых хирургических заболеваний органов брюшной полости являются до сих пор актуальной проблемой практического здравоохранения. Эти заболевания занимают большое место в общей заболеваемости населения. Многие из острых хирургических заболеваний органов брюшной полости дают тяжелые и опасные осложнения, нередко являющиеся причиной смерти больных. Исходы оперативного лечения острых хирургических заболеваний органов брюшной полости во многом зависят от своевременности госпитализации больных, следовательно, от уровня подготовки врачей «Скорой медицинской помощи» и поликлиник, а нередко и средних медицинских работников. При этом нельзя не учитывать также уровень санитарно-просветительной работы среди населения, его осведомленности об опасности различных по тяжести внезапно возникших острых хирургических заболеваний органов брюшной полости, среди которых в первую очередь следует указать острый аппендицит, острый холецистит, острый панкреатит, прободную язву желудка и двенадцатиперстной кишки, острую кишечную непроходимость и др.

Несмотря на широкое внедрение в практическое здравоохранение в последние годы УЗИ, КТ и МРТ, процент ошибок в диагностике «острого живота» остается на высоких цифрах и не имеет пока четкой тенденции к снижению. Достаточно сказать, что ошибки в диагностике даже такого распространенного заболевания, как острый аппендицит, особенно у женщин, в США находятся в пределах от 22,2 до 45%, в то время как у лиц мужского пола они составляют в среднем 9,9% [4,6]. При этом летальность при остром аппендиците в США колеблется от 0,06 до 3,0%, а при перфоративном аппендиците, особенно у лиц пожилого возраста, она может достигать 15%.

Среди острых хирургических заболеваний органов брюшной полости нерешенной проблемой до настоящего времени продолжает оставаться острый панкреатит, летальность при некротической его форме достигает 30-40% и более [1,2,3].

Не имеет пока тенденции к снижению летальности при острой мезентериальной ишемии, завершающейся в большинстве случаев тотальным некрозом тонкой кишки и правой половины ободочной кишки. Данная острая сосудистая патология быстро приводит к развитию распространенного гнойного перитонита и смерти 60-80% больных [5].

Довольно часты случаи ошибочной диагностики и сохраняющейся высокой летальности и при других острых заболеваниях, входивших в группу «острого живота» – острой кишечной непроходимости, прободной язве желудка и двенадцатиперстной кишки, перфорации рака ободочной кишки и др. Все это свидетельствует о том, что разработка информативных методов ранней диагностики и поиск новых эффективных методов лечения острых хи-

рургических заболеваний органов брюшной полости и различных по тяжести послеоперационных осложнений (гнойный перитонит, абдоминальный сепсис, полиорганная недостаточность и др.) является чрезвычайно важной задачей нынешнего этапа развития клинической хирургии. В современной литературе в основном представлены результаты хирургического лечения отдельных нозологических форм «острого живота» и практически отсутствуют обобщенные непосредственные результаты нескольких наиболее тяжелых острых хирургических заболеваний органов брюшной полости, что затрудняет проведение сравнительного анализа результатов экстренной хирургической помощи в различных лечебных учреждениях. Данная проблема в какой-то степени была затронута в 2016 г на Первом съезде хирургов Приволжского Федерального округа (с международным участием) в г. Нижний Новгород.

Цель исследования – изучить непосредственные результаты лечения больных с наиболее частыми острыми хирургическими заболеваниями органов брюшной полости - остром аппендиците, прободной язве желудка и двенадцатиперстной кишки, остром холецистите, остром панкреатите, острой кишечной непроходимости, ущемленной грыже и синдроме мезентериальной ишемии.

**Материал и методы исследования.** за период с 2009 по 2015 г.г. проведен анализ результатов лечения 5127 больных с острой хирургической патологией органов брюшной полости, находящихся на стационарном лечении в хирургическом отделении БУ БСМП, являющимся одной из клинических баз кафедры хирургических болезней ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова». Эта группа больных включала в себя различную по тяжести патологию «острого живота» – острый аппендицит, прободную язву желудка и двенадцатиперстной кишки, острый холецистит, острый панкреатит, острую кишечную непроходимость, ущемленную грыжу и синдром мезентериальной ишемии. В анализируемой группе больных были уточнены причины поздней диагностики больных, дан анализ наиболее тяжелых послеоперационных осложнений и изучены непосредственные результаты хирургического лечения больных.

**Результаты и их обсуждение.** Полученные результаты оперативного лечения были обобщены и приведены в таблице.

**Таблица**

Летальность при острых хирургических заболеваниях органов брюшной полости (2009-2015 г.г.)

| Острые хирургические заболевания | Кол-во больных | Кол-во оперированных больных | Кол-во лечившихся консервативно | Кол-во умерших в % |
|---|---|---|---|---|
| Острый аппендицит | 2421 | 2412 | 9 | 3 (0,12) |
| Прободная язва желудка и двенадцатиперстной кишки | 187 | 186 | 1 | 18 (9,63) |
| Острый холецистит | 1260 | 410 | 850 | 14 (1,11) |
| Острый панкреатит | 622 | 118 | 504 | 38 (6,11) |
| Острая кишечная непроходимость | 284 | 148 | 136 | 17 (4,43) |
| Ущемленная грыжа | 307 | 306 | 1 | 10 (3,26) |
| Острая мезентериальная ишемия | 46 | 46 | - | 41 (89,13) |
| Итого: | 5127 | 3626 (70,72) | 1501 (29,28) | 141 (2,75) |

Как видно из табл., за указанный период по поводу острого аппендицита поступило 2421 пациент обоего пола в возрасте от 17 до 96 лет, из них было оперировано 2412 чел., умерло 3 (0,12%). Однако за период с 2009 по 2013 г.г. летальность при остром аппендиците составляла 0%, за период 2014-2015 г.г. умерло 3 (0,48%) чел., что обусловлено поздней госпитализацией больных (27,8% и 9,3% соответственно) и развитием гнойного перитонита у лиц в возрасте свыше 70 лет.

Из 187 больных, поступивших и оперированных по поводу прободной язвы желудка и двенадцатиперстной кишки, умерло 18 (9,63%) пациентов, преимущественно от распростра-

ненного гнойного перитонита. Так, из 19 больных, поступивших в 2014 г с прободной язвой желудка и двенадцатиперстной кишки, поздняя госпитализация у 5 чел. составила в среднем 26,3%, из них 2 пациента умерли. Из 22 больных, поступивших в 2015 г с язвенной перфорацией, поздняя госпитализация составила у 5 чел 22,7%, из них умерли 4. К тому же у 2 больных мужского пола этой группы, перенесших операцию ушивания прободной язвы на фоне гнойного перитонита, в послеоперационном периоде наступила перфорация одновременно 4 острых стресс-язв тонкой кишки у каждого из них. После ушивания этих язв и тотальной декомпрессии тонкой кишки у одного из этих больных наступила перфорация еще одной стресс-язвы, по поводу которой была произведена релапаротомия и ушивание язвы. У обоих больных наступил летальный исход вследствие распространенного гнойного перитонита, сепсиса и полиорганной недостаточности.

Из 1260 больных, поступивших с острым холециститом и оперированных по экстренным показаниям 410 пациентов, умерли 14 (3,41%) чел. Консервативное лечение было проведено 850 пациентам, среди них летальных исходов не отмечено, все они выписаны на амбулаторное лечение. Общая летальность больных острым холециститом составила в среднем 1,11%.

Из 622 больных, поступивших с острым панкреатитом, оперированы по поводу некроза железы и ее осложнений 118 (19%) чел., послеоперационная летальность составила 32,1%, общая летальность – 6,11%.

Из 284 больных с острой кишечной непроходимостью оперировано 148 (52,1%) чел. Послеоперационная летальность составила 11,5%, общая летальность – 4,43% (умерли 17 чел.). За анализируемый период поздняя госпитализация больных с острой кишечной непроходимостью колебалась от 37,6% до 61,3%.

Из 307 больных, поступивших с ущемленной рыжей, оперировано 306 (99,5%) чел., общая летальность оказалась равной 3,26% (умерли 10 чел.). Основной причиной летального исхода явился распространенный гнойный перитонит вследствие поздней госпитализации, особенно лиц в возрасте старше 70 лет. Так, в 2013 г поздняя госпитализация больных с ущемленными грыжами составила 37,8%, в 2014 г – 18,21%, в 2015 г – 21,5%.

Из 46 больных, поступивших с клинической картиной острой мезентериальной ишемии, умерли 41 (89,13%) чел., у всех у них возраст превышал 70 или 80 лет. Во время лапаротомии у этой группы больных были обнаружены тромбоз или эмболия верхней или нижней брыжеечной артерии, или тромбоз соответствующих венозных сосудов с развитием тотального некроза тонкой кишки и правой половины ободочной кишки, сегментарного некроза подвздошной кишки, некроза толстой кишки. Выполненные у этой группы больных обширные резекции тонкой и толстой кишки, завершившиеся еюностомией на расстоянии 20-30 см от связки Трейтца и колостомией, не дали положительного лечебного эффекта. Оперативное лечение оказалось эффективным лишь у 5 пациентов, у которых во время лапаротомии обнаружены сегментарные поражения тонкой кишки, по поводу которых были произведены резекции кишки без наложения анастомоза, в частности, с формированием илеостомы или еюностомы. Вопрос о закрытии свищей решался индивидуально в зависимости от состояния больного.

*Заключение.* В работе представлен клинический материал за последние 7 лет (2009-2015 г.г.), охватывающий результаты лечения основных нозологических единиц неотложной хирургической гастроэнтерологии, объединяемой в собирательное понятие «острый живот». За указанный период оперативное и консервативное лечение было поведено 5127 больным, из них оперативные вмешательства были выполнены у 3626 (70,72%) больных. Этот показатель свидетельствует, на наш взгляд, о достаточно высокой оперативной активности.

Следует учитывать, что среди различных острых хирургических заболеваний многие требуют как оперативного, так и консервативного лечения. К ним можно отнести острый хо-

лецистит, интерстициальный панкреатит и ограниченные некротические формы этого заболевания, спаечную кишечную непроходимость. В то же время такие заболевания, как острый аппендицит, прободная язва желудка и двенадцатиперстной кишки, ущемленная грыжа, тромбоз и эмболия мезентериальных сосудов требуют срочного оперативного вмешательства независимо от срока заболевания и возраста пациента.

Из 5127 больных, у которых в зависимости от клинической ситуации было проведено оперативное или консервативное лечение, умерли 141 (2,75%) пациента. Согласно нашим данным, высокая летальность продолжает сохраняться при синдроме мезентериальной ишемии, прободной язве желудка и двенадцатиперстной кишки, остром некротическом панкреатите, острой кишечной непроходимости. Полученная нами из 622 больных острым панкреатитом общая летальность, равная 6,11% фактически не отражает объективно результаты лечения острой некротической формы заболевания, при которой послеоперационная летальность фактически составила 32,1%.

В заключении необходимо отметить, что экстренная хирургическая патология органов брюшной полости продолжает оставаться до настоящего времени актуальной проблемой практического здравоохранения, требующей дальнейшего снижения процента поздней госпитализации больных, разработке новых эффективных методов лечения таких опасных и тяжелых послеоперационных осложнений, как гнойный перитонит, сепсис и полиорганная недостаточность.

**Выводы**

1. Среди острых хирургических заболеваний органов брюшной полости продолжает сохраняться высокая летальность у больных острой мезентериальной ишемией, острым некротическим панкреатитом, острой кишечной непроходимостью, прободной язвой желудка и двенадцатиперстной кишки.
2. Основной причиной летальности больных острой хирургической патологией органов брюшной полости является распространенный гнойный перитонит, сепсис и полиорганная недостаточность. Все эти три осложнения являются своеобразным «треугольником смерти» в экстренной абдоминальной хирургии.

Список литературы

[1] Волков В.Е. Руководство по неотложной хирургической гастроэнтерологии / В.Е. Волков, С.В. Волков // Чебоксары: Изд-во «Перфектум», 2014. – 552 с.
[2] Кукош М.В. Острый некротический панкреатит / М.В. Кукош, М.С. Петров // Н. Новгород: Изд-во Нижегородской мед. академии, 2006. – 124 с.
[3] Banks P.A. Classification of acute pancreatitis – 2012 : Revision of the Atlanta classification and definitions by international consensus / P. Banks, T.L. Bollen, C. Dervenis et al. // Gut – 2013. – 62(I) – P. 102-111.
[4] Berger D.H. The Appendix // D.H. Berger, B.M. Jaffe. – Schwart'z Manual of Surgery. – Brunicardi F. Ch. – New York, Chicago, London, 2006. – P. 784-799.
[5] Oldenburg W.A. Acute mesenteric ishemia. A clinical Review / W.A. Oldenburg, L.L. Lau, T.T. Rodenberg, H.J. Edmonds, C.D. Burger // Arch. Intern. Med., 2004. – 164(10). – 1054-1062.
[6] Silen W. Cope's Elarly Diagnosis of the Acute Abdomen / W. Silen // New York, NY : Oxford University Press Inc; 1987; 17 :1-200.

# ЛОКАЛИЗАЦИЯ АМИНОСОДЕРЖАЩИХ СТРУКТУР В КОСТНОМ МОЗГЕ ПРИ АЛЛОПЕРЕСАДКЕ КОСТНОГО МОЗГА

**О.В. Воробьева, Л.А. Любовцева, Е.В. Любовцева**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»
*428015, Чебоксары, Московский проспект, 45, e-mail: olavorobeva@mail.ru*

**Цель исследования.** Определить содержания нейроаминов – гистамина, СТ, КА в биоаминсодержащих структурах костного мозга после аллогенной трансплантации костного мозга во временном аспекте.
**Материал и методы.** Животным в/в вводили суспензию костного мозга, полученную из бедренной кости от мыши другой линии, 0,1 мл костного мозга помещали в 1 мл физиологического раствора и тщательно размешивали. 1 мл суспензии костного мозга вводили в хвостовую вену (аллотрансплантация). Свежеприготовленные криостатные срезы обрабатывались люминесцентно-гистохимическим методом.
**Результаты и их обсуждение.** В костном мозге через 40 мин после аллогенной пересадки костного мозга число тучных и ГЛК остается сниженным в результате тотального распада тучных клеток и снижения числа люминесцирующих гранул в ГЛК с уменьшенным содержания биоаминов в них. Выявляются группы ярко люминесцирующих митотически делящихся клеток. В миелограмме резко снижается число зрелых форм лейкоцитов. Таким образом, **А**ллогенная пересадка, очевидно, вызывает супрессию синтеза биогенных аминов и распад клеток-регуляторов.
**Ключевые слова:** аллотрансплантация костного мозга, катехоламины (КА), серотонин (СТ), гистамин, гранулярные люминесцирующие клетки (ГЛК), тучные клетки (ТК).

**1. Введение.** Трансплантация костного мозга в настоящее время является актуальным методом оказания специализированной помощи людям [1, 8, 14]. Онкологические, гематологические заболевания, первичные иммунодефициты протекают с поражением кроветворной и иммунной систем. Развитие иммунной реакции в организме сопровождается значительными изменениями содержания катехоламинов (КА), серотонина (СТ), гистамин как в крови, так и в тканях [7, 9, 11]. Изменение их количества приводит к изменению скорости пролиферации и дифференцировки клеток при их созревании. Поскольку процессы клеточного созревания и дифференцировки, обеспечивающие иммунитет, начинаются в костном мозге, значительный интерес представляет исследование реакции аминосодержащих структур при аллопересадке костного мозга.

По данным многих авторов [2, 3, 4] основными клетками, содержащими биогенные амины, такие как гистамин, КА и СТ, считаются тучные клетки и ГЛК, тесно связанные с вегетативной нервной системой, ее адренергическим и парасимпатическим звеном. Эти структуры играют в организме роль трансмиттеров (передатчиков) и влияют на многие жизненные процессы [10], в том числе участвуют в местной, автономной регуляции многих органов. Их количество и степень зрелости по уровню сульфатирования закономерно меняются в ответ на изменение тканевых концентраций гистамина, КА и СТ [5, 6].

Целью нашего исследования является изучение содержания нейроаминов: гистамина, СТ, КА в биоаминсодержащих структурах костного мозга после аллогенной трансплантации костного мозга во временном аспекте.

**2. Материал и методы исследования.** Экспериментальными животными были 45 мышей, которые были разделены на 3 группы по 15 мышей в каждой. Уход и все процедуры по уходу осуществлялись по нормам и правилам обращения с лабораторными животными.

1 группа – интактные мыши.

2 группа – контрольная группа мышей, у которых изменение нейроаминов происходит до 35 мин после введения физиологического раствора в дозе 1 мл. Вследствие этого материал для изучения брали с 40 мин после введения костного мозга.

3 группа – животным в/в вводили суспензию костного мозга, полученную из бедренной кости от мыши другой линии, 0,1 мл костного мозга помещали в 1 мл физиологического рас-

твора и тщательно размешивали. 1 мл суспензии костного мозга вводили в хвостовую вену (аллотрансплантация).

Свежеприготовленные криостатные срезы обрабатывались люминесцентно-гистохимическим методом для выявления КА и СТ [12], а также на гистамин [13]. Их количественное измерение проводили на люминесцентном микроскопе ЛЮМАМ-4 с применением микрофлюориметрической насадки ФМЭЛ-1А. Полученные цифровые данные обрабатывали статистически с помощью критерия Стьюдента (t). Миелограмму исследовали в расчете на 500 клеток после окраски препаратов по Паппенгейму. Окраска по А. Унна применялась для определения состояния сульфатированности гепарина в тучных клетках.

**3. Результаты исследования и обсуждение.** При исследовании костного мозга на КА и СТ после аллогенной трансплантации костного мозга люминесценция межклеточного вещества была резко сниженной. Число тучных клеток и ГЛК было снижено до 1 – 2 на несколько полей зрения по сравнению с интактными животными.

Выявлялись округлые клетки со светящимися мелкими зернами и несветящимся бобовидным ядром, что говорит о макрофагальной природе этих клеток. Нервные волокна не выявлялись.

В мазках костного мозга при исследовании на гистамин наблюдали в некоторых местах резкое снижение диффузного свечения межклеточных пространств и основных гемопоэтических клеток, в других областях, происходило усиление люминесценции межклеточных пространств. Люминесцировали клетки эритроидного ряда, лимфоциты и ядра плазмоцитов.

ГЛК люминесцировали темно-оранжевым цветом и выявлялись в небольшом числе, полноценных клеток с хорошо заметными разнокалиберными гранулами было 1 – 2 на весь препарат, однако обнаруживались клетки, у которых люминесцировали 2 – 3 гранулы. Таких клеток было до 2-3 на одно поле зрения.

Такая же картина наблюдалась и с тучными клетками, иногда вместо клеток выявляются темно-оранжевые тени с расположенными рядом гранулами. Такие клетки не содержали свободного гистамина.

Таким образом, в костном мозге через 40 мин после аллогенной пересадки костного число тучных и ГЛК остается сниженным в результате тотального распада тучных клеток и снижения числа люминесцирующих гранул в ГЛК с уменьшенным содержания биоаминов в них. Аллогенная пересадка, очевидно, вызывает супрессию синтеза биогенных аминов и распад клеток-регуляторов.

При окраске препаратов по А. Унна гемопоэтические клетки были окрашены одинаково, не содержали сульфатированного гепарина. Тучные клетки содержали малосульфатированный гепарин, поэтому окрашены В-метахроматично. Их число не велико – 1 – 2 клетки на несколько полей зрения.

При исследовании препаратов по Паппенгейму определялись одинаковые клетки, расположенные группами, среди которых имеются митотически делящиеся. В миелограмме обнаруживалось снижение числа зрелых форм лейкоцитов.

**Выводы**

1. При аллогенной пересадке костного мозга в препаратах костного мозга снижается число биоаминсодержащих клеток (тучных клеток и ГЛК), а в них содержание биогенных аминов.
2. Выявляются группы ярко люминесцирующих митотически делящихся клеток.
3. Аллогенная пересадка костного мозга снижает сульфатированность (созревание) гепарина.

**Список литературы**

[1] Абдусаламов, С.Н. Градация интенсивности и подходы к оптимизации сопроводительной терапии при трансплантации костного мозга / С.Н. Абдусаламов, К.Н. Мелкова, Т.З. Чернявская, А.А. Афанасенков // Клиническая онкогематология. Фундаментальные исследования и клиническая практика. – 2009. – № 4. – Т. 2 . – С. 334–342.
[2] Арташян, О. С. Морфологические аспекты участия тучных клеток в формировании общего адаптационного синдрома/ О.С. Арташян, Б.Г. Юшков, Ю.С. Храмцова // Таврический медико-биологический вестник. – 2012. – Т. 15. – № 3. – С. 22–25.
[3] Бережная, Н.М. Тучные клетки и гистамин: физиологическая роль аутоадренорецепторов/ А.С. Бережная, Р.И. Сепиашвили // Аллергология и иммунология. – 2003. – Т4. – №3. – С. 29–38.
[4] Гусельникова, В. В. Происхождение тучных клеток: современное состояние проблемы/ А.П. Пронина, П.Г. Назаров, А.В. Полевщиков// Вопросы морфологии XXI века. – 2010. – Вып. 2. – С. 108–115.
[5] 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.
[6] Козлов В.А., Бусова О.С. Тучноклеточная популяция почки и почечной капсулы. – Москва, 2009. – 104 с.
[7] Любовцева, Л.А. Биоаминсодержащие структуры костного мозга при системных заболеваниях крови / Л. А. Любовцева, Е. В. Любовцева// Ж. Морфология. – 2012. – №3. – С. 95–96.
[8] Савченко, В.Г. Трансплантация костного мозга в онкогематологии/ В.Г. Савченко// Клиническая онкогематология. Фундаментальные исследования и клиническая практика. – 2010. – № 4 . – Т. 3. – С.478 – 479.
[9] Ставинская, О.А. Роль гистамина и серотонина в поддержании иммунного гомеостаза / О.А. Ставинская // Национальная конференция «Аллергология и клиническая иммунология – междисциплинарные проблемы». – Российский Аллергологический Журнал. – 2008. – №1. – С. 238–243.
[10] Abedi, M. Haematopoietic stem cells participate in muscle regeneration / M. Abedi, B.M. Foster, K.D. Wood, et al. // Br. J. Haematol. – 2007. – Vol. 138(6). – P. 792 – 801.
[11] 9. Azuma, Y. Histamine inhibits chemotaxis, phagocytosis, superoxide anion production, and the production of TNFα, and IL 12 by macrophage via H2 receptors / Y. Azuma, M. Shinohara, P. Wang // Int. Immunopharmacol. – 2001. – №9. – P. 1867–1875.
[12] Falck, B. et al. // J. Histohem. Cytochem. – 1962. – Vol. 10. – P. 348 – 354.
[13] Cross S.A.M., Ewen S.W.B., Rost E.W.D.A Stindi of the methods available for the cytochhem: cal localization of histamine by fluorescence induced with o – phthalaldehyde or acetadehude // J. Histochem. 1971. – № 6. – P. 471–476.
[14] Ringden, O. Allogeneic hematopoietic stem cell transplantation: State of the art and new perspectives / O. Ringden, K. Le Blanc // APMIS. – 2005. –Vol.113. –P. 813–30.

# БИОАМИНСОДЕРЖАЩИЕ СТРУКТУРЫ АППЕНДИКСА ПОСЛЕ АУТОТРАНСПЛАНТАЦИИ КОСТНОГО МОЗГА

**О.В. Воробьева, Л.А. Любовцева, Е.В. Любовцева**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»
*428015, Чебоксары, Московский проспект, 45*

Цель. Определить содержание нейроаминов – гистамина, серотонина, катехоламинов в биоаминсодержащих структурах аппендикса после введения собственного костного мозга. Материал и методы**.** Взятый из бедренной кости мыши 0,1 мл костного мозга помещали в 1 мл физиологического раствора и тщательно размешивали. Суспензию костного мозга вводили в хвостовую вену той же мыши. Число клеток в 1 мл суспензии было в пределах от $1{,}6x10^7$ до $2{,}1x10^8$. Криостатные срезы обрабатывали люминесцентно-гистохимическими методами. Результат: после аутотрансплантации костного мозга отмечаются выраженные изменения в содержании нейромедиаторов аппендикса — увеличивается число гранулярных люминесцирующих и тучных клеток вследствие их дегрануляции. Заключение**:** увеличение нейроаминов приводит к изменению дифференцировки лимфоцитов и фибробластов, появляются группы люминесцирующих лимфоцитов вокруг которых определяются гранулярные люминесцирующие клетки, происходит усиление митотической активности этих клеток.
**Ключевые слова:** трансплантация, аппендикс, гранулярные люминесцирующие клетки, тучные клетки

Purpose. Determine the content of Nero amines – histamine, serotonin, catecholamines bioamines appendix containing structures after the introduction of their own bone marrow. Material and methods. Taken from mouse femoral bone marrow of 0.1 ml were placed in 1 ml of physiological saline and thoroughly stirred. The suspension of bone marrow was injected into the tail vein of the same mouse. The number of cells in 1 ml of the suspension was between $1{,}6x10^7$ to $2{,}1x10^8$. Cryostat sections were treated with luminescent-histochemical methods. Result: after autologous bone marrow observed marked changes in the neurotransmitters of the appendix – an increasing number of granular luminescent and mast cells due to their degranulation. Conclusion: Increase neyroaminov leads to a change in the differentiation of lymphocytes and fibroblasts, lymphocytes luminescent groups appear around which define granular luminescent cells is enhanced mitotic activity of these cells.
**Keywords:** transplantation, appendix, granular luminescent cells, mast cells

**1. Введение.** Трансплантация костного мозга (ТКМ) – метод лечения тяжелых гематологических, онкологических и некоторых неопухолевых заболеваний, при котором больному после эрадикации (уничтожения) костномозгового кроветворения в результате воздействия сверхвысоких доз цитостатиков и лучевой терапии вводится собственный костный мозг (аутотрансплантация), взятый до начала химио- и лучевой терапии. Это позволяет за короткий срок восстановить иммунную и кроветворную системы больного [2].

По данным литературы [4], начиная с определенных доз радиации, костный мозг погибает. Однако некоторые кроветворные органы продолжают функционировать, чаще всего это аппендикс [3]. В этих случаях, пытаясь спасти пациента, ему пересаживают родственный костный мозг, который не всегда приживается. Можно предположить, что лимфоидные клетки можно изъять из своего собственного организма, например, из аппендикса. В связи с чем необходимо выяснить, какие изменения в нем происходят на уровне одного из пусковых механизмов кроветворения – биогенные амины.

По данным многих авторов [7, 9, 10] основными клетками, содержащими биогенные амины (БА), такие как гистамин, катехоламины (КА) и серотонин (СТ), считаются тучные и гранулярные люминесцирующие клетки, тесно связанные с вегетативной нервной системой, ее адренергическим и парасимпатическим звеном [7]. Эти структуры по данным многих авторов являются местными регуляторами процессов, происходящих в кроветворных и др. органах, в том числе, иммунной системы [5, 6].

**Целью** исследования явилось изучение влияния аутотрансплантации костного мозга на структуры, выполняющие нейроаминную регуляцию аппендикса.

**2. Материал и методы исследования.** Работа была выполнена на 90 белых мышах-самках, массой 50-60г, которые, в свою очередь, были разделены на три группы:

1 группа – интактные мыши без введения.

2 группа – контрольные животные, которым вводили физиологический раствор в дозе 1 мл/кг массы.

3 группа – внутривенное введение собственного костного мозга. Аппендикс извлекали под местной анестезией через 40 мин и 2 часа после введения собственного костного мозга. Животных выводили из эксперимента путем декапитации.

Взятый из бедренной кости мыши 0,1 мл костного мозга помещали в 1 мл физиологического раствора и тщательно размешивали. Суспензию костного мозга вводили в хвостовую вену той же мыши. Подсчет числа клеток производили с помощью проточного спектрофотометра «Ф-2000» с применением флуоресцеина изотиоцианата (FITC). Число клеток в 1 мл суспензии было в пределах от $1,6 \times 10^7$ до $2,1 \times 10^8$ (Томас Э.Д., 1990).

Все процедуры по уходу осуществлялись по нормам и правилам обращения с лабораторными животными. Белые мыши содержались в обычных условиях вивария, в соответствии с «Международными рекомендациями по проведению медико-биологических исследований с использованием животных» (1985), правилами лабораторной практики в Российской Федерации (приказ МЗ РФ от 19.06.2003 № 267).

**3. Материал и методы исследования**. Для решения поставленной задачи были использованы следующие методы исследования:

1. Окраска гематоксилин-эозином применялась для оценки характера воздействия собственного костного мозга на аппендикс мышей.
2. Люминесцентно-гистохимический метод Кросса с соавт. (1971) использовался для выявления тканевого гистамина.
3. Люминесцентно-гистохимический метод Фалька-Хилларпа в модификации Е.М. Крохиной (1969) применяли для выявления моноаминосодержащих структур.
4. Количественно концентрации КА, СТ, гистамина в структурах оценивались с применением микрофлуориметрической насадки к люминесцентному микроскопу ФМЭЛ-1А.
5. Проточная цитометрия – метод исследования дисперсных сред в режиме поштучного анализа элементов дисперсной фазы по сигналам светорассеяния и флуоресценции.

Представление о количественном распределении гранулярных люминесцирующих и тучных клеток дает метод подсчета их в 5 полях зрения микроскопа при увеличении объектив 40, окуляр 10.

В работе приводятся следующие показатели: М – средняя арифметическая величина содержания клеток в 5 полях зрения; м – ошибка средней арифметической величины. Различия групп определяли с помощью критерия Стьюдента.

**3. Результаты и их обсуждение.** При окраске гематоксилин – эозином срезы аппендикса имели обычную структуру. В срезах аппендикса обработанных люминесцентно-гистохимическим методом Фалька – Хилларпа на моноамины – эпителий крипт не имеет свечение, однако в этом слое определялись единичные клетки, обладающие яркой люминесценцией, имеющие большое содержание как КА, так и СТ. Эти клетки по старой классификации относили к энтерохромаффинным. В настоящее время их именуют ЕС-клетки и относят к диффузной эндокринной системе. К таким клеткам подходят адренергические нервные волоконца.

В собственной пластинке слизистой оболочки люминесцируют эластические волокна, которые здесь образуют густую узко-петлистую сеть. В t. submucose находятся лимфоидные узелки. По всему лимфоидному узелку располагаются люминесцирующие гранулярные клетки (ГЛК). В большом числе они располагаются в середине узелка и меньше их по

периферии. В зависимости от уровня среза их может быть от 47 до 89. Между лимфоидными узелками густо располагаются адренергические нервные волокна.

В t. muscularis между пучками гладко – мышечных клеток в рыхлой волокнистой соединительной ткани располагаются единичные адренергические нервные волокна, которые сопровождают единичные тучные клетки.

При исследовании аппендикса мышей на гистамин нами выявлено, что в t. mucose эпителий крипт также имеет слабую окраску, т.е. в нем обнаруживается гистамин в очень малом количестве. Между эпителиальными клетками определяются редко расположенные гистаминсодержащие энтерохромаффинные клетки (по современной классификации ECL-клетки), которых встречается от 1 до 4 на поле зрения при увеличении 400. Между криптами, в собственной пластинке слизистой оболочки выявляются люминесцирующие тучные клетки.

В t. submucose в лимфоидных узелках также определяются ГЛК, но их здесь значительно меньше в 2,3 раза, чем при предыдущем методе исследования. Также, в центре лимфоидных узелков число ГЛК больше, чем по периферии. Среди ГЛК морфологически определяются АПУД клетки, имеющие разнокалиберные гранулы, с разным содержанием аминов и дендритные макрофаги. Дендритные макрофаги имеют мелкие гранулы, одного цвета, не люминесцирующее ядро и многоотросчатую форму.

Подводя итоги по содержанию нейроаминов в аппендиксе интактных мышей, можно видеть, что наибольшее содержание КА определяется в тучных клетках, а максимальное содержания серотонина и гистамина – в ГЛК. В лимфоидных узелках аппендикса мышей между лимфоидными узелками имеется густая сеть адренергических нервных волокон.

**Люминесцентно – гистохимическая морфология аппендикса мышей через 40 минут и 2 часа после введения собственного костного мозга.** При окраске гематоксилин-эозином уже через 40 мин наблюдается изменение формы лимфоидных узелков с появлением в центре узелка макрофагов. К 2-м часам увеличивается митотическая активность лимфоцитов в центре размножения лимфоидных узелков и появлением темно- и светло-окрашенных лимфоцитов.

При люминесцентно-гистохимических методах исследования на КА и СТ через 40 мин число ГЛК как в t. mucose, так и в t. submucose осталось без изменений, по сравнению с интактными и контрольными мышами. Однако, в ГЛК собственной пластинки t. mucose содержание КА и СТ увеличилось до 6,8±0,3 и 13,8±0,4 у.е. соответственно при норме 5,1±0,1 и 10,0±0,2 у.е. Появились люминесцирующие фибробласты и группы люминесцирующих лимфоцитов.

**Таблица**

Содержание нейроаминов в структурах аппендикса через 40 минут после введения собственного костного мозга

| Структуры | Интактные мыши | | | Аутопересадка | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | КА | СТ | Г | КА | СТ | Г |
| **t. mucose** | | | | | | |
| ГЛК | 5,1±0,1 | 10±0,2 | 22,4±1,6 | 6,8±0,3 | 13,8±0,4 | ***18,6±1,8*** |
| ТК слизистой | 8,0±1,2 | 11,1±1,7 | 21,2±0,3 | **8,6±1,4** | **11,6±1,6** | ***18,1±1,6*** |
| ***t. s/mucose*** | | | | | | |
| ТК лимфоидного узелка | 3,9±0,4 | 5,8±0,6 | 13,4±0,2 | **4,9±0,5** | **6,2±0,5** | ***7,2±0,2*** |
| Внутриузелковые ГЛК | 7,1±0,5 | 10,4±1,8 | 16,2±0,7 | **8,5 ±0,3** | **12,1±0,3** | ***8,3±0,6*** |

Примечание: жирным шрифтом показано увеличение содержания веществ, жирным курсивом – уменьшение.

В лимфоидных узелках произошло увеличение числа люминесцирующих тучных клеток, и составило 8,1±0,7 при норме 5,2±0,6 и люминесцирующих ГЛК 14,1±1,1 при норме 11,4±1,1. Содержание КА и СТ в них составило 4,9±0,5 при норме 3,9±0,4 у.е. и 6,2±0,5 при

норме 5,8±0,6 у.е., т.е. имеется тенденция к увеличению этих аминов. Через 2 часа число люминесцирующих клеток не изменилось, а содержание моноаминов в них увеличилось в 1,3 раза. Через 40 минут в ГЛК содержание КА имела тенденцию к увеличению до 8,5±0,3 при норме 7,1±0,5 у.е. и СТ также имело тенденцию к повышению до 12,1±0,3 при норме 10,4±1,8 у.е. Через 2 часа в ГЛК увеличилось содержание СТ в 1,5 раза.

Через 40 минут после введения костного мозга при исследовании препаратов аппендикса на гистамин в собственной пластинке крипт увеличилось число тучных клеток до 12,9±1,2 при норме 8,0±1,2 у.е., однако, в них отмечается снижение гистамина до 18,1±1,6 при норме 21,2±0,3 у.е. Часть клеток дегранулируют. Через 2 часа здесь обнаружились мелкие компактные клетки с содержание гистамина в 2 раза меньше по сравнению с интактными животными. Около отдельных люминесцирующих групп лимфоцитов появляется прерывистая цепочка из ГЛК.

В лимфоидных узелках t. submucose через 40 минут также отмечается увеличение числа тучных клеток до 7,2±0,3 при норме 5,6±0,3 у.е., но в них происходит снижение гистамина до 7,2±0,2 при норме 13,4±0,2 у.е. Отмечается увеличение числа ГЛК внутри лимфоидного узелка до 3,5±0,9 при норме 2,0±0,9 у.е. Содержание гистамина во внутриузелковых ГЛК снизилось до 8,3±0,6 при норме 16,2±0,7 у.е. Через 2 часа число люминесцирующих диаминсодержащих ГЛК имело тенденцию к увеличению, но содержание гистамина не изменилось (Таблица).

В мышечной оболочке тучные клетки располагались в соединительной ткани между слоями групп мышечных клеток. Все они были представлены компактными формами. Число этих клеток увеличилось незначительно.

Подводя итоги, мы можем сказать, что при обработке срезов люминесцентными методам при введении собственного костного мозга мы наблюдаем изменения числа основных биоаминсодержащих клеток с изменением содержания в них нейроаминов. Известно [1,9], что ГЛК и тучные клетки продуцируют нейроамины и выделяют их в межклеточное пространство или дегрануляцией, как в тучных клетках, или снижая их продукцию, как в ГЛК. По данным [5,6,7,10] нейроамины отвечают, как за митотическую активность клеток (гистамин и серотонин), так и за их дифференцировку (серотонин). Кроме того, серотонин способствует увеличению Т-супрессоров. Вследствие этого изменение этих нейроаминов приводит к изменению как дифференцировки лимфоцитов и фибробластов [11], так и к изменению направленности дифференцировки. Появление люминесцирующих ГЛК и тучных клеток около групп лимфоцитов по данным литературы говорит об усилении митотической активности этих клеток. Происходит усиление иммунологических функций аппендикса.

**Выводы**

1. В аппендиксе мышей аминсодержащими структурами являются гранулярные люминесцирующие, тучные клетки и адренергические нервные волокна. ГЛК и тучные клетки располагаются в соединительной ткани всех оболочек, а адренергические нервные волокна в основной массе обнаруживаются между лимфоидными узелками.
2. При введении собственного костного мозга наблюдается увеличение содержания КА и СТ с одновременным снижением гистамина через 40 мин в ГЛК и тучных клетках и увеличением их числа через 2 часа.
3. Через 2 часа после введения собственного костного мозга появляются группы люминесцирующих лимфоцитов вокруг которых определяются ГЛК. Повышается митотическая активность люминесцирующих лимфоцитов.

**Список литературы**

[1] Гордон Д.С., Сергеева В.Е., Смородченко А.Т. Идентификация люминесцирующих гранулярных клеток тимуса с дендритными макрофагами. Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, 2001. – Т. 132, №7. – С. 118–120.
[2] Захарова Л.А., Петров Р.В. Медиаторы нейроиммунного взаимодействия // Итоги науки и техники. Серия: Иммунология. ВИНИТИ. – 1990. –Т.25, №2. – С. 6–47.
[3] Костиленко Ю.П., Гринь В.Г. Структурно–функциональная характеристика червеобразного отростка людей в возрастном аспекте // Мир медицины и биологии, 2012. – Т. 8, № 2. – С. 103–106.
[4] Савченко В.Г. Трансплантация костного мозга в онкогематологии // Клиническая онкогематология. Фундаментальные исследования и клиническая практика. – 2010. – Т. 3, № 4. – С. 478–479.
[5] Козлов В.А., Бусова О.С. Тучноклеточная популяция почки и почечной капсулы. – Москва, 2009. – 104 с.
[6] Козлов В.А. Локализация и состояние тканевых трансмиттерных систем в норме и эксперименте. – Москва, 2006. – 124 с.
[7] Любовцева Е. В., Любовцева Л.А. Биоаминсодержащие структуры костного мозга при системных заболеваниях крови // Морфология. – 2012. – №3. – С. 95–96.
[8] Репина В.П. Влияние различных концентраций катехоламинов на функционирование иммунокомпетентных клеток // Экология человека. – 2008. – № 2. – С. 30–33.
[9] Ставинская О.А. Роль гистамина и серотонина в поддержании иммунного гомеостаза. Национальная конференция «Аллергология и клиническая иммунология – междисциплинарные проблемы» // Российский Аллергологический журнал. – 2008. – №1. – С. 283–284.
[10] Шур В. Ю. Самотруева М.А., Мажитова М.В. Серотонин: биологические свойства и перспективы клинического применения // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 7. – С. 621–629.
[11] Яглова Н.В., Яглов В.В. Биология секреции тучных клеток // Клиническая и экспериментальная морфология. – 2012. – №4. – С. 4–9.
[12] Azuma Y., Shinohara M., Wang P. Histamine inhibits chemotaxis, phagocytosis, superoxide anion production, and the production of TNFα, and IL 12 by macrophage via H2 receptors // Int. Immunopharmacol. – 2001. – №9. – P. 1867–1875.
[13] Velazquez P., Wei B., Braun J. Surveillance B lymphocytes and mucosal immunoregulation // Immunopathol., 2005. – Vol. 26, №4. P. 453–462.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВВЕННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ СТРКУТРНЫХ КОМПОНЕНТОВ В КОНЕЧНОМ МОЗГЕ ПТИЦ

**Л.Н. Воронов[1], В.Ю. Константинов[1], В.А. Козлов[2]**

[1]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева»
428000, Чебоксары, ул. Карла Маркса, 38, lnvoronov@mail.ru
[2]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»
428015, Чебоксары, Московский проспект, 15
pooh12@yandex.ru

**1. Введение.** Изучение когнитивных способностей птиц – это подход к анализу эволюционных истоков мышления и сознания, который позволяет выявить наиболее универсальные его свойства, возникшие на разных этапах филогенеза. Оно относится к актуальным задачам сравнительной психологии и физиологии, поскольку микро- и макроструктуры мозга птиц существенно отличаются от таковых у млекопитающих и до недавнего времени рассматривались как заведомо более примитивные (Обозова, Смирнова, Зорина, 2009). Данная группа учёных выявила, что птицы, входящие в семейство вьюрковых, например, клесты-еловики способны обучаться дифференцировке множеств по относительному признаку «больше». У клестов, обладающих малопластичным кормовым поведением, но относительно высоким полушарным индексом Портмана, обнаружена способность к обобщению – одному из важнейших компонентов рассудочной деятельности. Вместе с тем, в настоящее время существует необходимость включения в круг проблем, разрабатываемым орнитологической систематикой, вопроса о значении морфологических признаков, на которых строятся представления о филогении и эволюции естественных групп (Юдин, 1970; Дзержинский, 1971, 1972; Венгеров, 2001, Калякин, 2011). Конечный мозг – это универсальный орган для систематики, так как по степени развития цитоархитектоники эволюционно старых и молодых полей можно судить о филогении птиц. Подобные работы уже привели к положительным результатам (Воронов, 2011, Воронов, Исаков 2009). Вместе с тем, продолжаются исследования путей морфологического прогресса нервных центров у высших позвоночных и в частности птиц (Богословская, Поляков, 1981; Андреева, Обухов, 1999, Воронов, 2004). Однако в этих работах не обсуждалась проблема пространственного распределения клеток. Нами были разработаны основы новой методики в статьях (Воронов, Константинов, Козлов, 2009, 2010). Полноценную методику мы представляем в данной статье.

Таким образом, сравнения структурных компонентов мозга различных экологических групп птиц сдерживалась отсутствием методик оценки взаиморасположения клеток и надклеточных структур в конечном мозге птиц.

Следует отметить, что систематика семейства вьюрковых ещё находится в стадии обсуждения. Так, в отечественной литературе принято присваивать им разный род. В английском определителе H. Heinzel, R. Fitter, J. Parslow (1995) – щегла, чижа, чечётку и зеленушку объединяют в род Carduelis. В последней сводке «Птицы России» Н. Арлотта и В. Храброго (2009) латинские названия пишут, как в отечественной литературе, а в скобках дают, как в английской.

**Актуальность исследования**. Микро- и макроструктуры мозга птиц существенно отличаются от таковых у млекопитающих. Конечный мозг вьюрковых птиц представляет исследовательский интерес, так как они обладают специализированными формами кормового поведения, могут обучаться новому песенному репертуару и способны к обобщению (Обозова, Смирнова, Зорина, 2009). Кроме того, систематика семейства вьюрковых ещё находится в стадии обсуждения, а конечный мозг – это универсальный орган для систематики, поскольку

по степени развития цитоархитектоники эволюционно старых и молодых полей можно судить о филогении птиц.

Актуальной научной задачей является выявление новых диагностических факторов для гистолого-эволюционных работ по конечному мозгу птиц. Мы считаем, что важным фактором является пространственное распределение клеток головного мозга. Так, нейроны, расположенные в головном мозгу ближе друг к другу, обмениваются между собой информацией с большей скоростью и точностью по сравнению с нейронами на больших межнейронных расстояниях. Расстояния же между клетками зависят не только от плотности распределения клеток, но и от их взаимного расположения. Кроме того, в работах различных исследователей указывается на корреляционную связь между функциями отделов мозга и пространственным распределением его клеток. Сравнение структурных компонентов мозга различных групп птиц сдерживается отсутствием методик оценки взаиморасположения клеток и надклеточных структур в конечном мозге птиц.

В этой связи **целью** нашей работы явилось проведение сравнительного анализа цитоархитектоники конечного мозга птиц семейства вьюрковых (Fringillidae) с учетом пространственного расположения клеток разных типов.

Исходя из поставленной цели исследований, для решения были выдвинуты следующие **задачи:**

1. Установить цитоархитектонические особенности полей Hyperpallium apicale (Ha), Hyperpallium densocellulare (Hd), Mesopallium (M), Nidopallium (N), Striatum laterale (StL), Globus pallidus (Gp), Arcopallium (A) конечного мозга клеста-еловика (Loxia curvirostra), щегла черноголового (Carduelis carduelis), зеленушки обыкновенной (Chloris (Carduelis) chloris), чижа (Spinus (Carduelis) spinus) и чечётки обыкновенной (Acanthis (Carduelis) flammea) по сравнению с вороной серой (Corvus (corone) coronix).
2. Изучить морфофизиологические закономерности взаимосвязи высших центров обработки информации с рассудочной деятельностью, а также особенности строения анализаторных центров эволюционно молодых, промежуточных и старых полей конечного мозга вьюрковых.
3. Разработать методику изучения пространственного распределения клеток и надклеточных структур в мозге птиц.
4. С помощью разработанной методики установить степень взаимосвязи клеточных и надклеточных структур в эволюционно молодых, промежуточных и старых полях конечного мозга вьюрковых птиц и вороны.
5. На основе изученных параметров уточнить классификацию семейства вьюрковых птиц.

Работу выполняли в 2008–2016 гг. в ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева» и ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

В работе использован конечный мозг 33 взрослых особей 6 видов птиц: зеленушки (*Chloris chloris*), клеста-еловика (*Loxia curvirostra*), обыкновенной чечетки (*Carduelis flammea*), чижа (*Spinus spinus*), щегла (*Carduelis carduelis*) и серой вороны (*Corvus cornix*) (табл. 1).

**2. Материал и методы исследования.** Для исследования использовали следующие методы:

1. *Гистологические.* После декапитации 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 «Canon Power Shot G5». Площадь контрольного поля равнялась $4{,}41\times10^{-2}$ мм$^2$. 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 мм$^2$ ткани) и площадь профильного поля (ППП) глии, нейронов и нейроглиальных комплексов (НГК); тип пространственного распределения (ПР) глии, нейронов, НГК и их всевоз-

можных пар. Тип ПР клеток устанавливался по индексам ближайшего соседа, вычисленным с учетом граничного эффекта и размеров клеток.

Клеточные элементы конечного мозга классифицировались следующим образом: 1) одиночная глия; 2) одиночный нейрон; 3) нейроглиальные комплексы: а) НГК1 (NGCI) – мелкие нейроглиальные комплексы, состоящие из 2–4 находящихся рядом глиальных клеток и нейронов; б) НГК2 (NGCII) – средние нейроглиальные комплексы из 5–10 находящихся рядом глии и нейронов; в) НГК3 (NGCIII) – крупные нейроглиальные комплексы, состоящие из более чем 11 находящихся рядом глиальных клеток и нейронов.

На микропрепаратах конечного мозга птиц исследовалось 7 основных полей конечного мозга птиц: Hyperpallium apicale (Ha), Hyperpallium densocellulare (Hd), Mesopallium (M), Nidopallium (N), Striatum laterale (StL), Globus pallidus (Gp), (A) Arcopallium. Для дифференцировки данных структур использованы атласы (Karten, Hodos, 1967; Youngren, Phillips, 1978; Kuenzel, Masson, 1988).

Определение нейронного состава конечного мозга птиц осуществлялось в соответствии с классификацией нервных клеток, окрашенных по методу Ниссля (Л. Н. Воронов, А. А. Шуканов, С. Г. Григорьев, 2003).

2. *Цитологические.* С помощью компьютерной программы собственной разработки проведены измерения площади профильного поля одиночных нейронов, глиальных клеток и нейроглиальных комплексов.

3. *Математические.* Для обработки полученных результатов исследований использовали следующие статистические методы: описательная статистика, пространственная статистика, факторный и корреляционный анализ.

*Описание методики изучения пространственного распределения клеток и надклеточных структур в мозге птиц.* По всей видимости, пространственные отношения нейронов мозга взаимосвязаны с процессами развития и направлениями путей нервных волокон (Schmitt et al., 2005). Распределение клеток внутри определённой области мозга может оказывать существенное влияние на её функцию, поскольку возможность скоординированной работы нейронных ансамблей зависит от степени их синаптической связанности. Степень связанности нейронной сети зависит от расположения нейронов. Таким образом, не только такой показатель как плотность нейронов, но и пространственное расположение определенного типа нейронов является важной характеристикой цитоархитектоники головного мозга (Arnold et al., 1997). На недостаточность характеристики цитоархитектоники определённых отделов мозга только плотностью и размерами нейронов указывалось также в работах (Asare et al., 1996; Stark et al., 2010). Так, в работе (Asare et al., 1996) было показано, что тип пространственного распределения (ПР) корковых нейронов может являться даже более информативной характеристикой по сравнению с нейронной плотностью, в силу наличия зависимости паттерна (типа ПР) нейронов со степенью когнитивной дисфункции при отсутствии такой корреляции с плотностью нейронов.

Не менее важной характеристикой цитоархитектоники головного мозга является также взаимное пространственное расположение клеток разных типов. Так, в работе (Stark et al., 2010), посвященной анализу пространственного распределения глиальных клеток вокруг нейронов различных областей неокортекса человека, отмечалось, что любое изменение в пространственном расположении глиальных клеток по отношению к нейронам может отражать функциональные изменения во взаимоотношениях между ними.

Очевидно, что нейроны, расположенные в головном мозгу ближе друг к другу, обмениваются между собой информацией с большей скоростью и точностью по сравнению с нейронами на больших межнейронных расстояниях (Schmitt et al., 2005). В работе Л.С. Богословской и Е.Л. Крушинской (1980), также указывалось, что близкое расположение клеток способствует быстрой передаче информации от возбужденного нейрона к другим клеткам.

Взаимное расположение клеток мозга в пространстве можно охарактеризовать расстоянием между произвольной парой наиболее близких клеток, которое является случайной величиной. Поэтому в качестве наиболее естественной и наглядной характеристики этого распределения целесообразно принять матрицу близости клеток изучаемого поля конечного мозга. Элементами этой матрицы являются средние наблюдаемые расстояния от центра тяжести клетки мозга определенного типа до центра ее ближайшего соседа (NND) –клетки мозга того же самого или другого типа. Матрица разброса из соответствующих стандартных отклонений наблюдаемых расстояний характеризует дисперсию этих расстояний. По матрице близости легко построить матрицу относительной близости, характеризующей типы ПР различных клеток нервной ткани. Элементами этой матрицы являются индексы ближайшего соседа (NNI) – отношения наблюдаемых NND к аналогичным расстояниям, соответствующим случайному расположению клеток в пространстве. Характеристикой, более детально описывающей ПР клеток в полях конечного мозга, является функциональная матрица близости, элементами которой являются эмпирические функции распределения расстояний до ближайшего соседа.

При необходимости более полной характеристики цитоархитектоники полей конечного мозга птиц по ПР их клеток, можно использовать матрицы относительной близости для ближайших соседей второго и более высоких порядков (Thompson, 1956) либо соответствующие функциональные матрицы. Это значительно увеличивает объем анализа данных, но не вызывает принципиальных затруднений. В целях краткости мы ограничимся лишь исследованием матриц до первого ближайшего соседа.

Тип распределения популяции клеток мозга в пространстве является ее фундаментальной характеристикой, но этот тип трудно описать в точных и значимых терминах, поскольку распределения таких популяций могут отличаться огромным разнообразием.

Кларк и Эванс (Clark, Evans, 1954) предложили использовать среднее расстояние до ближайшего соседа (NND) в качестве меры ПР особей в популяциях растений и животных и характеризовать тип изучаемого распределения путем его сравнения с типом полностью случайного распределения (CSR) множества точек в данной области. При CSR любая точка с одинаковой вероятностью может занимать любое положение в этой области и положение каждой точки не зависит от положения любой другой точки (то есть, точки не оказывают друг на друга никакого влияния). Если наблюдаемое среднее NND, равное $r_A$, оказывается меньше ожидаемого среднего NND для CSR, равного $r_E$ (NNI<1), то распределение относится к агрегированному (групповому) типу; если больше (NNI>1) – то к регулярному (разреженному); а если $r_A$ и $r_E$ равны между собой (NNI=1) – то к полностью случайному типу. При этом степень отклонения изучаемого распределения от CSR характеризуется величиной безразмерного отношения – индексом ближайшего соседа $NNI=r_A/r_E$. При случайном распределении присутствие одного индивидуума не повышает и не понижает вероятности нахождения рядом другого. При регулярном распределении эта вероятность уменьшается, при распределении группами она увеличивается (Грейг-Смит, 1967).

Позже этот метод получил распространение и в исследованиях ПР клеток в тканях живых организмов, в том числе и ПР нейронов и глиальных клеток головного мозга человека (Schmitz et al., 2002) и млекопитающих (Asare et al., 1996; Arnold et al., 1997; Schmitt et al., 2000; Maxwell et al., 2010; Stark et al., 2010).

Одним из ограничений подхода Кларка и Эванса является идеализация изучаемых особей точками. Однако точечная аппроксимация является правомерной лишь в тех случаях, когда размеры особей малы в сравнении с расстояниями между ними; при малых же расстояниях между ними такая аппроксимация может неправильно отражать пространственные отношения (Simberlof, 1979; Prentice, Werger, 1985).

Особенностью цитоархитектоники различных полей конечного мозга птиц является относительно высокая площадная доля клеток, вследствие чего их точечная аппроксимация ча-

сто оказывается неприемлемой. Поэтому для изучения их ПР необходим метод, который позволял бы отличить истинные типы распределения величин промежутков между клетками от типов распределения, вызванных только лишь структурой клеток популяции: положение центров непересекающихся клеток ограничено размерами клеток, и эти центры не могут находиться друг к другу ближе некоторого наименьшего расстояния. Таким образом, стандартные тесты на полную пространственную случайность не подходят для решения рассматриваемой проблемы, поскольку центры клеток значимого размера не могут быть даже полностью случайно распределенными (Simberlof, 1979). Поэтому для тестирования подходящей нулевой гипотезы о случайном распределении клеток с ограничением на отсутствие их наложений применялся метод моделирования Монте-Карло, учитывавший условие отсутствия пересечений (наложений) клеток с помощью ограничений, налагаемых эквивалентными диаметрами этих клеток.

Поскольку клетки, имеющие значимые размеры, не могут пересекаться, то их центры с необходимостью имеют более регулярный тип распределения по сравнению с CSR. Ожидаемое среднее значение NND для центров клеток определенного типа будет в этом случае больше, чем для CSR такого же количества точек в рассматриваемой области. Степень этого эффекта исследовалась с помощью моделирования методом Монте–Карло, для чего наблюдаемые средние NND сравнивались с полученными в результате моделирования их ожидаемыми средними значениями при справедливости нулевой гипотезы. Это позволяло установить фактическую агрегацию или регулярность распределения клеток после удаления эффекта их размеров.

Кроме того, клетки, расположенные вблизи границы рассматриваемой области, могут иметь ближайшего соседа за ее пределами. Для исключения смещения среднего NND, вызванного граничным эффектом, при его вычислении учитывались лишь NND тех клеток, ближайший сосед к которым находился ближе, чем граница (Miles, 1974).

Для анализа ПР клеток мозга использовалась специальная компьютерная программа собственной разработки. В соответствии с указанным выше алгоритмом для каждой фотографии некоторого поля определялись средние NND между центрами клеток мозга различных типов и различных пар разных типов клеток, по этим групповым средним находились общие средние по всем фотографиям, которые и являются наблюдаемыми средними NND, то есть элементами матрицы близости данного поля.

При моделировании методом Монте-Карло, с целью упрощения, клетки каждого типа заменялись эквивалентными кругами с одной и той же площадью, равной эмпирической средней ППП всех клеток данного типа на выбранной фотографии. Для каждой фотографии в прямоугольной области с площадью, равной площади этой фотографии, случайно располагались эквивалентные круги для выбранного типа клеток с ограничением, что очередной круг не может пересекаться с кругами, которые уже присутствуют, до тех пор, пока число кругов не станет равным числу клеток; то есть в соответствии с так называемым усеченным процессом Пуассона с простым последовательным исключением (Diggle et al., 1976). Затем подсчитывалась статистика – среднее NND для данного типа, и этот процесс повторялся 99 раз. Наименьшее и наибольшее из значений этой статистики дали 95% приблизительные доверительные пределы нулевой гипотезы – случайного процесса, ограниченного эффектами размера клеток, то есть условием отсутствия их пересечений. Среднее значение для всех 99 подсчитанных значений этой статистики определяло ожидаемое среднее NND для случайного распределения непересекающихся кругов в данной области и позволяло путем сравнения с эмпирическим средним NND определить значение NNI, то есть тип ПР клеток мозга рассматриваемого типа. А доля значений статистик, превышающих наблюдаемое среднее NND, позволяла оценить *P*-значение – достигнутый уровень значимости полученных выводов относительно типа ПР клеток (Barnard, 1963).

Для анализа пространственного взаимодействия (ассоциации или отдаления) между двумя разными типами клеток мозга использовались NND-тесты, в которых расстояния вычисляются между клетками 1-го и 2-го типов. Поскольку отношение быть ближайшим соседом не является взаимно обратным, то расстояния $r_{12}$ и $r_{21}$ не являются эквивалентными, что делает необходимыми тесты на ассоциацию или отталкивание каждого из этих типов клеток другим. В качестве нулевой гипотезы в таких тестах принималось положение о пространственной независимости (Perry et al., 2006). Она проверялась путем генерирования для каждой фотографии эквивалентных непересекающихся кругов двух разных диаметров с плотностями и площадями, равными плотностям и средним ППП для рассматриваемых типов клеток мозга, с пространственным распределением соответствующим случайному процессу, ограниченному эффектами размеров клеток разных типов. Ожидаемое среднее расстояние до ближайшей клетки другого типа определялось как среднее из 99 реализаций модели методом Монте–Карло. Значение NNI, определяющее тип взаимного ПР двух типов клеток мозга (ассоциация, независимость, отдаление), равнялось отношению наблюдаемой и ожидаемой средних NND до клеток другого типа. И снова *P*-значение достигнутого уровня значимости равнялось доле из 99 смоделированных средних NND, больших, чем наблюдаемое среднее NND.

Матрица близости является лишь обобщающим показателем ПР клеток мозга в среднем, но не может характеризовать все огромное разнообразие их возможных ПР. Так, разным типам распределения могут соответствовать одинаковые матрицы близости. Для более детальной характеристики ПР можно использовать функциональную матрицу близости, элементами которой являются эмпирические кумулятивные функции распределения расстояний до ближайшего соседа (NND-кумуляты) (Diggle, 1979, 1983). Для их построения все расстояния NND для каждого из различных типов (или пар типов) клеток мозга после граничной коррекции упорядочивались в порядке возрастания, а затем преобразовывались в соответствующую кумулятивную функцию распределения. Наблюдаемые кумуляты сравнивались со средними кумулятами, полученными с помощью моделирования методом Монте-Карло при условии справедливости подходящей нулевой гипотезы так, как это было описано выше. В качестве статистики, определяющей достигнутый уровень значимости, использовалось максимальное уклонение средней эмпирической кумуляты от полученной с помощью моделирования средней кумуляты, соответствующей нулевой гипотезе о случайном расположении клеток мозга при отсутствии их пересечений. Достигнутый уровень значимости находился методом Барнарда при 99 реализациях указанной модели.

Значения наблюдаемых кумулят, большие, чем соответствующие значения смоделированных кумулят, указывают на агрегацию клеток одного типа или ассоциацию клеток разных типов (избыток малых расстояний до ближайшего соседа). А значения наблюдаемых кумулят, меньшие, чем соответствующие значения смоделированных кумулят, указывают на регулярность (разреженность) расположения клеток одного типа или отталкивание клеток разных типов (недостаток малых расстояний до ближайшего соседа).

Взаимодействие различных клеток мозга, в частности их кооперация при совместной обработке информации, приводит к формированию пространственно распознаваемых структур. Обратно, пространственная структура определяет степень взаимодействия клеток. Взаимное расположение клеток мозга можно охарактеризовать с помощью кумулятивной функции распределения расстояний между центрами ближайших пар клеток. Эта функция характеризует количественное, распределения в пространстве, и показывает, как на положение некоторой клетки влияет другая клетка, наиболее близкая к ней (Diggle, 1979, 1983).

Во многих случаях это распределение достаточно охарактеризовать лишь двумя числовыми характеристиками: средним расстоянием между ближайшими соседями и его средним квадратическим отклонением (Clark, Evans, 1954). Таким образом, ПР клеток одного поля конечного мозга можно характеризовать с помощью матрицы близости и матрицы разброса,

элементами которых являются эти числовые характеристики для клеток разных типов и их различных пар. Тип ПР клеток отражает сторону, в которую сдвинуты расстояния между ближайшими соседями по отношению к случайному распределению (с учетом эффекта размера клеток в общем случае). Если эти расстояния сдвинуты в сторону сближения ближайших соседних клеток, то ПР клеток относится к агрегированному типу, если в сторону их удаления – к регулярному, а при отсутствии сдвига – к случайному. Тип ПР клеток определяется с помощью моделирования случайного распределения методом Монте-Карло и сравнения наблюдаемого и смоделированного распределения, соответствующего нулевой гипотезе о случайном распределении с учетом эффекта размеров клеток.

В работе (Simberlof, 1979) была получена следующая приближенная формула для среднего расстояния $r_E$ между центрами двух ближайших кругов заданного радиуса $d$ при их случайном распределении с плотностью на плоскости без взаимных пересечений:

$$r_E = d + \frac{e^{\rho\pi d^2}}{\sqrt{\rho}} \cdot \int_{\sqrt{2\rho\pi}d}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt. \qquad (1)$$

При $d$=0 из формулы (1) следует формула для среднего расстояния между ближайшими точками при полностью случайном распределении их на плоскости с той же плотностью $\rho$: $r_{E0} = 0{,}5/\rho^{1/2}$.

Если в формуле (1) перейти к средней площадной доле, занимаемой кругами, $\alpha = \rho\pi d^2/4$, то отношение $r_E/r_{E0}$ можно представить в виде функции только одной переменной $\alpha$:

$$\frac{r_E}{r_{E0}} = 4\sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} + e^{4\alpha} \cdot \int_{\alpha\sqrt{2\alpha}}^{\infty} \frac{e^{-t^2/2}}{\sqrt{2\pi}} dt.$$

Большинство работ по ПР клеток мозга посвящено изучению головного мозга человека. Нам известна лишь одна работа (Schmitz et. al., 2002), в которой изучалось ПР нейронов мозга мыши. В ней сделан вывод о разреженном распределении нейронов в слое V коры головного мозга мыши, который может являться неточным.

В работе (Cotter et al., 2002) сделан вывод о большей степени агрегации нейронов по сравнению с глией в зоне 9 дорсолатеральной префронтальной коры головного мозга человека. Согласно нашему исследованию, наибольшая степень кластеризации (агрегации) соответствует глии, обладающей малой средней площадной долей $\alpha$, что является следствием отличия цитоархитектоники конечного мозга птиц и слоев коры мозга человека.

Согласно результатам Старка и др., в неокортексе человека глиальные клетки кластеризуются вокруг нейронов, а нейроны проявляют тенденцию к отдалению друг от друга (Stark et al., 2010). В конечном мозге птиц также часть глиальных клеток кластеризуется вокруг нейронов, а пары глия–нейроны и нейроны–глия ассоциированы. Однако, в отличие от неокортекса человека, нейроны конечного мозга птиц распределены агрегировано, то есть тяготеют друг к другу.

Максвелл и др. выявили, что у человека нейроны в различных слоях коры мозга могут быть распределены как агрегировано или регулярно, так и случайно (Maxwell et al., 2010). Наше исследование показывает, что нейроны в различных полях конечного мозга птиц распределены агрегировано, что указывает на отличную цитоархитектонику этих полей по сравнению с корой мозга человека.

Представляет интерес изучение ПР нейронов по типам, поскольку разные типы нейронов имеют различную форму и размеры и могут иметь различные функциональные свойства. Знание ПР клеток мозга необходимо для изучения процессов глио- и нейрогенеза, которые можно представить как изменение ПР клеток в различных частях головного мозга во време-

ни. Важность исследования ПР клеток в полях конечного мозга певчих птиц связана с изучением процессов обучения (Nottebohm, 1984; Brainard, Doupe, 2002).

Имеется ряд работ, в которых указывается на наличие корреляционной зависимости между типом ПР клеток мозга и функциями головного мозга (Asare et al., 1996; Arnold et al., 1997). Это может указывать на наличие корреляций между типом ПР клеток и их функциональными свойствами, что может быть проверено электрофизиологическими и биохимическими методами. Вопросы о наличии корреляций между типами ПР клеток различных полей конечного мозга птиц и функциональными свойствами клеток, и функциями конечного мозга остаются открытыми, поскольку также не могут быть решены чисто морфологическими методами. Однако, исходя из физических соображений, весьма вероятно, что во многих случаях наличие таких корреляций будет подтверждено физиологическими и биохимическими методами.

На основании вышесказанного, нам представляется также весьма вероятным, что ПР клеток конечного мозга, расположенных в высшем интегративном центре Wulst, коррелирует с уровнем рассудочной деятельности данного вида птиц и является одним из показателей степени прогрессивности развития его головного мозга.

**3. Результаты и их обсуждение.**

*Пространственное распределение клеток и комплексов в конечном мозге изучаемых видов птиц.*

Клетки мозга расположены в среднем ближе к друг другу, чем среднее расстояние между непересекающимися случайными кругами, если наблюдаемое расстояние $r_A$ будет меньше расстояния $r_{E1}$. Поэтому индекс ближайшего соседа NNI с учетом размеров клеток мозга правильно определять по формуле $NNI=r_A/r_{E1}$. Построенная толстая линия разбивает плоскость на две части: часть расположенная ниже этой кривой соответствует агрегированному типу ПР клеток мозга, поскольку для всех точек из этой области $r_A<r_{E1}$, NNI<1, а верхняя часть регулярному типу – $r_A<r_{E1}$, NNI<1. Точки, попадающие на эту кривую или лежащие в непосредственной к ней близости, соответствуют полностью случайному распределению клеток мозга с учетом доли их площади.

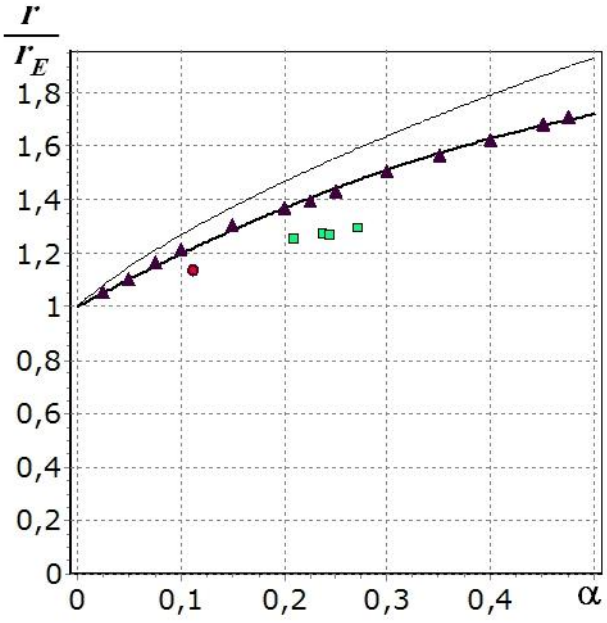



**Рис. 1.** Коэффициент увеличения среднего расстояния случайных непересекающихся кругов в зависимости от их доли площади.

Из рис. 1 следует, что ошибка неучета размера клеток мозга при определении типа ПР увеличивается с ростом их средней доли $\alpha$ и даже при $\alpha = 0,05$ составляет около 10 %. Согласно данным таблицы 1 максимальная доля глии для изучаемых видов птиц заключена в пределах $0,032\leq\alpha\leq0,043$, и эта ошибка составляет примерно 9,5 %; для нейронов – $0,049\leq\alpha\leq0,132$, и ошибка изменяется от 7 % до 25 %; для НГК $0,0015\leq\alpha\leq0,181$, а ошибка достигает наибольшей величины – около 35 %. Таким образом, уже при доле клеток мозга, превышающей 0,05, учет конечного размера клеток мозга необходим для изучения их паттернов. Поскольку $r_{E1}$ довольно быстро возрастает с ростом $\alpha$, то для непересекающихся клеток характерны регулярно (или случайно) выглядящие распределения их цен-

тров тяжести, но эта видимость может скрывать значимую агрегацию самих клеток на малых расстояниях.

На этом же рисунке представлены отношения $r_A/r_E$ для нейроглиальных комплексов поля HD конечного мозга птиц – квадратиками для разных видов вьюрковых и кружком для вороны. Все они попадают в область агрегированного типа ПР, так как расположены ниже указанной кривой. При этом NNI для вороны составляет 0,87, а индексы NNI для вьюрковых изменяются в пределах 0,86 – 0,89. Отношения $r_A/r_E$ равны индексам ближайшего соседа без учета доли площади, и как следует из рис. 1, поскольку эти отношения больше единицы, то использование индексов без учета доли площади приводит к неверному выводу о регулярном (разреженном) типе ПР комплексов в поле HD для птиц всех изучаемых видов, вместо агрегированного.

Насколько нам известно, настоящее исследование представляет собой первый анализ ПР клеток головного мозга птиц. Большинство работ по ПР клеток мозга посвящено изучению головного мозга человека. Нам известна лишь одна работа (C. Schmitz et al., 2002), в которой изучалось ПР нейронов мозга мыши. В ней сделан вывод о разреженном распределении нейронов в слое V коры головного мозга мыши, который может являться неточным. Судя по графикам, представленным в этой работе, в качестве нулевой гипотезы принималась гипотеза о CSR центров тяжести нейронов (без учета эффекта их размеров), в то время как средняя доля площади нейронов составляла около 0,4. Как следует из рис.44, среднее расстояние между случайными ближайшими непересекающимися кругами соответствующего диаметра более чем в 1,6 раза превышает среднее расстояние между ближайшими точками при CSR, а значит пренебрежение эффектами размеров нейронов могло с большой вероятностью привести к неточному выводу о регулярности ПР нейронов. Как было показано выше, даже при значительно меньших значениях $\alpha$ учет эффекта размеров нейронов может выявить агрегированный тип их ПР.

В работе D. Cotter et al. (2002) сделан вывод о большей степени агрегации нейронов по сравнению с глией в зоне 9 дорсолатеральной префронтальной коры головного мозга человека. Согласно нашему исследованию, хотя глия обладает малой долей $\alpha$, она имеет значимо ($p$<0,05) более высокую степень агрегации по сравнению с нейронами практически во всех полях конечного мозга всех изученных видов вьюрковых и вороны (рис. 2 и 3), что указывает на отличие цитоархитектоники КМ птиц и слоев коры мозга человека.

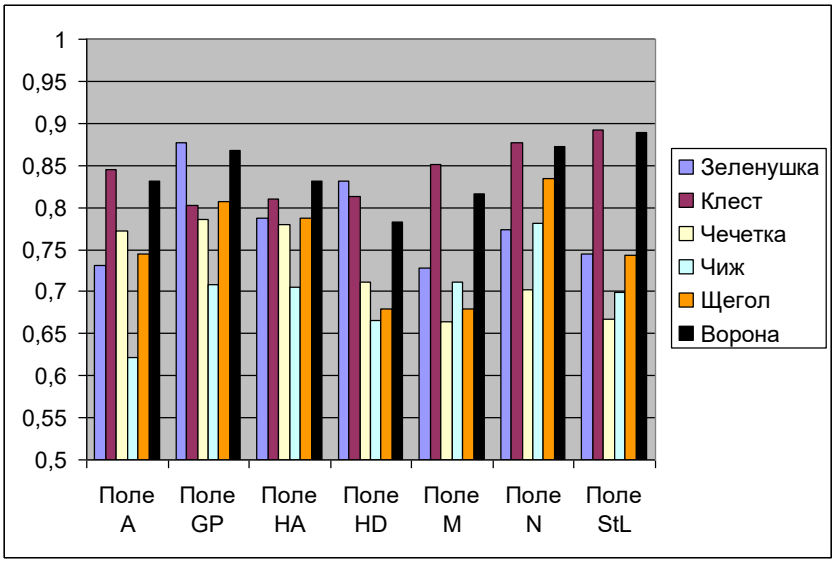



**Рис. 2.** NNI-индексы для глии в конечном мозге изученных птиц.

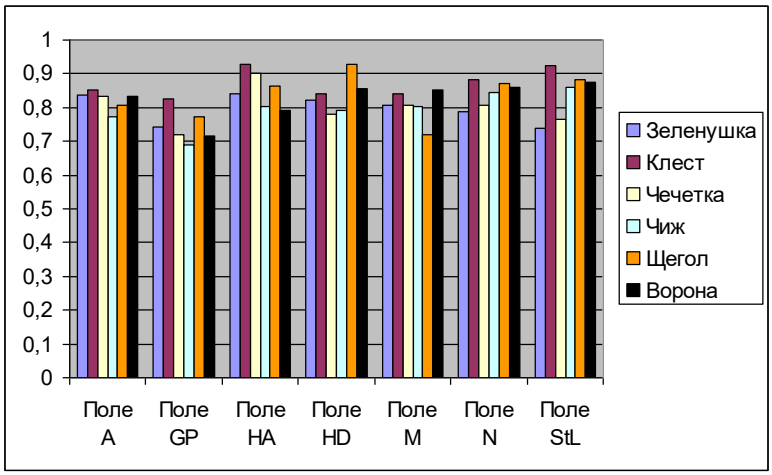



**Рис. 3.** NNI-индексы для нейронов в конечном мозге изученных птиц.

Максвелл и др. (W. L. Maxwell et al., 2010) выявили, что у человека нейроны в различных слоях коры мозга могут быть распределены как агрегированно или регулярно, так и случайно. А по данным Старка и др. (A. K. Stark et al., 2010), в неокортексе человека нейроны проявляют тенденцию к отдалению друг от друга. В отличие от неокортекса человека, нейроны различных полей КМ вьюрковых и вороны имеют тенденцию к агрегированию (рис. 3). Причем у зеленушки агрегация нейронов является значимой ($p$<0,05) во всех полях КМ кроме HD; а у клеста нейроны значимо ($p$<0,05) агрегированы во всех полях кроме N и StL; у чечетки агрегация нейронов значима в трех полях, GP, N и StL ($p$<0,05); нейроны КМ щегла значимо агрегированы в полях A, GP, N и StL ($p$<0,05); а у чижа они значимо агрегированы лишь в поле GP ($p$<0,02). В отличие от вьюрковых агрегация нейронов у вороны оказалась значимой во всех изученных полях ($p$<0,05). Таким образом, нейроны в различных полях КМ изученных птиц проявляют тенденцию к агрегированию, что является еще одним отличием цитоархитектоники полей КМ птиц и слоев коры мозга человека.

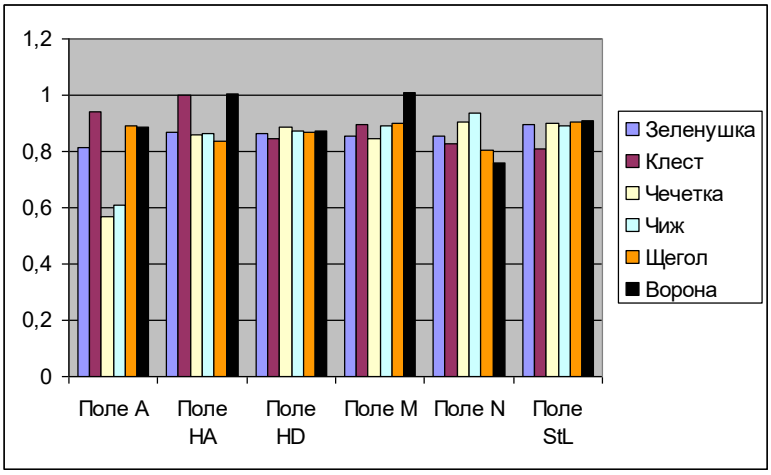



**Рис. 4.** NNI-индексы для комплексов в конечном мозге изученных птиц.

У зеленушки агрегация комплексов оказалась значимой ($p$<0,05) во всех полях кроме A и GP (рис. 4); у щегла она значима ($p$<0,05) в полях HD, M, N, и StL; у чечетки комплексы значимо агрегированы ($p$<0,02) в полях HD, M и N; а у чижа агрегация комплексов является значимой ($p$<0,05) в полях HD, M и StL; у клеста комплексы агрегированы незначимо во всех полях. У вороны агрегация комплексов является значимой ($p$<0,02) лишь в одном поле HD. Чаще комплексы значимо агрегируются в эволюционно молодых полях.

Также согласно упомянутым данным Старка и др. (A. K. Stark et al., 2010), в неокортексе человека глиальные клетки кластеризуются вокруг нейронов. Ассоциация глиальных клеток с нейронами оказалась значимой во всех полях КМ у зеленушки ($p$<0,05) и чижа ($p$<0,02); а у чечетки и щегла – во всех полях кроме GP ($p$<0,05); и лишь у клеста ($p$<0,02) – только в одном поле GP (рис. 5). У вороны глия ассоциируется с нейронами значимо ($p$<0,02) во всех изученных полях.

Ассоциация глиальных клеток с комплексами оказалась значимой у зеленушки ($p$<0,02), щегла ($p$<0,02) и чижа ($p$<0,02) лишь в одном поле A, у чечетки ($p$<0,02) – в двух полях A и N, у клеста ($p$<0,02) – в двух полях M и StL (рис. 6). У вороны глия значимо ($p$<0,02) ассоциируется с комплексами во всех изученных полях.

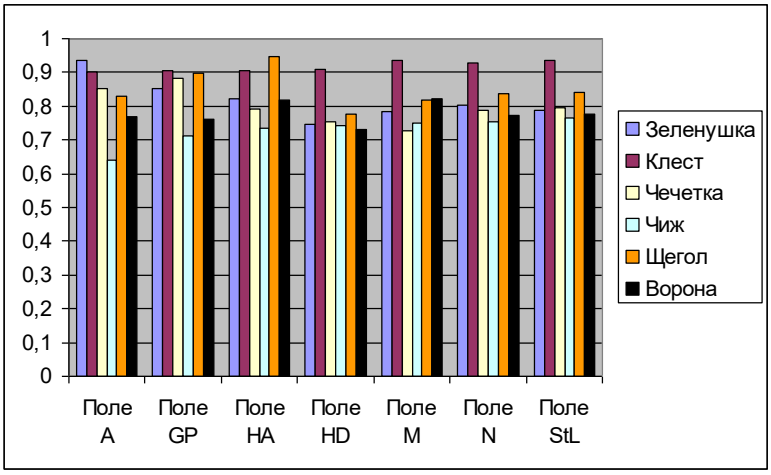



**Рис. 5.** NNI-индексы для пары глия-нейрон в конечном мозге изученных птиц.

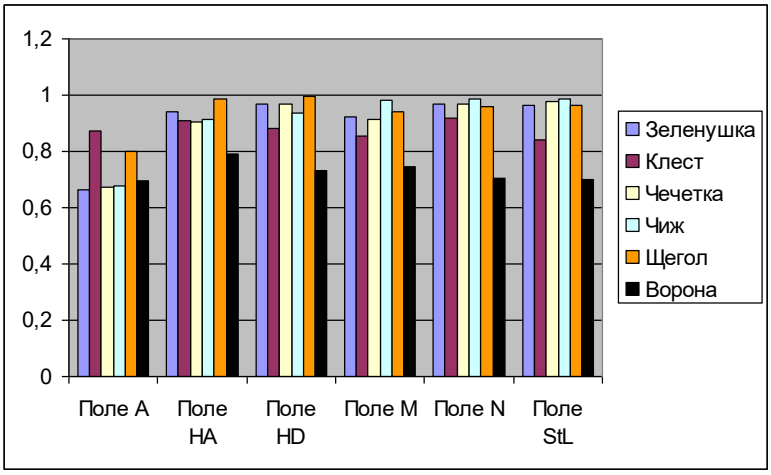



**Рис. 6.** NNI-индексы для пары глия-комплекс в конечном мозге изученных птиц.

Ассоциация нейронов с комплексами оказалась значимой у клеста ($p$<0,02) – в двух полях M и StL, у зеленушки ($p$<0,02) в двух полях A, HD, у чижа ($p$<0,02) и щегла ($p$<0,02) – лишь в поле A, а у чечетки эта ассоциация значима лишь в поле N (рис. 7). В отличие от вьюрковых, у вороны нейроны значимо ($p$<0,02) ассоциируется с комплексами во всех полях, в которых они присутствуют, причем NNI у вороны во всех этих полях (кроме поля A) заметно меньше, чем NNI всех вьюрковых.

Из таблицы 1 следует, что наименьшие индексы ассоциации глии с комплексами и нейронов с комплексами во всех изученных полях КМ птиц, кроме поля A, достигаются у вороны, что является существенным отличием в ПР клеток и надклеточных структур полей КМ у вьюрковых от их ПР у вороны.

**Таблица 1**

*Наименьшие значения по всем видам птиц NNI глии, нейронов и комплексов*

| | HA | HD | M | N | StL | GP | A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Глия | 0,71* (Чи) | 0,67* (Чи) | 0,66* (Че) | 0,70* (Че) | 0,67* (Че) | 0,71* (Чи) | 0,62* (Чи) |
| Нейроны | 0,79* (В) | 0,78 (Че) | 0,74* (Щ) | 0,79* (З) | 0,74* (З) | 0,71* (В) | 0,77* (Чи) |
| Комплексы | 0,86 (Щ) | 0,84 (К) | 0,85* (Че) | 0,76 (В) | 0,81 (К) | – | 0,57 (Че) |
| Глия – Нейрон | 0,74* (Чи) | 0,71* (Щ) | 0,73* (Че) | 0,76* (Чи) | 0,77* (Чи) | 0,71* (Чи) | 0,64* (Чи) |
| Глия – Комплекс | 0,79* (В) | 0,73* (В) | 0,74* (В) | 0,70* (В) | 0,70* (В) | – | 0,66* (З) |
| Нейрон – Комплекс | 0,71* (В) | 0,78* (В) | 0,75* (В) | 0,70* (В) | 0,70* (В) | – | 0,63* (Чи) |

Примечание: В скобках буквами обозначены следующие виды птиц: В – ворона, З – зеленушка, К – клест, Че – чечетка, Чи – чиж, Щ – щегол. Значения, помеченные * соответствуют значимым различиям ($p$<0,05).

Основное отличие пространственного расположения клеток мозга вороны, обладающей наиболее развитой рассудочной деятельностью, и вьюрковых состоит в существенной пространственной ассоциации комплексов с нейронами и глией во всех полях, что указывает на высокую степень интенсивности взаимодействия клеток мозга различного типа и является одним из показателей степени прогрессивного развития конечного мозга птиц.

Имеются работы, в которых отмечается наличие корреляционной зависимости между типом ПР клеток мозга и функциями головного мозга (E. Asare et al., 1996; S. E. Arnold et al., 1997). Это может указывать на наличие корреляций типа ПР клеток различных полей КМ птиц с функциональными свойствами клеток и с функциями этих полей. Наличие таких корреляций не может быть проверено чисто морфологическими методами. Однако, исходя из физических соображений, весьма вероятно, что во многих случаях наличие таких корреляций будет подтверждено физиологическими и биохимическими методами.

Знание ПР клеток мозга необходимо для изучения процессов глио- и нейрогенеза, которые можно представить как изменение ПР клеток в различных частях головного мозга во времени. Важность исследования ПР клеток в полях КМ певчих птиц связана также с изучением процессов обучения (M. S. Brainard, A. J. Doupe, 2002).

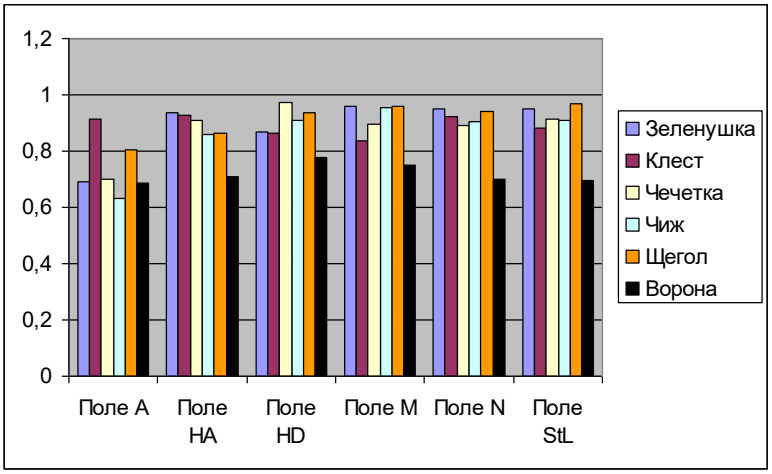



**Рис. 7.** NNI-индексы для пары нейрон-комплекс в конечном мозге изученных птиц.

Таким образом, метод изучения ПР клеток мозга является важным инструментом для гистолого-эволюционных работ, поскольку позволяет оценивать степень прогрессивности развития головного мозга птиц. Так в поле HA межклассовые расстояния «комплексы-глия» и «пирамиды-веретена» у клеста и других вьюрковых птиц меньше, чем у вороны, а расстояния «комплексы-веретена» и «звезды-веретена» больше. В зоне HD межклассовые расстояния «комплексы-глия», «комплексы-пирамиды» и «пирамиды-веретена» у клеста меньше, чем у вороны, а расстояния «звезды-веретена» и «веретена-глия» больше. В зоне M межклассовые расстояния комплексов меньше у вороны. Межклассовые расстояния «звезды-глия», «пирамиды-глия» и «веретена-глия» меньше у вороны, а расстояния «звезды-веретена» и «пирамиды-веретена» меньше у клеста. В зоне N межклассовые расстояния комплексов, глии, веретеновидных, пирамидных и звездчатых нейронов у вороны меньше, чем у клеста.

В зоне StL межклассовые расстояния комплексов, веретен, «пирамиды-глия» у вороны меньше, чем у клеста. В зоне GP межклассовые расстояния комплексов меньше у вороны, а межклассовые расстояния «звезды-глия», «звезды-веретена», «пирамиды-глия» и «пирамиды-веретена» меньше у клеста. В зоне A межклассовые расстояния глии и нейронов всех типов у клеста меньше, чем у вороны (за исключением расстояния «звезды-комплексы», которое меньше у вороны).

Межклассовое расстояние с увеличением плотности каждого из классов клеток уменьшается. При равномерном распределении клеток двух классов межклассовое расстояние должно быть обратно пропорционально корню четвертой степени из произведения плотностей клеток этих классов. По нашим данным такой зависимости не наблюдается, значит, клетки в конечном мозге изученных птиц распределены неравномерно.

Таким образом, для целей морфофизиологической диагностики с помощью сегрегации структурных компонентов наиболее подходящими оказались пары: глия-нейрон, глия-глия и

нейрон-нейрон, так как в этих парах наблюдается наибольшая изменчивость признаков во всех полях конечного мозга. В эволюционно старых полях конечного мозга изученных птиц агрегации структурных компонентов в среднем больше, чем в эволюционно молодых; особенно эти различия заметны в парах глия-комплекс и нейрон-комплекс. Метод агрегации-сегрегации клеток является действенным диагностическим инструментом для гистолого-эволюционных работ, так как у чижа – птицы с наиболее пластичным поведением – обнаруживаются наибольшие параметры агрегации. Глия характеризуется агрегированным типом пространственного распределения во всех полях; комплексы – в трёх полях; нейроны – в одном поле, а пара нейрон – глия ассоциированным типом во всех полях; показана необходимость учета доли площади клеток при изучении типа их пространственного распределения.

**Выводы**

1. Основными диагностическими факторами для гистолого-эволюционных работ следует считать удельную площадь профильного поля глии, нейронов и комплексов в эволюционно молодых полях конечного мозга птиц; дополнительным диагностическим фактором первого порядка будет удельная площадь профильного поля типов клеток птиц; дополнительным диагностическим фактором второго порядка можно считать индексы структурных компонентов в конечном мозге птиц; дополнительным диагностическим фактором третьего порядка является пространственное распределение клеток и надклеточных структур; универсальным диагностическим признаком является сравнение результатов кластерного и факторного анализов с данными индексов структурных компонентов, а также пространственное распределение клеток и надклеточных структур структурных компонентов.
2. Морфофизиологические исследования удельной площади профильного поля комплексов высших центров обработки информации в конечном мозге изученных птиц (Wulst) позволили выделить следующие морфотипы: а) зеленушка; б) чёчётка и щегол; с) чиж и клёст; д) ворона серая; в эволюционно молодом поле М, где заложена зрительно-двигательная активность, птенцовый импринтинг и обоняние выделены следующие морфотипы: а) зеленушка и ворона; б) чиж и чечётка; в) щегол; г) клёст. Наиболее скоррелированными признаками оказались показатели глии щегла и чижа.
3. В эволюционно промежуточном поле N  где расположены вторичные слуховые ядра, вокализация, контроль пищевого поведения, обработка остаточной зрительной информации выделены следующие морфотипы: а) зеленушка; б) ворона; в) чиж и чечётка; г) щегол; д) клёст. Наиболее скоррелированными показателями оказались комплексы у клеста, зеленушки и чечётки;
4. В эволюционно старых полях таких как StL где сосредоточены первичные слуховые ядра, тактильная и пространственная ориентация, память и видоспецифичное поведение выделяются следующие морфотипы: а) зеленушка; б) ворона; в) чиж и чечётка; г) щегол; д) клёст. Скоррелированными при этом являются параметры нейронов чижа и щегла, а также комплексы клеста; в поле Gp – где находятся центры регуляции инстинктов и полового поведения выделяются следующие морфотипы: а) чечетки; б) зеленушки; в) щегла; г) вороны и клеста; д) чижа. Скоррелированными признаками являются параметры нейронов вороны, щегла и чижа; в поле А – где существуют очаги агресии, зрение, пение и дыхание выделяются следующие морфотипы: а) зеленушки; б) чечётки и щегла; б) вороны; г) чижа; е) клеста. При этом наиболее скоррелирванными признаками являются комплексы чижа и клеста.
5. Для целей морфофизиологической диагностики с помощью сегрегации структурных компонентов наиболее подходящими оказались пары: глия-нейрон, глия-глия и нейрон-нейрон, так как в этих парах наблюдается наибольшая изменчивость признаков во всех полях конечного мозга.

6. В эволюционно старых полях конечного мозга изученных птиц сегрегация структурных компонентов в среднем больше, чем в эволюционно молодых; особенно эти различия заметны в парах глия-комплекс и нейрон-комплекс. Метод сегрегации клеток является действенным диагностическим инструментом для гистолого-эволюцирнных работ, так как у чижа – птицы с наиболее пластичным поведением обнаруживаются наибольшие параметры сегрегации.
7. Глия характеризуется агрегированным типом пространственного распределения во всех полях; комплексы – в трёх полях; нейроны – в одном поле, а пара нейрон – глия ассоциированным типом во всех полях; отмечено существенное влияние доли площади клеток на тип их пространственного распределения.
8. Анализируя различные классификации в семействе вьюрковых птиц, мы рекомендуем уточнение, связанное с одним из важнейшим фактором эволюции – морфологической основы сложного поведения птиц: а) род *Cloris* – зеленушка; б) род *Carduelis* – щегол и чечётка и чиж; в) род *Loxia* – клёст-еловик.

**Список литературы**

[1] Андреева Н. Г., Обухов Д. К.Эволюционная морфология нервной системы позвоночных. – СПб. : Лань, 1999. – 384 с.
[2] Арлотт Н., Храбрый В. Птицы России: Справочникопределитель. – СПб. : Амфора, 2009. – 448 с.
[3] Богословская Л. С., Поляков Г. И. Пути морфологического прогресса нервных центров у высших позвоночных. – М: Наука, 1981. – 160 с.
[4] Венгеров П. Д. Экологические закономерности изменчивости и корреляции морфологических структур птиц. – Воронеж: Издво Воронеж. гос. унта, 2001. – 247 с.
[5] Воронов Л. Н., Исаков Г. Н. Морфологичекие осбенности закладки полей конечного мозга куликов / Научноинформационный вестник докторантов, аспирантов, студентов. – Чебоксары. – 2009. – №1 (13). – С. 20–24.
[6] Воронов Л. Н, Константинов В. Ю., Козлов В. А. Компьютерная технология обработки фотографий гистологических срезов / Мат. IV междунар. науч. конф. «Наука и инновации». – Йошкар-Ола, 2009. – С. 140150.
[7] Воронов Л. Н, Константинов В. Ю., Козлов В. А. К проблеме идентификации классов нейронов головного мозга и ее автоматизации / Мат. V междунар. науч. конф. «Наука и инновации». – ЙошкарОла, 2010. – С. 248252.
[8] Воронов Л. Н. Эволюция поведения и головного мозга птиц. – Чебоксары, 2004. – 276 с.
[9] Дзержинский Ф. Я. Некоторые пути функционального анализа в морфобиологической филогенетике / Проблемы развития морфологии животных. – М. : Наука, 1982. – С. 121–128.
[10] Калякин М. В. Морфофункциональные особенности ротового аппарата певчих воробьинообразных птиц (Passeriformes) // Зоологический журнал. – 2011. – №90 (7). – С. 811834.
[11] Обозова Т. А., Смирнова А. А., Зорина З. А.Клестыеловики (*Loxia curvirostra*) способны к обобщению признака «больше» // Ж. высшей нервной деятельности. – 2009. – № 59 (3). – С. 305–312.
[12] Юдин К. А. Фауна СССР. Птицы. Т. 2. Вып. 1. Ч. 1. Филогения и классификация ржанкообразных. – Л. : Наука, 1965. – 260 с.
[13] Arnold, S. E. Further evidence of abnormal cytoarchitecture of the entorhinal cortex in schizophrenia using spatial point pattern analyses / S. E. Arnold, D. D. Ruscheinsky, L. Y. Han // Biol Psychiatry. – 1997. – №42. – P. 639–647.
[14] Asare, E. Neuronal pattern correlates with the severity of human immunodeficiency virusassociated dementia complex. Usefulness of spatial pattern analysis in clinicopathological studies / E. Asare, G. Dunn, G. Glass, J. McArthur, P. Luthert, P. Lantos // Am J Pathol. – 1996. – №148. – P. 31–38.

[15] Barnard, G. Comment on "The spectral analysis of point processes" by M. S. Bartlett / G. Barnard // J. R. Stat. Soc. B. – 1963. – №25. – P. 294.
[16] Brainard, M. S. What songbirds teach us about learning / M. S. Brainard, A. J. Doupe // Nature. – 2002. – №417. – P. 351–358.
[17] Clark, P. Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations / P. Clark, F. C. Evans // Ecology. – 1954. – №35. – P. 445–453.
[18] Cotter, D. Reduced Neuronal Size and Glial Cell Density in Area 9 of the Dorsolateral Prefrontal Cortex in Subjects with Major Depressive Disorder / D. Cotter, D. Mackay, G. Ghana, C. Beasley, S. Landau, I. P. Everall // Cerebral Cortex. – 2002. – №12. – P. 386–394.
[19] Diggle, P. J. On parameter estimation and goodnessoffit testing for spatial point patterns / P. J. Diggle // Biometrics. – 1979. – №35. – P. 87–101.
[20] Diggle, P. J. Statistical Analysis of Spatial Point Patterns / P. J. Diggle. – London : Academic Press, 1983. – 148 p.
[21] Diggle, P. J. Statistical analysis of spatial point patterns by means of distance methods / P. J. Diggle, J. Besag, J. T. Gleaves // Biometrics. – 1976. – №32. – P. 659–667.
[22] Gardi, B. Pakkenberg, U. Hahn // J Microsc. – 2010. – №242. – P. 132–147.
[23] Heinzel, H. Birds of Britain and Europe with North Africa and the Middle East / H. Heinzel, R. Fitter, J. Parslow. – London : Harper Collins, 1995. – 384 p.
[24] Kuenzel, W. J. A stereotaxic atlas of the brain of the chick (Callus domesticus) / W. J. Kuenzel, M. Masson. – Baltimore : Johns Hopkins University Press, 1988. – P. 1–124.
[25] Maxwell, W. L. Stereology of cerebral cortex after traumatic brain injury matched to the Glasgow outcome score / W. L. Maxwell, M. MacKinnon, J. E. Stewart, D. I. Graham // Brain. – 2010. – №133. – P. 139–160.
[26] Miles, R. E. On the elimination of edge effects in planar sampling / R. E. Miles // In: E. F. Harding, D. G. Kendall (eds) Stochastic Geometry. – New York : Wiley, 1974. – P. 228–247.
[27] Prentice, I. C. Clump spacing in a desert dwarf shrub community / I. C. Prentice, M. J. A. Werger // Vegetatio. – 1985. – №63. – P. 133–139.
[28] Schmitz, C. Altered spatial arrangement of layer V pyramidal cells in the mouse brain following prenatal lowdose Xirradiation / C. Schmitz, N. Grolms, P. R. Hof, R. Boehringer, J. Glaser, H. Korr // Cerebral Cortex. – 2002. – №12. – P. 954960.
[29] Perry, G. L. W. A comparison of methods for the statistical analysis of spatial point patterns in plant ecology / G. L. W. Perry, G. L. W. Miller, N. J. Enright // Plant Ecol. – 2006. – №187. – P. 59–82.
[30] Stark, A. K. The saucor, a new stereological tool for analysing the spatial distributions of cells, exemplified by human neocortical neurons and glial cells / A. K. Stark, H. J. G. Gundersen, J. E. Karten, H. J. A stereotaxic atlas of the brain of the pigeon (Columba livia) / H. J. Karten, W. Hodos. – Baltimore : Johns Hopkins University Press, 1967. – P. 1–234.
[31] Simberlof, D. Nearest neighbor assessments of spatial configurations of circles rather than points / D. Simberlof // Ecology. – 1979. – №60. – P. 1622.
[32] Schmitt, O. Topologic distribution of different types of neurons in the human putamen / O. Schmitt, R. Eggers, H. Haug // Anal Quant Cytol Histol. – 2000. – №22. – P. 155–167.
[33] Schmitt, O. Videomicroscopy, image processing, and analysis of whole
[34] histologic sections of the human brain / O. Schmitt, R. Eggers, J. Modersitzk // Microsc Res Tech. – 2005. – №66. – P. 203–218.
[35] Thompson, H. R. Distribution of distance to nth neighbour in a population of randomly distributed individuals / H. R. Thompson // Ecology. – 1956. – №37. – P. 391394.

# ВЛИЯНИЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО КРАСНОГО СВЕТА НА БИОАМИННЫЙ СТАТУС КЛЕТОЧНЫХ СТРУКТУР СЕЛЕЗЁНКИ

**О.А. Ефремова, Л.А. Любовцева, И.А. Бычкова, К.А. Сергеева, Ш.Я. Гамзалиева**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»
*428015, Чебоксары, Московский проспект, 15*
oefremova13@rambler.ru

При люминесцентно-гистохимическом исследовании селезёнки мышей выявлено, что облучение мышей монохромным красным светом увеличивает выработку биогенных аминов в гранулярных люминесцирующих клетках (ГЛК) маргинальной зоны и гистамина в ГЛК мантийной зоны и герминативного центра селезёнки и снижает содержание биогенных аминов в ГЛК красной пульпы и в тучных клетках.

**1. Введение.** В настоящее время применение монохромного красного света можно наблюдать как в медицинских учреждениях во время лечебных процедур, так и для освещения помещений. Некоторые исследователи утверждают, что красный свет стимулирует иммунитет и способен манифестировать механизмы, направленные на стимуляцию естественных киллеров опухоли, способных активировать различные системы противоопухолевой защиты, блокировать процессы пролиферации и индуцировать апоптоз опухолевых клеток [1, 7].

Исследование воздействия монохроматического спектра особенно актуально в последние годы и для космической медицины, так как человек в космосе обязательно сталкивается с облучением отдельных спектров. Влияние отдельных спектров на организм человека будет связано с перестройкой, в первую очередь, нейромедиаторной, эндокринной и иммунной систем. Установлено, что в иммунных процессах участвуют биологически активные вещества [2, 6], тканевые концентрации которых закономерно меняются в ответ внешние воздействия [3-5]. В связи с чем, изучая биологически активные вещества в структурах органов иммунитета при облучении красным светом, можно выявить механизмы его воздействия на эти органы.

Целью данной работы явилось изучение особенностей локализации биоаминсодержащих структур в селезёнке при облучении мышей светодиодным излучением длиной волны 650 нм (красный цвет).

**2. Материал и методы исследования.** Материалом гистологического исследования была селезёнка 30 мышей-самцов массой 18 гр. Животные были разделены на 2 группы: 1-я – контрольная (15), животные содержались при дневном свете в обычных условиях; 2-я – опытная (15), животные содержались в течение 7 дней с 7.30-17.00 часов при облучении их лампочкой с монохромным светодиодным излучением с длиной волны 650 нм (красный цвет). Криостатные срезы свежезамороженных органов обрабатывали люминесцентно-гистохимическим методом Фалька-Хилларпа (1969) на катехоламины и серотонин и методом Кросса (с соавт., 1971) на гистамин.

**3. Результаты исследования.** Нами при люминесцентно-гистохимическом исследовании селезёнки мышей контрольной группы обнаружены биогенные амины в ГЛК мантийной зоны, герминативного центра, маргинальной зоны, а также в ГЛК красной пульпы и в тучных клетках. По литературным данным именно ГЛК имеют значение регуляторов автономных функций лимфоидных органов на клеточном уровне [6].

В контрольной группе селезенки в маргинальной зоне по окружности лимфоидных узелков располагались крупные ГЛК, люминесцировавшие ярко-желтоватым свечением. В области мантийной зоны и в герминативном центре определялись в небольшом числе средней величины одиночные ГЛК. Они люминесцировали менее интенсивно, чем клетки маргинальной зоны. В красной пульпе в большом числе определялись ГЛК с крупными гранулами. Они

люминесцировали желто-оранжевым свечением. У некоторых из них гранулы были разнокалиберными. Часть этих ГЛК по данным Л.А. Любовцевой относятся к макрофагам, а часть к клеткам APUD-системы [6].

**Таблица 1**

Интенсивность люминесценции биогенных аминов в цитоструктурах селезёнки (у.е.)

| Цитоструктуры | Контрольная группа | | | Опытная группа (красный свет) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | КА | СТ | Г | КА | СТ | Г |
| ГЛК мантийной зоны и герминативного центра | 18,6±0,2 | 13,6±0,6 | 12,6±0,1 | 15,4±0,23* | 11,1±0,3* | 27,1±0,7* |
| Микроокружение ГЛК мантийной зоны и герминативного центра | 15,2±0,3 | 9,1±0,2 | 8,7±0,06 | 12,1±0,6* | 7,8±0,3** | 19,9±0,11* |
| ГЛК маргинальной зоны | 14±0,2 | 11,5±2,2 | 16,5±2,0 | 15,3±1,1* | 11,9±0,42* | 19,9±0,4* |
| Микроокружение ГЛК маргинальной зоны | 9,2±0,02 | 7,2±0,6 | 12,6±0,25 | 11±0,2* | 8,6±0,5* | 15,7±0,3** |
| ГЛК красной пульпы | 23,9±0,25 | 20,4±2,2 | 35,5±1,2 | 17,8±0,9* | 14,1±0,7** | 25,2±2,1* |
| Микроокружение ГЛК красной пульпы | 16,8±0,9 | 13,1±0,7 | 18,3±0,1 | 12,9±1,2* | 9,8±0,3* | 16,8±0,7** |
| Тучные клетки | 13,9±0,11 | 13,2±0,9 | 23,8±1,2 | 13,8±0,7* | 11,1±0,6** | 18,4±0,3* |
| Микроокружение тучных клеток | 8±0,07 | 7,4±0,09 | 17,6±0,14 | 10,6±0,3* | 8,1±0,12* | 13,8±0,7** |

Примечание: Г – гистамин, СТ – серотонин, КА – катехоламины.
ГЛК – гранулярные люминесцирующие клетки.
$P \le 0{,}05^{*}$ – по сравнению с контрольной группой.
$P \le 0{,}001^{**}$ – по сравнению с контрольной группой.

После семидневного облучения мышей красным светом при исследовании на гистамин выявлено, что в мантийной зоне и в герминативном центре ГЛК были также единичными. Содержание гистамина в них увеличилось в 2,1 раза. При обработке срезов на моноамины обнаружено, что содержание КА и СТ в ГЛК мантийной зоны и в герминативном центре снизилось в 1,2 раза (табл. 1). Микроокружение этих клеток содержало гистамина в 2,3 раза больше по сравнению с контролем, а содержание моноаминов, напротив, снизилось: КА – в 1,3 раза и СТ – в 1,2 раза.

В ГЛК маргинальной зоны содержание КА и СТ у мышей облученных красным светом возросло в 1 раз по сравнению с контролем, а содержание гистамина увеличилось в 1,2 раза. Микроокружение этих клеток содержало больше биогенных аминов, чем у мышей, содержавшихся при дневном свете: КА, СТ и гистамина – в 1,2 раза. (табл. 1).

Популяция ГЛК красной пульпы селезёнки мышей, облучавшихся красным светом, была немногочисленной и была представлена в основном ГЛК среднего размера. Содержание КА в них у мышей, подверженных излучению красным светом снизилось в 1,3 раза, а серотонина и гистамина в 1,4 раза. Микроокружение этих клеток содержало гистамина в 1,1 раз меньше, чем у мышей контрольной группы, а содержание КА и СТ снизилось в 1,3 раза по сравнению с контролем (табл. 1).

Тучные клетки располагались под капсулой селезенки и вдоль сосудов. У мышей, облучавшихся красным светом, содержание КА в тучных клетках имело незначительную тенденцию к снижению по сравнению с контрольной группой, содержание СТ снизилось в 1,1 раз, а гистамина – в 1,3 раза. Микроокружение этих клеток содержало гистамина в 1,3 раза меньше чем у мышей контрольной группы, а содержание моноаминов, напротив, увеличилось: КА – в 1,3 раза, а СТ – в 1,1 раз (табл. 1).

Установлено, что у мышей контрольной группы серотониновый индекс во всех цитоструктурах селезёнки был ниже единицы. У мышей, облучённых красным светом, этот показатель также был ниже единицы (табл. 2).

Таким образом, нами было установлено, что во всех цитоструктурах селезёнки у мышей контрольной и опытной групп преобладали катехоламины над серотонином, что говорит о полном контроле со стороны адренергической нервной системы. Кроме того, облучение красным спектром не изменяет соотношение СТ/КА.

**Таблица 2**

Серотониновый индекс в цитоструктурах селезёнки (у.е.)

| Цитоструктуры | Контрольная группа | Опытная группа (красный свет) |
|---|---|---|
| ГЛК мантийной зоны и герминативного центра | 0,7±0,05 | 0,7±0,3* |
| ГЛК маргинальной зоны | 0,8±0,7 | 0,7±0,4* |
| ГЛК красной пульпы | 0,8±0,11 | 0,8±0,05* |
| Тучные клетки | 0,9±1,1 | 0,7±1,2* |

ГЛК – гранулярные люминесцирующие клетки.

$P \leq 0,05^*$ – по сравнению с контрольной группой.

**Выводы**

1. Облучение мышей монохромным красным светом увеличивает выработку биогенных аминов в ГЛК маргинальной зоны и гистамина в ГЛК мантийной зоны и герминативного центра селезёнки.
2. Облучение красным светом снижает содержание биогенных аминов в ГЛК красной пульпы и в тучных клетках и повышает содержание КА и СТ в микроокружении тучных клеток.
3. У мышей контрольной группы и у мышей, облучённых красным светом, преобладающими медиаторами были катехоламины.

**Список литературы**

[1] Белан О.С. Фотомодифицированная аутогемохимиотерапия в комплексном лечении местораспространенного рака легкого: дисс…. канд. мед. наук. – Ростов-на-Дону. 2009. – 186 с.
[2] Гурьянова Е.А. Взаимодействие нейромедиаторных структур тимуса и селезёнки при иглоукалывании / Е.А. Гурьянова // Материалы конференции «Морфология клетки» – Москва, 2010. – С. 86–88.
[3] Козлов В.А., Бусова О.С. Тучноклеточная популяция почки и почечной капсулы. – Москва, 2009. – 104 с.
[4] Козлов В.А. Локализация и состояние тканевых трансмиттерных систем в норме и эксперименте. – Москва, 2006. – 124 с.
[5] Козлов В.А., Глазырина О.С., Толмачева А.Ю.Водная депривация влияет на экстранейрональный медиаторный пул почек белых крыс и почечную популяцию тучных клеток // Нефрология. – 2003. – Т. 7, № 2. – С. 76–81.
[6] Любовцева Л.А. Количественный анализ гранулярных люминесцирующих и тучных клеток в органах иммунной и не иммунной систем / Л.А. Любовцева, Н.Н. Голубцова, Е.А. Гурьянова и др. // Международный журнал по иммунореабилитации. – 2000. – Т. 2. – № 2. – С. 53.
[7] Шейко Е.А., Златник Е.Ю., Закора 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.

**УДК 612.82:616.00.1:577.112.115**

# СТРУКТУРА, БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ И ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АМИЛОИДА

**В.А. Козлов, С.П. Сапожников, А.В. Голенков, А.И. Шептухина, О.В. Николаева, Л.Ю. Ильина, Ю.В. Петрова, В.Ю. Александрова**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Московский проспект, 15
*pooh12@yandex.ru*

Рассмотрены вопросы строения, наличия биологических функций и техногенного применения амилоидов.
**Ключевые слова:** амилоид, амилоидогенез, нанотрубки, супрамолекулярная химия

We have considered the problems of structure, availability of biological functions and industrial applications of amyloid.
**Key words:** amyloid, amyloidogenesis, nanotubes, supramolecular chemistry

Впервые термин «амилоид» предложил использовать в 1854 г. Р. Вирхов, обнаружив, что откладывающееся в тканях при сальной болезни вещество, как и крахмал (amylum), окрашивается йодом в синий цвет. Белковую, а не углеводную, основу амилоида в результате электронной микроскопии амилоидных депозитов установил А.С. Кохен [14, 36].

Отложение амилоидных депозитов в тканях как основа стромально-сосудистой белковой дистрофии органов, приводящая к летальным осложнениям в результате значительного нарушения морфофункциональной структуры органов, наблюдается при многих, как врожденных, так и приобретенных состояниях. Если ранее амилоидоз, впервые описанный как сальная болезнь, считался осложнением хронических инфекционно-воспалительных заболеваний (туберкулез, сифилис, лейшманиоз) или системных коллагенозов, то сейчас становится ясным что амилоидоз более широкое явление, поскольку после установления его врожденных (наследственных) локализованных и генерализованных форм – средиземноморская болезнь, болезнь Альцгеймера, Паркинсонизм, глаукома, сахарный диабет тип II, осложнение лейкозов и некоторых форм рака – развитие более тридцати заболеваний обусловлено образованием амилоидов [28] – список заболеваний, первопричиной которых является локальное, либо генерализованное отложение амилоида в тканях, постоянно увеличивается. Более того, оказалось, что выраженное старение на финальном этапе жизни также сопровождается генерализованным амилоидозом с преимущественным поражением миокарда, кожи и кишечной трубки.

С другой стороны, относительно недавно стало понятно, что амилоид, по крайней мере, у прокариот и одноклеточных грибов (дрожжи) является физиологически необходимым, функциональным образованием, участвующим в процессах адгезии одноклеточных к поверхностям, образовании биологической пленки, структурной основой пилей и, таким образом, является фактором их выживания. Более того, высказано предположение, что у многоклеточных организмов, в том числе у людей, амилоидные белки могут являться частью врожденного иммунитета [39].

К сожалению, для большинства и практикующих врачей и исследователей Российской Федерации объем сведений об амилоидозе и амилоидах ограничен параграфом из учебника патологической анатомии и главой из учебника по терапии, которые очень далеки от современного понимания этой проблемы. Поэтому целью данной публикации является формирование интереса к данной теме на основе краткого изложения современного состояния проблемы амилоидной болезни.

**Проблема амилоидогенеза.** После того как сформировалось представление о прионовых бел ках, как ошибочном способе вторичной укладки до того вполне функционального белка, стало понятно, что прионовые белки и амилоид есть явления одного порядка [21]. Кроме того, обнаружение процессов ошибочной укладки белка, в результате которой образуется не подвергаемый протеолизу, и потому накапливающийся в тканях, белок, привело к понимаю, что белковые молекулы могут принимать несколько конформационных состояний, а их функциональность может меняться в зависимости от способа укладки. Поскольку накопление прионовых белков или амилоидов формирует тяжелые патологические процессы, вызванные фатальным нарушением функций пораженных органов, способы укладки белка, приводящие к образованию прионов или амилоидов, стали называть ошибочной укладкой – misfolding (англ., mistake – ошибка, folding – укладка), или дисфолдинг в русской аллитерации. С точки зрения классической патологии, амилоидозы и прионовые болезни являются болезнями накопления – белковыми дистрофиями. Данный тип заболеваний обусловлен тем, что прионы и амилоиды а) практически не подвергаются протеолизу, поскольку становятся недоступны ни для концевых экзопептидаз, ни для эндопептидаз, б) образовавшиеся прионы и амилоид выполняют функцию аутошаперонов (белки обеспечивающие образование правильной трехмерной конформации других белков – укладку), то есть являются аутокатализаторами патологической укладки нормальных белков. По этой причине, однажды начавшийся процесс накопления амилоида непрерывно продолжается и ускоряется, то есть, чем больше амилоида накопилось в организме, тем быстрее идет процесс его образования. Тем не менее, в литературе описаны редкие случаи амилодоклазии – спонтанного разрушения амилоидных отложений с полноценным восстановлением функции пораженного органа или органов. С одной стороны, это является основанием для поиска средств лечения амилоидозов, если самоизлечение возможно, то и возможно внешнее управление этим процессом. С другой стороны, процесс амилоидогенеза не изучен настолько, что и амилодоклазия является медицинской казуистикой, устанавливаемой постфактум по выздоровлении больного которая тем более не изучена, поскольку, вероятно, никогда не подвергалась научному медицинскому исследованию в динамике.

До сих пор остается непонятным, почему в одних случаях амилоидоз является локальным процессом, ограниченным только одним органом, либо даже небольшим участком одной ткани в этом органе, а в других – является генерализованным процессом, приводящим к повреждению многих органов и тканей. Почему это зависит от белка-предшественника амилоида – существует некая «специализация» белков-предшественников амилоида, для одних характерна способность вызывать только локальные формы, а для других – генерализованные (см. современную классификацию амилоидозов, табл.). Так же не ясно, почему вторичный амилоидоз всегда поражает только здоровые органы, а не орган, пораженный хроническим воспалительным процессом.

На наш взгляд, эти проблемы вызваны отсутствием хорошо воспроизводимых на молодых животных экспериментальных моделей амилоидоза, что мы обсуждали ранее [1, 5].

**Классификация и происхождение амилоидных белков.** Следует заметить, что классификация амилоидов далека от завершения, поскольку постоянно обнаруживаются новые амилоидогенные белки. В последней классификации (табл.), например, отсутствует белок синуклеин, для которого доказано участие в патогенезе болезни Паркинсона [29, 35, 40]. Кроме того, в классификации отсутствуют амилоиды, характерные для других видов животных, а также царств. Между тем, амилоидогенез, как наследственный, так и приобретаемый в результате хронических воспалительных заболеваний, либо вызываемый искусственно, наблюдается как у грызунов, псовых, так и приматов, что мы обсуждали ранее [5].

Амилоиды в классификации J.D. Sipe ea, (2012) обозначены как фибриллярные белки, а деление на группы основано на происхождении из белков предшественников. Как можно видеть, источником амилоидов являются самые разные, не родственные белки-

предшественники [38]. Очевидно, что источником белков-предшественников амилоидов являются клетки, поскольку белок может быть синтезирован только клеткой. Первыми клетками продуцентами амилоида были идентифицированы плазматические клетки пульпы селезенки, которые длительное время считались основными, если не единственными продуцентами амилоида. Этими же авторами был обнаружен амилоидогенез с участием купферовских клеток печени [23]. Синтез амилоида непосредственно эндотелиальными клетками сосудов обнаружили A.S. Cohen ea (1965) [14].

В настоящее время становится ясно, что пул клеток синтетиков предшественников амилоида явно значительно больше, чем клон только плазматических клеток. Белки-предшественники амилоида, особенно гормональные, такие как амилин и инсулин, например, синтезируются только высокоспециализированными β-клетками поджелудочной железы. Роль амилина в формировании амилоидоза была окончательно доказана G.J. Cooper ea (1987), выделившим его из поджелудочной железы в чистом виде, изучившим аминокислотную последовательность и идентифицировавшим образуемую амилином структуру амилоида с помощью электронной микроскопии [15]. Идентификацию амилоида из инсулина у собак с сахарным диабетом тип 2 осуществили K. Jordan ea (1990) [24]. Очевидно, что амилоид, продуцируемый при болезни Альцгеймера и паркинсонизме (α-синуклеин), продуцируется нейронами. Интересен факт полярной секреции растворимого β-амилоида культура эпителиальных клеток почки собаки, в которой более 90% предшественника β -амилоида обнаруживалось на базолатеральном полюсе этих клеток [27].

Таким образом, клоны делящихся клеток продуцентов белков-предшественников амилоида, многочисленен, а их объем может количественно меняться в зависимости от состояния организма.

**Синтез амилоида.** В настоящее время установлено, что амилоиды – супрамолекулярные трубчатые наноструктуры, образующиеся путем самосборки из богатых серином, аргинином и глутамином короткоцепочечных (39-43 аминокислотных остатка) гидрофобных фрагментов белков-предшественников – белковых мономеров. Процесс образования амилоидов и прионов осуществляется в результате нуклеированной полимеризации белковых фрагментов, предварительно принимающих конформацию полуколец с концами, смещенными друг относительно друга в плоскости. Концы этих полуколец могут взаимодействовать друг с другом по типу пазла, в результате этого процесса множество полуколец образует нанотрубку со спиральным ходом, растущую с обоих концов (см. рис. 1) [25]. Взаимодействие таких мономерных фрагментов с образованием прочной супрамолекулярной упорядоченной структуры отвечает условию минимума энергии, который достигается в результате такой самосборки [3, 11].

В процессе образования амилоида может быть выделено несколько стадий:

1) синтез белка-предшественника – на этой стадии белок выполняет собственную функцию и не является структурой амилоида;

2) происходит некая «катастрофа», вызывающая неконтролируемое увеличение синтеза белка-предшественника амилоида и появление его в нехарактерном для него месте;

3) ионная сила среды, окружающей белковую молекулу, меняется достаточным образом, для запуска амилоидогенеза – изменение конформации амилоидобразующего фрагмента белка в конформацию амилоидного β-листа;

4) образование амилоидного ядра – а) у дрожжей и бактерий участки белка, содержащие амилоидную последовательность аминокислот, под воздействием среды (возможно это обусловлено ионной силой водной среды) принимают амилоидную конформацию, после чего происходит нуклеированная полимеризация мономерных фрагментов, прикрепленные к ним фрагменты белка-предшественника, не участвующие в образовании амилоидного β-листа, располагаются по бокам от синтезирующейся нанотрубки и в последствии могут быть отделе-

**Таблица**

Амилоидные фибриллярные белки человека и их прекурсоры[a] [33]

| Фибриллярные белки | Белки-предшественники | Процесс системный и/или локализованный | Приобретенный и/или наследственный | Орган-мишень |
|---|---|---|---|---|
| AL | Легкие цепи иммуноглобулинов | С, Л | П, Н | Все органы, кроме ЦНС |
| AH | Тяжелые цепи иммуноглобулинов | С, Л | П | Все органы, кроме ЦНС |
| AA | Амилоид А сыворотки | С | П | Все органы, кроме ЦНС |
| ATTR | Транстиретин, дикий тип | С | П | Миокард в основном у мужчин. Связки, теносиновия |
| | Транстиретин, вариабельный | С | Н | Периферическая нервная система, вегетативная нервная система, миокард, глаза, паутинная мозговая оболочка |
| $A\beta_2M$ | $\beta_2$-Микроглобулин, дикий тип | Л | П | Скелетно-мышечная система |
| | $\beta_2$-Микроглобулин, вариабельный | С | Н | Вегетативная нервная система |
| AApoAI | Аполипопротеин А I, вариабельный | С | Н | Миокард, селезенка, почки. Периферическая нервная система, тестикулы, глотка (С терминальный вариант), кожа (С терминальный вариант) |
| AApoAII | Аполипопротеин А II, вариабельный | С | Н | Почки |
| AApoA-IV | Аполипопротеин А IV, дикий тип | С | П | Почечное мозговое вещество и системное поражение |
| AGel | Gelsolin, вариабельный | С | Н | Периферическая нервная система, роговица |
| ALys | Лизоцим, вариабельный | С | Н | Почки |
| ALECT2 | Фактор 2 хемотаксиса лейкоцитов | С | П | Почки, преимущественно |
| Afib | Фибриноген α, вариабельный | С | Н | Почки, преимущественно |
| ACys | Цистатин С, вариабельный | С | Н | Периферическая нервная система, кожа |
| ABri | ABriPP, вариабельный | С | Н | ЦНС |
| ADan * | ADanPP, вариабельный | Л | Н | ЦНС |
| Aβ | Aβ белок-предшественник, дикий тип | Л | П | ЦНС |
| | Aβ protein precursor, вариабельный | Л | Н | ЦНС |
| APrP | Прион, дикий тип | Л | П | Болезнь Крейтцфельда-Якоба, фатальная бессонница |
| | Прион, вариабельный | Л | Н | Болезнь Крейтцфельда-Якоба, синдром Gerstmann–Sträussler–Scheinker, фатальная бессонница |
| ACal | Кальцитонин или его предшественник | Л | П | С клеточная тиреоидная опухоль |
| AIAPP | Амилин | Л | П | Островки Лангерганса, инсулома |
| AANF | Атриальный натрийуретический | Л | П | Предсердия |
| APro | Пролактин | Л | П | Пролактинома, стареющий гипофиз |
| AIns | Инсулин | Л | П | Иатрогенный, постинъекционный локальный |
| ASPC** | Белок легочного сурфактанта | Л | П | Легкие |
| AGal7 | Galectin 7 | Л | П | Кожа |
| ACor | Корнеодесмозин | Л | П | Эпителий роговицы, волосяные фолликулы |
| AMed | Лактадерин | Л | П | Старческая аорта, медиа |
| Aker | Кератоэпителин | Л | П | Роговица, наследственная |
| ALac | Лактоферрин | Л | П | Роговица |
| AOAAP | Одонтогенный амелобласт связанный белок | Л | П | Одонтогенная опухоль |
| ASem I | Семеногелин I | Л | П | Семенные пузырьки |
| AEnf | Энфурвитид | Л | П | Ятрогенный |

[a]Белки по возможности сгруппированы по степени их родства. *ADan – продукт таких генов как ABri
** Не установлена аминокислотная последовательность.

ны от нее в результате протеолиза с высвобождением собственно амилоидной нанотрубки; б) у многоклеточных организмов и человека происходит активация —С—С— протеаз, расщепляющих белок-предшественник амилоида аномальным способом, в результате этого образуются мономерные 39-43 аминокислотные фрагменты, не имеющие на своих концах ни аминной, ни карбоксильной группы и по этой причине недоступные для экзопептидаз, высвободившиеся гидрофобные фрагменты в водной среде принимают конформацию амилоидного β-листа, который собирается в нанотрубку по механизму нуклеированной полимеризации;
5) элонгация – образовавшееся амилоидное ядро, действуя и как затравка кристаллобразования (рис. 2), и как шаперон, нарастает с обоих концов, образуя нанотрубку, которая прочно взаимодействует с внеклеточным матриксом – другими белками, углеводами, липидами, образуя в конечном итоге амилоидный депозит.

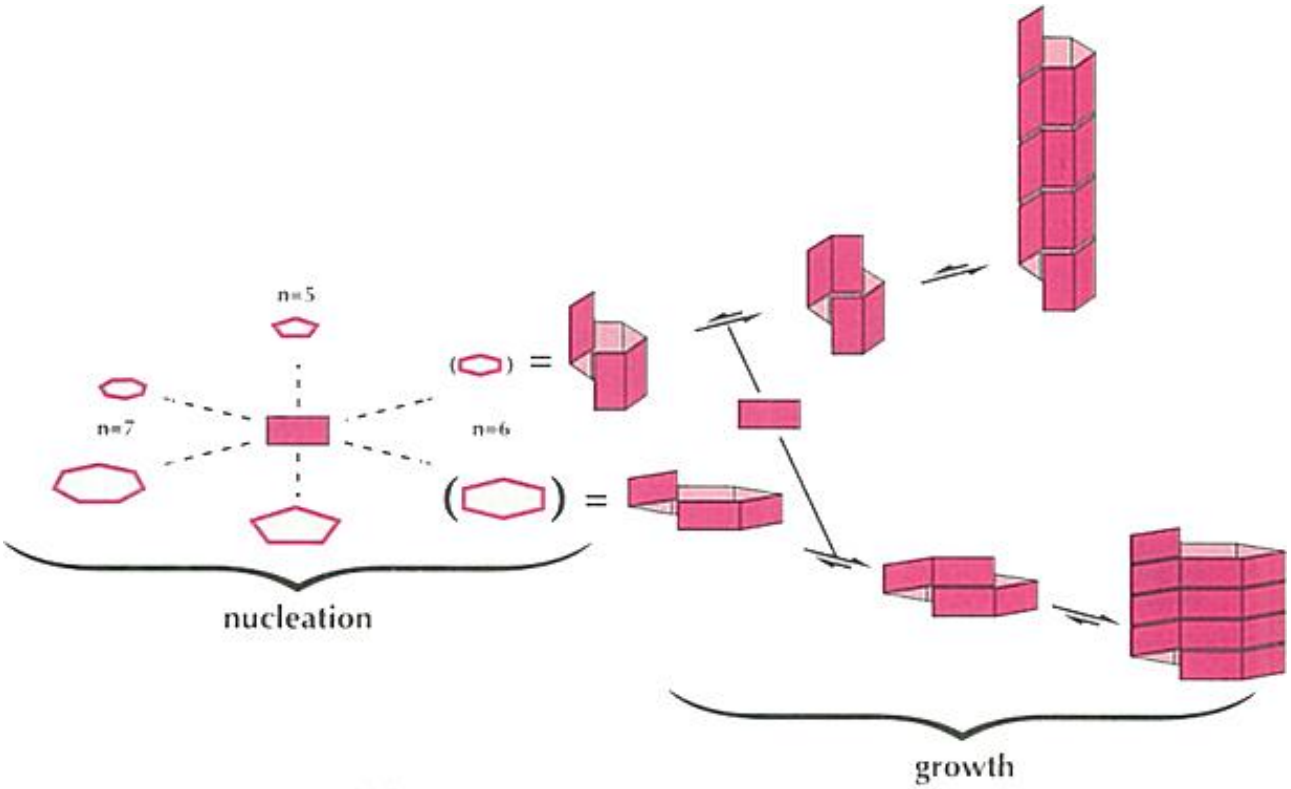
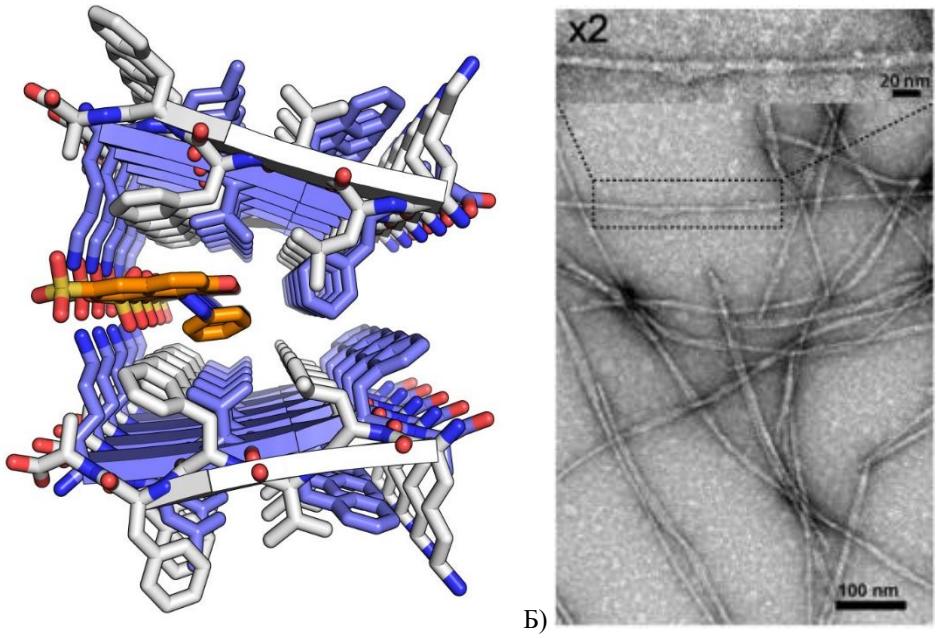



**Рис. 1.** Образование нанотрубки в результате нуклеированной полимеризации белковых мономерных фрагментов при скрепи происходит путем поочередной упаковки мономеров, имеющих различные размеры или конфигурацию ядра. Ядро может быть образовано пятью, шестью и семью мономерами. Несколько штаммов прионов могут образоваться в одном и том же животном, если различия между энергиями активации формирования различных ядер были незначительны (по P.T.Jr. Lansbury, B. Caughey, 1995).

Амилоиды формируются из специфических участков длиной по 6 аминокислот, которые оказываются на поверхности молекулы белка-предшественника в результате изменения конформации ранее правильно уложенного белка, либо непосредственно неправильного фолдинга [10]. Одна из таких последовательностей дешифрована как Гли-Асн-Асн-Глн-Глн-Асн-Тир. Эти авторы склонны думать, что такие участки есть практически у всех белков [22]. Поэтому, с одной стороны мономер Аβ42 амилоид не просто так состоит из 42 аминокислотных остатков – 6×7=42, с другой – вовсе не обязательно, что бы амилоидогенный фрагмент из 42 аминокислот обязательно входил в состав белка полностью, он может образовываться позже, как в результате эндопротеолиза по ключевым местам с последующей сборкой в амилоидную 6×7 последовательностью, так и в результате альтернативного сплайсинга матричной РНК. Конечно же есть участки генома, ответственные за синтез белков-

предшественников амилоида, в том числе и его различных изоформ, часть из которых на данный момент идентифицирована, например, ген Aβ42 амилоида, локализованный на длинном плече хромосомы 21 21q21.1 [20], однако, такие механизмы, как альтернативный сплайсинг в иммунокомпетентных клетках, например, плазматических, могут приводить к образованию амилоидных мономеров и без наличия соответствующих экспрессированных участков генома.




А) Б)

**Рис. 2.** 3D реконструкция кристаллической структуры сегмента бета-амилоида А) [31] и электронная микрофотография амилоидной нанотрубки Б) [41]

В случае приобретенного амилоидоза на фоне хронических воспалительных или гнойно-воспалительных заболеваний, как известно, образуется клон плазматических клеток, синтезируемых предшественник амилоида в больших количествах. Биологическая целесообразность этого явления долго оставалась за пределами понимания врачей и исследователей. В связи с чем, амилоид долгое время воспринимался как, пожалуй, единственный первично патологический белок, не имеющий собственной функциональности. Только с появлением супрамолекулярной химии, объяснившей процессы не ковалентного взаимодействия больших (сложных) органических молекул с малыми и неорганическими ионами и солями, стало понятным, что амилоидные фибриллы, обладающие значительной липучестью [16], могут являться своеобразными сорбентами бактериальных и других токсинов, в том числе, иммунных комплексов. При таком понимании функциональности амилоидов становится понятным, почему его предшественниками являются как иммуноглобулины, так и альбумины, по крайней мере, в эксперименте [8].

**Структура амилоида.** В связи с вышесказанным, представление об амилоиде как о белке должно уйти в прошлое. Эту структуру необходимо рассматривать как структурно и функционально самостоятельный супрамолекулярный объект, свойства которого значительно отличаются от свойств белков [4].

С точки зрения кристаллохимии амилоид представляет собой одномерный кристалл, поскольку его мономеры при сборке укладываются таким образом, что аминокислоты с одинаковыми номерами располагаются строго друг против друга. Именно это свойство позволяет замкнуться двум фрагментам в кольцо, таким образом, что точно на шаг выше и ниже связи оказываются расположенными участки для связывания последующих фрагментов (см. рис. 3). Соответственно, аминокислоты, участвующие в образовании связи также располага-

ются строго друг над другом, подобно элементам застежки молнии [32]. Закрепление мономерных участков происходит с помощью соединения между двумя контрпараллельными вторыми в цепи остатками аспарагина и пятыми остатками глутаминовой кислоты в результате образования водородной связи по наружной поверхности образуемой нанотрубки и непременно при участии $Zn^{2+}$, либо $Cd^{2+}$ [32, 34]. Кроме того, в соединении участвует остатки тирозина в седьмом положении, но не взаимопараллельно в результате стекинг-взаимодействия, а взамоперпендикулярно, то есть плоскость одного кольца тирозина расположена ребром по отношению к плоскости выше и нижерасположенных остатков тирозина. В образовании связи между остатками тирозина участвует вода [32]. Конечная форма трубки несколько зависит от последовательности аминокислот, а последняя – от белка-предшественника (рис. 3). Более того, даже единственная аминокислотная замена может резко уменьшить способность белка к образованию амилоида [9].

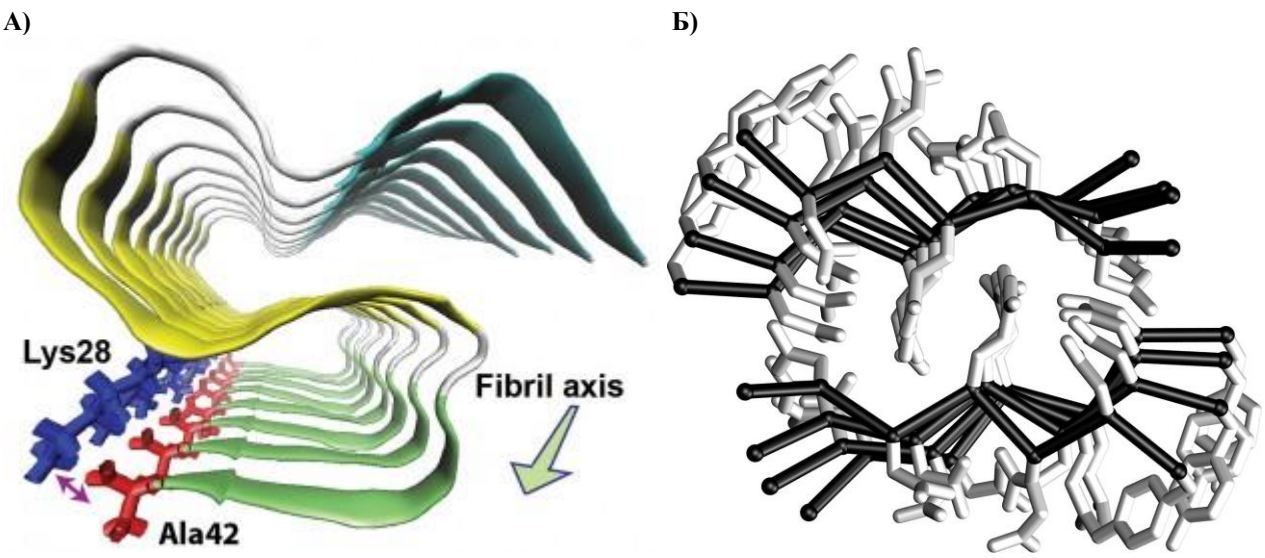



**Рис. 3.** Организация амилоидного одномерного кристалла**.** А) Схема организации соединения типа «застежка молния» при образовании β-амилоида Альцгеймеровского типа, застежку молнию образуют остатки лизина в 28-ом положении и аланина в 42-ом [41]; Б) Рассчитанная с помощью методов молекулярной динамики 3D структура нанотрубки из гексапептида Гли-Асн-Асн-Глн-Глн-Асн-Тир [17].

**Физико-химические свойства амилоида.** Аминокислотный состав амилоида: глицин – 10-17,3 моль %; аланин – 9,7-14,4; лейцин – 7,7-13,7; валин – 4,1-7,1; метионин – 1,1; цистеин – 1,5-2,9; тирозин – 2,7-3,7 моль %; триптофан; гистидин, то есть – амилоид гидрофобен [26]. Несмотря на это, воды в амилоиде 82,8 % [19]. Это противоречие объяснимо тем, что полость амилоидной нанотрубки заполнена водой.

Амилоид и крахмал одинаково окрашиваются йодом в синий цвет (с амилоидом реакция окрашиванеи хорошо происходит после травления тканей 10% раствором серной кислоты), вероятно, в связи с их трехмерной структурной общностью. Известно, что йод окрашивает крахмал в синий цвет в результате образования супрамолекулярной структуры с α-спиралью крахмала, встраиваясь внутрь ее. В результате этого молекулярный йод образует клатрат с обращенными внутрь α-спирали крахмала гидроксогруппами остатков глюкозы. При этом образуются полийодидные цепи ($I_3^-$, $I_5^-$, $I_7^-$), а длина ковалентной связи в такой полимерной молекуле йода увеличивается от 0,267 нм до 0,306 нм для каждого атома йода, образующего цепь, что смещает окраску йода в сине-фиолетовую область [12]. Это доказывается красивым опытом, когда окрашенный йодом водный раствор крахмал подвергается

нагреванию, в результате чего α-спираль переходит в линейную форму, а окраска исчезает. При быстром охлаждении (для профилактики испарения йода), раствор крахмала вновь становится синим.

Вероятно, что йод также встраивается в нанотрубку амилоида и такой комплекс имеет синий цвет. Полость амилоидной нанотрубки гидрофильна вследствие того, что β-листы мономеров амилоида подвергаются самосборке таким образом, что остатки аминокислот, содержащие гидроксильную группу, оказываются внутри трубки. По этой причине в амилоиде также может наблюдаться образование цепочек атомов йода с длиной ковалентной связи 0,306 нм.

Следующее физическое свойство амилоида – положительная анизотропия, доказывающая упорядоченность (регулярность) его молекулярной структуры, о чем говорилось выше. Кроме того, при окрашивании амилода красным Конго наблюдается двойное лучепреломление в поляризованном свете. Наличие дихроизма также доказывает кристаллическую структуру амилоида, поскольку характерен только для кристаллов, пропускающих свет в одной плоскости, и поглощающих свет, направленный под прямым углом к этой плоскости

Амилоид практически не растворим ни в кислотах, ни щелочах, и не подвергается ферментативному протеолизу. После ферментативного или неферментативного протеолиза образца ткани пораженного органа, амилоид может быть осажден растворами солей, что используется для его выделения в чистом виде.

Амилоидные нанотрубки при испытании на разрыв оказываются более прочными, чем образцы стали.

Поскольку в мономере амилоида присутствует от 38 до 42 пептидных связей, такие химические реакции, как нингидриновая и биуретовая свободно протекают с амилоидом.

**Биологическая функциональность амилоида.** Накопление сведений о строении амилоидов неизбежно вызвало интерес исследователей – не является амилоид функциональной клеточной структурой. Данную тему мы подробно обсуждали в обзоре [2.]. До настоящего времени не было обнаружено ни одного органического объекта (белка, нуклеиновой кислоты, простых органических молекул), которые образовывались бы только при патологическом процессе и запускали его. Напротив, любой объект, запускающий патогенез или непосредственно участвующий в нем на всем протяжении формирования и течения болезни, всегда является естественным физиологическим регулятором или метаболитом, и только его накопление или дефицит сопровождается болезнью. В сознании исследователей прионы и амилоиды были единственным исключением из этого правила. Считалось, что неправильный фолдинг всегда сопровождается потерей функциональности. И только недавно появились сведения, что и прионы и амилоиды являются физиологическим функциональными и структурными элементами.

Как уже упоминалось, амилоид и прионы – схожие структуры. Более того, прионы сами являются причиной амилоидогенеза у человека и др. млекопитающих. В то же время, выяснилось, что пять из восьми выявленных у дрожжей белков факторов транскрипции (Ure2, Swi1, Cyc8, Mot3 и Sfp1) являются дрожжевыми прионами и только в таком виде могут участвовать в синтезе белка у дрожжей рода *S. cerevisea* [7]. У *Escherichia coli* амилоидные фибриллы из белка предшественника *CsgA* образуют матрикс вокруг клеток – «*curli*», участвуют в образовании биопленок, клеточной адгезии и колонизации субстратов [13].

Получено достаточное большое количество сведений, что β-амилоид в головном мозге, в том числе у людей, выполняет синаптическую и защитную функцию, см. обзор А.Р. Кудинова и соавт. [6]. Более того, как оказалось, такой белок как CPEB регулирует процессы долговременной памяти [37]. Доказана регуляция синтеза меланина амилоидогенным белком PMEL [18]. Пролактин, адренокортикотропный гормон, β-эндорфин хранятся в аппарате Гольджи в виде секреторных гранул, имеющих амилоидную конформацию [30].

Таким образом, амилоиды являются не только нормальными физиологическим регуляторами и структурными элементами, но формой внутриклеточного хранения белков. Поскольку эти открытия были сделаны относительно недавно, следует ожидать обнаружения новых фактов, раскрывающих функциональность амилоидов.

**Возможные способы использования амилоида.** С развитием нанотехнологий и супрамолекулярной химии, стало понятно, что возможно промышленное производство нового класса материалов с заданными свойствами из супрамолекулярных комплексов белков, липидов и других биологически активных соединений. Такими материалами могут быть селективные для проникновения микро- и макромембраны (ультратонкие пленки), липосомы (как векторные переносчики жирорастворимых лекарственных средств), наночастицы и др. [42].

Амилоид, как супрамолекулярная структура, не подверженная гниению, кислотному, щелочному и бактериальному разложению, – является перспективной основой для разработки композитных материалов, покрытий, волокон. Поскольку он является уникальным одномерным кристаллом с дихроическими свойствами, выращенные из амилоида крупные кристаллические структуры перспективны к применению в фотонике и лазерной технике.

**Работа поддержана грантом фонда развития содействия малых форм предприятий**

**Список литературы**

[1] Козлов В.А., Сапожников С.П., Голенков А.В., Шептухина А.И., Николаева О.В. Экспериментальные модели амилоидоза как причина развития болезни Альцгеймера / В сб.: Наука сегодня: постулаты прошлого и современные теории. – Матер. II международной науч.-практ. конф. – 2015. – С. 71–74.

[2] Козлов В.А., Сапожников С.П., Голенков А.В., Шептухина А.И., Николаева О.В. Амилоид – это плохо? Амилоид с точки зрения супрамолекулярной химии // Acta Medica Eurasica. – 2016. – № 1. – С. 50–60.

[3] Козлов В.А., Сапожников С.П., Митрасов Ю.Н., Аврyйская А.А., Карышев П.Б., Шептухина А.И., Николаева О.В. Амилоид и молекулярные моторы / В сб.: Матер. Десятой международной науч. школы «Наука и инновации – 2015». – 2015. – С. 197–204.

[4] Козлов В.А., Сапожников С.П., Шептухина А.И., Голенков А.В. Параметаболизм как неспецифический модификатор супрамолекулярных взаимодействий в живых системах // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2015. – № 4 (70). – С. 397–402.

[5] Козлов В.А., Сапожников С.П., Шептухина А.И., Голенков А.В. Сравнительный анализ различных моделей амилоидоза // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2015. – № 1. – С. 5-11.

[6] Кудинов А.Р., Кудинова Н.В., Кезля Е.В., Козырев К.М., Медведев А.Е., Березов Т.Т. Компенсаторные механизмы обеспечения нейропластичности ткани мозга при альцгеймеровской нейродегенерации. I. Роль изменения биохимических свойств белка амилоид-бета // Биомедицинская химия. – 2012. – Т. 58, вып. 4. – С. 385–399.

[7] Миронова Л.М. Белковая наследственность и регуляция экспрессии генов у дрожжей рода *Saccharomyces cerevisea* // Экологическая генетика. – 2010. – Т. VIII, № 4. – С. 10–16.

[8] Патент РФ № 2572721, 05.11.2014. Козлов В.А., Сапожников С.П., Шептухина А.И., Карышев П. Б. Способ моделирования экспериментального амилоидоза у животных // Патент России № 2572721. 2014. Бюл. № 1.

[9] Asante E.A., Smidak M., Grimshaw A., Houghton R., Tomlinson A., Jeelani A., Jakubcova T., Hamdan S., Richard-Londt A., Linehan J.M., Brandner S., Alpers M., Whitfield J., Mead S., Wadsworth J.D., Collinge J. // A naturally occurring variant of the human prion protein completely

prevents prion disease. – Nature. – 2015– Vol. 522, N 7557. – P. 478–481. doi: 10.1038/nature14510.
[10] Balbirnie M., Grothe R., Eisenberg D.S. An amyloid-forming peptide from the yeast prion Sup35 reveals a dehydrated beta-sheet structure for amyloid // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2001. – Vol. 98, N 5. – P. 2375–2380.
[11] Baldwin A.J., Knowles T.P, Tartaglia G., Fitzpatrick A., Devlin G., Shammas 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] Bluhm T.L., Zugenmaier P. Detailed structure of the Vh-amylose-iodine complex: a linear polyiodine chain // Carbohydrate Research. – Vol. 89, N 1. – P. 1–10.
[13] Chapman M.R., Robinson L.S., Pinkner J.S., Roth R., Heuser J., Hammar M., Staffan N., Hultgren S.J. Role of Escherichia coli curli operons in directing amyloid fiber formation // Science. – 2002. – Vol. 295, N5556. – P. 851–855.
[14] Cohen A. S., Gross E. a. Shirahama T. The light and electron microscopic autoradiographic demonstration of local amyloid formation in spleen explants // Amer. J. Path. – 1965. – Vol. 47. – P. 1079–1111.
[15] Cooper G.J., Willis A.C., Clark A., Turner R.C., Sim R.B., Reid K.B. Purification and characterization of a peptide from amyloid-rich pancreases of type 2 diabetic patients // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1987. – Vol. 84, N 23. – P. 8628-8632.
[16] Dobson C.M. Protein misfolding, evolution and disease // Trends Biochem. Sci. – 1999. – Vol. 24, N9. – P. 329–332.
[17] Esposito L., Pedone C., Vitagliano L. Molecular dynamics analyses of cross-beta-spine steric zipper models: beta-sheet twisting and aggregation // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2006. – Vol. 103, N 31. – P. 11533–11538.
[18] Fowler D.M., Koulov A.V., Alory-Jost C., Marks M.S., Balch W.E., Kelly J.W. Functional amyloid formation within mammalian tissue // PLoS Biol. – 2006. – Vol. 4, N 1. – P. :e6. 7 p.
[19] Giles Rb. Jr., Calkins E. Studies of the composition of secondary amyloid // J. Clin. Invest. – 1955. – Vol. 34, N 9. – P. 1476–1482.
[20] Goate A., Chartier-Harlin M.C., Mullan M., Brown G., Crawford F., Fidani L., Giuffra L., Haynes A., Irving N., James L., Mant R., Newton P., Rooke K., Rogues P., Talbot C., Pericak-Vance M., Roses A., Williamson R., Rossor M., Owen M., Hardy J. Segregation of a missense mutation in the amyloid precursor protein gene with familial Alzheimer's disease // Nature. – 1991. – Vol. 349. N 6311. – P. 704–706.
[21] Goedert M. Alzheimer’s and Parkinson’s diseases: The prion concept in relation to assembled Aβ, tau, and α-synuclein // Science. – 2015. – Vol. 349, N 6248. – DOI: 10.1126/science.1255555
[22] Goldschmidt L., Teng P.K., Riek R., Eisenberg D. Identifying the amylome, proteins capable of forming amyloid-like fibrils // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2010. – Vol. 107, N 8. – P. 3487-3492. doi: 10.1073/pnas.0915166107.
[23] Gueft B., Ghidoni J.J. The site of formation and ultrastructure of amyloid // Am. J. Pathol. – 1963. – Vol. 43. P. 837–854.
[24] Jordan K., Murtaugh M.P., O'Brien T.D., Westermark P., Betsholtz C., Johnson K.H. Canine IAPP cDNA sequence provides important clues regarding diabetogenesis and amyloidogenesis in type 2 diabetes // Biochem. Biophys. Res. Commun. – 1990. – Vol. 169, N 2. – P. 502-508.
[25] Lansbury P.T.Jr., Caughey B. The chemistry of scrapie infection: implications of the 'ice 9' metaphor // Chem. Biol. – 1995. – Vol. 2, N 1. – P. 1–5.
[26] Letterer E., Gerok W., Schneider G. Comparative studies on amino acids in blood proteins, liver protein, amyloid, hyalin and collagen // Virchows Arch. – 1955. – Vol. 327, N 3. – P. 327–342.

[27] Lo A.C., Haass C., Wagner S.L., Teplow D.B., Sisodia S.S. Metabolism of the "Swedish" amyloid precursor protein variant in Madin-Darby canine kidney cells // J. Biol. Chem. 1994. Vol. 269, N 49. – P. 30966–30973.
[28] Luheshi L.V., Dobson C. M. Bridging the gap: from protein misfolding to protein misfolding diseases // FEBS Lett. – 2009. – Vol. 583, N 16. – P. 2581–2586.
[29] Luk K.C., Lee V.M. Modeling Lewy pathology propagation in Parkinson's disease // Parkinsonism Relat Disord. – 2014. – Vol. 20 (Suppl. 1). – S85–S87.
[30] Maji S.K., Perrin M.H., Sawaya M.R., Jessberger S., Vadodaria K., Rissman R.A., Singru P.S., Nilsson K.P., Simon R., Schubert D., Eisenberg D., Rivier J., Sawchenko P., Vale W., Riek R. Functional amyloids as natural storage of peptide hormones in pituitary secretory granules // Science. – 2009. – Vol. 325, N 5938. – P. 328-332. doi: 10.1126/science.1173155.
[31] Nelson R., Eisenberg D. Recent atomic models of amyloid fibril structure // Curr. Opin. Struct. Biol. –2006. – N 2. – P. 260–265.
[32] Nelson R., Sawaya M.R., Balbirnie M., Madsen A., Riekel C., Grothe R., Eisenberg D. Structure of the cross-beta spine of amyloid-like fibrils // Nature. – 2005. – Vol. 435, N 7043. – P. 773-778.
[33] Nomenclature 2014: Amyloid fibril proteins and clinical classification of the amyloidosis. Available from: https://www.researchgate.net/publication/266264803_Nomenclature_2014_Amyloid_fibril _proteins_and_clinical_classification_of_the_amyloidosis [accessed Jun 20, 2016].
[34] Perutz M.F., Johnson T., Suzuki M., Finch J.T. Glutamine repeats as polar zippers: their possible role in inherited neurodegenerative diseases // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1994. – Vol. 91, N 12. – P. 5355–5358.
[35] Recasens A., Dehay B., Bove J. et al. Lewy body extracts from Parkinson’s disease brains trigger α-synuclein pathology and neurodegeneration in mice and monkeys // Ann. Neurol. – 2014. – Vol. 75, N 3. – P. 351–362.
[36] Shirahama T., Cohens A. S. High-resolution electron microscopic. Analysis of the amyloid fibril // J. Cell. Biol. – 1967. – Vol. 33. – P. 679–708.
[37] Si K., Choi Y.B., White-Grindley E., Majumdar A., Kandel .E.R. Aplysia CPEB can form prion-like multimers in sensory neurons that contribute to long-term facilitation // Cell. – 2010. – Vol. 140, N 3. – P. 421–435. doi: 10.1016/j.cell.2010.01.008.
[38] Sipe J.D., Benson M.D., Buxbaum J.N., Ikeda S-I. Merlini G., Saraiva M.J.M., Westermark P. Amyloid fibril protein nomenclature: 2010 recommendations from the nomenclature committee of the International Society of Amyloidosis // Amyloid. – 2012. – Vol. 19. – P. 67–70.
[39] Soscia S.J., Kirby J.E., Washicosky K.J., Tucker S.M., Ingelsson M., Hyman B., Burton M.A., Goldstein L.E., Duong S., Tanzi R.E., Moir R.D. The Alzheimer’s Disease-Associated Amyloid β-Protein Is an Antimicrobial Peptide // PLoS One. – 2010. – Vol. 5, N 3. – e9505. 10 p. URL: http://journals.plos.org/plosone/article/asset?id=10.1371%2Fjournal.pone.0009505.PDF.
[40] Tran H.T., Chung C.H., Iba M., Zhang B., Trojanowski J.Q., Luk K.C., Lee V.M.Y. α-Synuclein immunotherapy blocks uptake and templated propagation of misfolded α-synuclein and neurodegeneration // Cell Rep. – 2014. – Vol. 7, N 6. – P. 2054–2065.
[41] Xiao Y., Ma B., McElheny D., Parthasarathy S., Long F., Hoshi M., Nussinov R., Ishii Y. Aβ(1-42) fibril structure illuminates self-recognition and replication of amyloid in Alzheimer's disease // Nat. Struct. Mol. Biol. – 2015. – Vol. 22, N 6. – P. 499-505. doi: 10.1038/nsmb.2991.
[42] Zaitsev S.Yu., Solovyeva D.O., Nabiev I. Thin films and assemblies of photosensitive membrane proteins and colloidal nanocrystals for engineering of hybrid materials with advanced properties // Advances in Colloid and Interface Science. – 2012. – Vol. 183-184. – P. 14–29.

**УДК 547.724.1'745 + 615.91**

# ОСТРАЯ ТОКСИЧНОСТЬ ИЗОМЕРНЫХ 4-N-НИТРОФЕНИЛ-3,5-ДИОКСО-1-ФОРМИЛ-10-ОКСА-4-АЗАТРИЦИКЛО[5.2.1$^{1.7}$.0$^{2.6}$]ДЕЦ-8-ЕНОВ

**[1]В. А. Козлов, [2]Ю. Н. Митрасов, [2]А. А. Авруйская, [2]О. М. Стапеева, [1]С. П. Сапожников, [1]Ю.В. Петрова, [1]В.Ю. Александрова, [1]А. И. Шептухина, [1]О. В. Николаева**

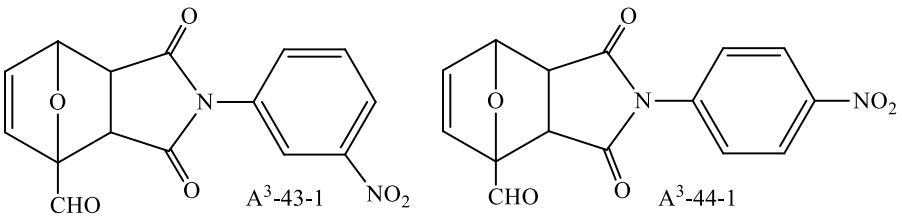
*[1]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», 428015, г. Чебоксары, Московский пр., 15*
*e-mail: pooh12@yandex.ru*
*[2]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева», 428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 38*
*e-mail: mitrasov_un@mail.ru*

Изучена острая токсичность ряда флуоресцирующих изомерных 4-N-нитрофенил-3,5-диоксо-1-формил-10-окса-4-азатрицикло[5.2.1$^{1.7}$.0$^{2.6}$]дец-8-енов, имеющих структуру и свойства молекулярных моторов, перспективные как селективные к амилоиду флуоресцентные зонды.
**Ключевые слова:** изомерные 4-N-нитрофенил-3,5-диоксо-1-формил-10-окса-4-азатрицикло[5.2.1$^{1.7}$.0$^{2.6}$]дец-8-ены, молекулярные моторы, флуоресценция, токсичность.

We have studied the acute toxicity of some fluorescent isomeric 4-N-nitrophenyl-3,5-dioxo-1-formyl-10-oxa-4-azatricyclo [5.2.1$^{1.7}$.0$^{2.6}$]dec-8-enes having the structure and properties of molecular motors, are promising as selective for amyloid fluorescent probes.
**Keywords:** isomeric 4-N-nitrophenyl-3,5-dioxo-1-formyl-10-oxa-4-azatricyclo[5.2.1$^{1.7}$.0$^{2.6}$]dec-8-enes, molecular motors, fluorescence, toxicity.

**Введение.** Ранее нами были разработаны методы синтеза [1, 2, 11; 12], изучены острая токсичность [5; 8] и флуоресцентная активность [6; 7; 9] некоторых производных 4-N-арил-3,5-диоксо-10-окса-4-азатрицикло[5.2.1$^{1.7}$.0$^{2.6}$]дец-8-енов, перспективных как пестициды [4; 10] и селективные к амилоиду флуоресцентные зонды [9]. Поскольку в результате проведения этой поисковой работы нами был создан ряд соединений данного типа с достаточно низкой токсичностью (третий – пятый класс токсичности в соответсвии с ГОСТ Р 53856-2010 «Классификация опасности химической продукции. Общие требования» [3]), интересным оказалось исследовать токсичность новых производных этого ряда, наиболее перспективных как флуоресцентные зонды к амилоиду.

**Материалы и методы.** Изомерные 4-N-нитрофенил-3,5-диоксо-1-формил-10-окса-4-азатрицикло [5.2.1$^{1.7}$.0$^{2.6}$] дец-8-ены (A$^3$-43-1 и A$^3$-44-1) были синтезированы в результате реакций соответствующих N-нитрофенилмалеинимидов с фурфуролом в среде 1,4-диоксана при 25°С. Их структура была подтверждена методами ИК и ЯМР $^1$H спектроскопии.




Спектральные характеристики препаратов показаны на рис. Они свидетельствуют о том, что интенсивность флуоресценции у данного класса соединений зависит от положения заместителя в бензольном кольце.

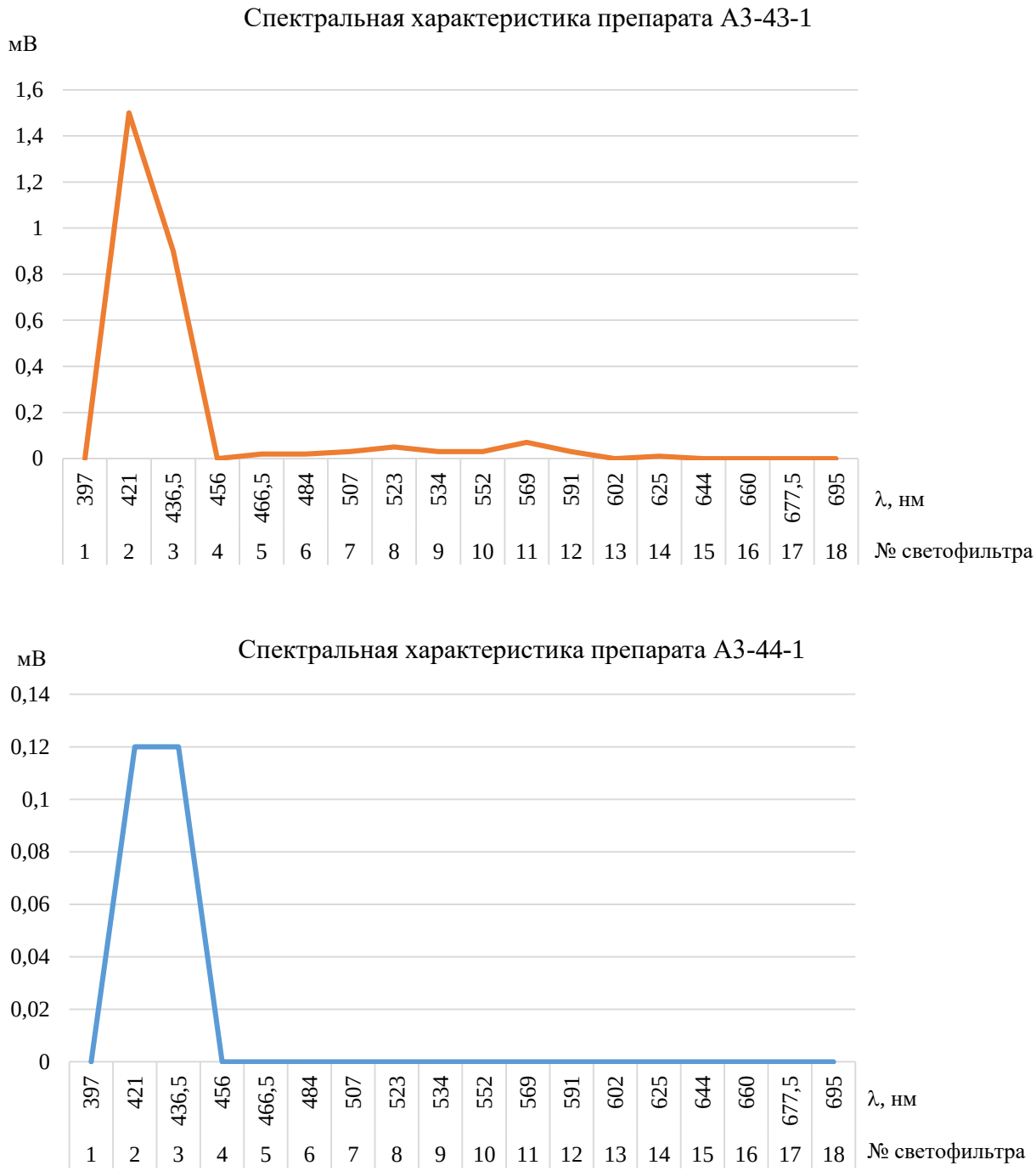



Рис. Спектральные характеристики исследуемых препаратов.

Определение $LD_{50}$ препаратов осуществляли по *Lee Blanc* [13] на крысах-самцах, массой от 110 до 126 грамм, содержащихся на стандартном рационе вивария, в двух сериях экспериментов при введении препарата *per os* в виде однородной взвеси в рафинированном подсолнечном масле, поскольку препараты малорастворимы в воде, масле и органических растворителях. Симптоматику острого отравления фиксировали в течение четырех часов после затравки. Наблюдение за состоянием подопытных крыс после затравки продолжали в течение 14 дней.

**Результаты и их обсуждение.** Через 20 мин после введения препаратов $A^3$-43-1 и $A^3$-44-1 в дозах 3,5±0,01 и 3,89±0,01 г/кг соотвественно (таблица 1) крысы принимают боковое положе-

ние, наблюдается выраженная релаксация скелетных мышц, дыхание частое. У крысы, получившей препарат $A^3$-44-1 перед принятием бовокого положения наблюдались лордозы, дрожь, постукивание зубами и потирание лапками кончика носа – симпотомы поражения центральной нервной системы. Через один час после введения у обоих крыс дыхание глубокое, редкое. Через три часа после введения препаратов у крыс полностью восстанавливается двигательная активность, никаких неврологических нарушений не наблюдается. Через четырнадцать суток после введения препаратов внешний вид подопытных крыс не отличается от контрольных. Наблюдается положительная динамика набора массы тела, как и в контроле.

После введения препаратов $A^3$-43-1 и $A^3$-44-1 в дозах 5,43±0,01 и 4,81±0,01 г/кг к двадцатой минуте периодически принимают бокове положение, наблюдается выраженная релаксация скелетных мышц. Через один час крысы находся в боковом положении, у крысы, получившей препарат $A^3$-44-1 наблюдается цианоз хвоста на протяжении примерно 40% от его конца, на внешние раздражители крыса практически не реагирует. Крыса, получившая препарат $A^3$-43-1 на внешние раздражители отвечает перемещением по клетке, в остальное время лежит на животе или на боку. Дыхание у обеих крыс редкое, поверхностное. Через 2,5 часа после введения препарата у обеих крыс наступает летальный исход.

**Таблица 1**

Результаты исследования острой токсичности препаратов

| № | Доза препарата $A^3$-43-1, г/кг | Доза препарата $A^3$-44-1, г/кг | Исход |
|---|---|---|---|
| 1 | 3,5±0,01 | 3,89±0,01 | выжили |
| 2 | 5,43±0,01 | 4,81±0,01 | падеж |
| $LD_{50}$ | 4,47±0,1 г/кг | 4,35±0,1 г/кг | – |

Таким образом, на основании полученных данных установлено, что в соотвествиии с ГОСТ Р 53856-2010 (Таблица 13 в тексте ГОСТ Р 53856-2010) [3] исследуемые вещества могут быть отнесены к пятому классу токсичности – $2000 < LD_{50} \leq 5000$ мг/кг, внутрижелудочно или накожно, то есть, малотоксичным веществам.

Для сравнения в табл. 2 представлены результаты исследования токсичности ранее полученых соединений данного типа. Наблюдавшаяся картина острого отравления исследуемыми препаратами позволяет предположить, что основной точкой приложения их действия являются подкорковые структуры головного мозга, возможно, ретикулярная формация и ствол головного мозга.

**Таблица 2**

Результаты исследования острой токсичности препаратов при введении *per os*

| Препарат | $LD_{50}$, г/кг | Ссылка |
|---|---|---|
| *n*-(4-Аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5.2.$1^{1.7}$.$0^{2.6}$]дец-8-ен-4-ил)бензойная кислота | 2,0±0,1 | [5] |
| 4-Аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло[5.2.$1^{1.7}$.$0^{2.6}$] дец-8-ен | 1,3±0,4 | [8] |

Спектральные характеристики препаратов показаны на рис. Они свидетельствуют о том, что интенсивность флуоресценции у данного класса соединений зависит от положения заместителя в фенильном кольце.

**Выводы**

1. Исследуемые изомерные 4-N-нитрофенил-3,5-диоксо-1-формил-10-окса-4-азатрицикло-[5.2.$1^{1.7}$.$0^{2.6}$]дец-8-ены в соотвествии с ГОСТ Р 53856-2010 относятся к пятому классу токсичности – малоопасных веществ, что в перспективе позволяет использовать их как биологически активные субстанции.
2. Интенсивность флуоресценции у данного класса соединений зависит от положения заместителя в бензольном кольце.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.**

**Список литературы**

1. Авруйская А.А., Митрасов Ю.Н., Козлов В.А., Полякова О.Б., Иванова О.Е., Кондратьева О.В. Конденсация производных (2,5-дигидро-2,5-диоксо-1 Н-пиррол-1-ил)аренкарбоновых кислот с α-фурилметанолом / депонированная рукопись № 210-В2014 от 23.07.2014.
2. Авруйская А.А., Митрасов Ю.Н., Козлов В.А., Полякова О.Б., Иванова О.Е. Синтез и свойства производных (4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5.2.$1^{1,7}$.$0^{2,6}$]дец-8-ен-4-ил)-аренкарбоновых кислот / Химия и современность : сб. науч. статей. – Чебоксары : Чуваш. гос.пед. ун-т, 2014. – С. 43–45.
3. ГОСТ Р 53856-2010 «Классификация опасности химической продукции. Общие требования». – 23 с.
4. Козлов В.А., Авруйская А.А., Митрасов Ю.Н., Кондратьева О.В., Полякова О.Б., Кириллова О.Е. Биологическая активность аддуктов N-арилмалеинимидов с α-фурилметанолом / Актуальные вопросы фармацевтики и фармацевтического образования в России : сб. материалов всерос. конф. с междунар. участием. – Чебоксары : Изд-во ООО «Пегас», 2013. – С. 9.
5. Козлов В.А., Митрасов Ю.Н., Авруйская А.А., Полякова О.Б., Кондратьева О.В. Исследование острой токсичности производных *м*- и *п*-(4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5.2.$1^{1,7}$.$0^{2,6}$]дец-8-ен-4-ил)бензойных кислот / Материалы Девятой международной научной школы «Наука и инновации – 2014» ISS «SI-2014» 2014. – С. 183–185.
6. Козлов В.А., Митрасов Ю.Н., Авруйская А.А., Садикова Л.М., Яшкильдина С.П. Флуоресцирующая активность моно- и бисариленмалеинимидов / Материалы Девятой международной научной школы «Наука и инновации - 2014» ISS «SI-2014» 2014. – Йошкар-Ола, 2014. – С. 185–188.
7. Козлов В.А., Митрасов Ю.Н., Кондратьева О.В., Гордеева И.В., Полякова О.Б., Кириллова О.Е., Кочнева А.Н., Авруйская А.А., Сорокина В.А., Колямшин О.А. Фотометрия 4-аза-4-арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло [5,3,$1^{1,7}$,$0^{2,6}$]дец-8-енов / Материалы Седьмой международной научной школы «Наука и инновации – 2012» ISS «SI-2012» ГБОУ ДПО (ПК) С «Марийский институт образования»: редакционная коллегия: Н.М. Кузнецова – канд. пед. наук, доцент, ректор, проф. И.И. Попов, чл.-корр. РАЕ, проф. В.А. Козлов, акад. РАЕН, проф. В.В. Самарцев, проф. В.Г. Зинов. – Йошкар-Ола , 2012. – С. 232–235.
8. Козлов В.А., Митрасов Ю.Н., Кондратьева О.В., Гордеева И.В., Полякова О.Б., Груздев С.Е., Федорова М.Л., Борзова А.А. Острая токсичность 4-аза-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло[5,2,$1^{1,7}$,$0^{2,6}$]дец-8-ена / Материалы Восьмой международной научной школы «Наука и инновации – 2013» ISS «SI–2013». 7–12 июля 2013 г. : материалы школы / Под ред. И.И. Попова, В.А. Козлова, А.П. Сухорукова, В.В. Самарцева. – Йошкар-Ола : МарГУ, 2013. – С. 253–254.
9. 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 // Материалы 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.
10. Колямшин О.А., Данилов В.А., Васильева С.Ю., Деп. ВИНИТИ, №250-В2010 от 06.05.2010. – 75 с.
11. Митрасов Ю.Н., Митрофанова И.В., Кондратьева О.В., Козлов В.А. Синтез аддуктов диенового синтеза N-арилмалеинимидов с фурфуриловым спиртом и их свойства // Химический журнал Казахстана. – 2015. – № 2(50). – С. 321–326.
12. Митрасов Ю.Н., Яшкильдина С.П., Садикова Л.М., Авруйская А.А., Козлов В.А., Кондратьева О.В. Реакции ариленбисмалеинимидов с фурфуриловым спиртом // Научное обозрение. – 2015. – № 15. – С. 226–231.
13. Методы определения токсичности и опасности химических веществ (токсикометрия) : под ред. проф. И. В. Саноцкого. – М. Медицина, 1970. – 346 с.

**УДК 547.1′18 + 615.91**

# ОСТРАЯ ТОКСИЧНОСТЬ 3-АМИНОФЕНИЛФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ

**[1]В. А. Козлов, [2]Ю. Н. Митрасов, [2]А. А. Авруйская, [2]Н. А. Лукичева, [1]Т. В. Васильева, [1]С. П. Сапожников, [1]Ю.В. Петрова, [1]В.Ю. Александрова, [1]А. И. Шептухина, [1]О. В. Николаева**

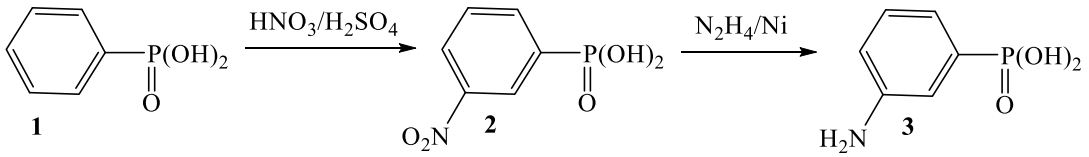
[1]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»
*428015, г. Чебоксары, Московский пр., 15, e-mail: pooh12@yandex.ru*
[2]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева»
*428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 38, e-mail: mitrasov_un@mail.ru*

Изучена острая токсичность 3-аминофенилфосфоновой кислоты, перспективной как флуоресцентный зонд. Соединение относится к пятому классу токсичности, поскольку доза 5,04±0,01 г/кг *per os* в виде взвеси в масле подсолнечника не вызвала никаких значительных изменений в статусе подопытных крыс.
**Ключевые слова:** производные фосфоновой кислоты, флуоресценция, токсичность

We have studied the acute toxicity of 3-aminophenylphosphonic acid promising as a fluorescent probe. Compound refers to the fifth class of toxicity, because the dose of 5.04±0.01 g/kg *per os* in suspension in the sunflower oil did not cause any significant changes in the status of the experimental rats.
**Keywords:** phosphonic acid derivatives, fluorescence, toxicity

**Введение.** Ранее нами была изучены способы синтеза [1-5], острая токсичность [6; 7] и флуоресцентная активность [4] некоторых производных ароматических фосфоновых кислот, перспективных как флуоресцентные зонды [8] и пестициды [9]. Оказалось, что 2-фенилэтенилфосфоновая кислота обладает достаточно низкой токсичностью [6; 7] (третий – пятый класс токсичности в соответсвии с ГОСТ Р 53856-2010 «Классификация опасности химической продукции. Общие требования» [10]). В связи с этим интересным представлялось изучить токсичность 3-аминофенилфосфоновой кислоты (АФФК).

**Материалы и методы.** Синтез 3-аминофенилфосфоновой кислоты (**3**) проводили восстановлением гидразингидратом на никеле Ренея 3-нитрофенилфосфоновой кислоты (**2**), полученной нитрованием фенилфосфоновой кислоты (**1**):




Определение $LD_{50}$ препаратов осуществляли по *Lee Blanc* [11] на крысах-самцах, массой от 110 до 126 грамм, содержащихся на стандартном рационе вивария, в двух сериях экспериментов при введении препарата *per os* в виде однородной взвеси в рафинированном подсолнечном масле. Симптоматику острого отравления фиксировали в течение четырех часов после затравки. Наблюдение за состоянием подопытных крыс после затравки продолжали в течение 14 дней.

**Результаты и их обсуждение.** После введения 3-аминофенилфосфоновой кислоты в дозе 5,04±0,01 г/кг поведение крысы практически не меняется, несколько угнетена поисковая активность по сравнению с контрольным животным. Через один час состояние подопытной крысы остается неизменной. Через два часа после введения состояние и поведение крысы, получившей (АФФК) не отличается от контрольного животного. В течении четырнадцати дней последующего наблюдения состояние подопытной крысы не отличалось от контроля. Наблюдалась положительная динамика набора массы тела (таблица).

**Таблица**

Результаты исследования острой токсичности 3-аминофенилфосфоновой кислоты

| № п/п | Доза 3-аминофенил-фосфоновой кислоты, г/кг | Исход | $LD_{50}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 5,04±0,01 | выжила | > 5,0 г/кг |

Таким образом, на основании полученных данных установлено, что в соотвествиии с ГОСТ Р 53856-2010 (Таблица 13 в тексте ГОСТ Р 53856-2010) [1] 3-аминофенилфосфоновая кислота может быть отнесено к пятому классу токсичности – $2000 < LD_{50} \leq 5000$ мг/кг, внутрижелудочно или накожно, то есть, к малотоксичным веществам. Для сравнения, $LD_{50}$ 2-фенилэтенилфосфоновой кислоты сотавляет 1,36±0,27 г/кг массы тела [2, 3].

**Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.**

**Список литературы**

1. Митрасов Ю.Н., Кормачев В.В. О взаимодействии аддуктов пятихлористого фосфора с солями карбоновых кислот // Журн. общ. химии. – 1983. – Т. 53. – Вып. 7. – С. 1677–1678.
2. Кормачев В.В., Митрасов Ю.Н., Кухтин В.А., Яковлева Т. М., Курский Ю. А. Новые агенты для разложения аддуктов пятихлористого фосфора с органическими соединениями // Журн. общ. химии. – 1981. – Т. 51. – Вып. 4. – С. 960–961.
3. Митрасов Ю.Н., Кормачев В.В. О взаимодействии аддуктов пятихлористого фосфора и органических соединений с эфирами карбоновых кислот // Журн. общ. химии. – 1985. – Т. 55. – Вып. 5. – С. 1203–1204.
4. Митрасов Ю.Н., Михайлова О.Н., Яльцева Н.С. Никифоров Н.Г., Кормачев В.В. О взаимодействии амидов карбоновых кислот и оксимов с аддуктами пятихлористого фосфора и алкенов // Журн. общ. химии. – 1987. – Т. 57. – Вып. 6. – С. 1417–1418.
5. Митрасов Ю.Н., Кондратьева О. В., Лукичева Н. А., Гордеева И. В., Кириллова А. Г. Реакции аминокислот с арилхлорфосфоранами и соединениями хлорфосфония // Журнал общей химии. – 2011. – Т. 81 (143). – Вып. 4. – С. 687–688.
6. Козлов В.А., Илларионова К.В., Груздев С.Е., Митрасов Ю.Н., Авруйская А.А., Лукичева Н.А. Острая токсичность 2-фенилэтенилфосфоновой кислоты / Матер. Девятой международной научной школы «Наука и инновации – 2014» ISS «SI-2014» 2014. – С. 181–182.
7. Козлов В.А., Илларионова К.В., Груздев С.Е., Митрасов Ю.Н., Смолина И.Н., Лукичева Н.А., Авруйская А.А. Исследование острой токсичности стирилфосфоновой кислоты / В книге: Химия и современность Сборник научных статей. – 2014. – С. 35–37.
8. Козлов В.А., Митрасов Ю. Н., Васильева Т. В., Кондратьева О. В. Исследование флуоресцирующей активности 4-хлорфенилфосфоновой кислоты / Химия и современность: сб. науч. статей / Чуваш. гос. пед. ун-т; под ред. М.А. Ершова. – Чебоксары : Чуваш. гос. пед. ун-т, 2015. – С. 50–52. ISBN978-5-88297-285-0
9. Митрасов Ю. Н. Влияние стирилфосфоновой кислоты на предпосевные качества семян овощных культур / Ю. Н. Митрасов, О. В. Кондратьева, О. В. Ильина, И. Н. Смолина, Н. А. Лукичева, Н. П. Савинова // Естественно-научные исследования: состояние, проблемы и преспективы. сб. науч. статей Всерос. науч.-практ. конф. – Чебоксары : Чуваш. гос. пед. ун-т, 2012. – С. 43–46.
10. ГОСТ Р 53856-2010 «Классификация опасности химической продукции. Общие требования». – 23 с.
11. Методы определения токсичности и опасности химических веществ (токсикометрия) : под ред. проф. И. В. Саноцкого. – М. Медицина, 1970. – 346 с.

**УДК 547.466**

# РЕАКЦИИ ЭТАНАЛЯ СО СВОБОДНЫМИ ПРОТЕИНОГЕННЫМИ АМИНОКИСЛОТАМИ

**[1]Ю.Н. Митрасов, [1]О.Г. Ильина, [2]В.А. Козлов, [3]Д.А. Соснов**

[1]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева»
*г. Чебоксары, Россия, e-mail: mitrasov_un@mail.ru*
[2]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова»
*г. Чебоксары, Россия, e-mail: mitrasov_un@mail.ru*
[3]БУ Чувашской Республики Республиканский наркологический диспансер
Министерства здравоохранения Чувашской Республики
г. Чебоксары, ул. Пирогова, 6

Показано, что этаналь при комнатной температуре реагирует с водными растворами аминокислот.
**Ключевые слова:** аминокислоты, этаналь, этанол.

We found that atonal at room temperature reacts with aqueous solutions of amino acids and egg albumin.
**Key words:** amino acids, atonal, albumin, ethanol.

**1. Введение.** При острой интоксикации этанолом изменение функций центральной нервной системы и различных органов человека является следствием его воздействия на организм не столько самого алкоголя, а этаналя, являющегося первым метаболитом этанола. Он может образоваться в организме не только вследствие употребления этанола, но и при курении сигарет. Горение сигарет, табак в которых для улучшения вкусовых качеств пропитан глюкозой и глицерином, удерживающим воду и потому профилактирующим пересыхания табака, сопровождается образованием новых, не содержащихся в самом табаке веществ, наиболее токсичными из которых являются формальдегид, ацетальдегид, акролеин [1] (схема 1, под названиями показано количество токсиканта, образующегося при сгорании одной сигареты) [2].

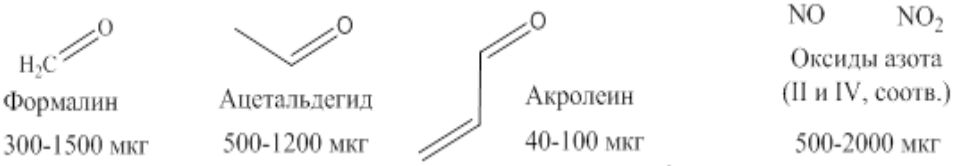



Схема 1

Этаналь увеличивает высвобождение из адренергических окончаний катехоламинов, которые повышают тонус резистивных сосудов, вызывают тахикардию, повышают потребность миокарда и других тканей в кислороде. Он также еще нарушает функции печени, тормозя элиминацию продуктов метаболизма этанола, тормозит окислительно-восстановительные реакции, угнетая этим окисление других веществ, может приводить к катастрофическим повреждениям ДНК [2]. Эти реакции могут протекать по механизму не ферментативной реакции конденсации Пиктета-Спенглера с триптофаном (Pictet A., Spengler T., 1911) [3].

В биологических средах этаналь почти лишен возможности существовать в свободном виде, поскольку как химически высокоактивный реагент быстро и без участия ферментов вступает в реакцию с любыми соединениями, особенно имеющими аминную, амидную, карбоксильную группы. В том числе, с остатками аминокислот в белках, вызывая их дополнительную посттрансляционную модификацию. В частности, известно, что обнаружение в плазме крови ацетолизина, высвобождаемого в результате протеолиза, является доказательством либо хронического алкоголизма, либо острого алкогольного эксцесса давностью не менее 90 дней со дня употребления алкоголя в значительных количествах [4, 5]. Тем не ме-

нее, процессы взаимодействия ацетальдегида с цельным нативным белком в целом остаются неизученными.

В связи с вышеизложенным, целью исследования явилось изучение взаимодействия аминокислот и белков с этаналем в водных растворах в мягких условиях.

**Материал и методы исследования.** В качестве аминокислот были использованы аминокислоты, имеющие дополнительные реакционные группы в ω-положении, такие как: носители гидроксильной группы L-фенилаланин, L-триптофан, амидной – L-лизин, L-аргинин, амидной и карбосильной – L-глутамин, L-аспарагин, – наиболее вероятные реакционоспособные группы, аминокислот, находящихся в связанном пептидной связью состоянии.

При комнатной температуре в водные растворы аминокислот барботировали газообразный этаналь, полученный деполимеризацией рассчитанного количества паральдегида. Затем реакционную смесь выдерживали в течении 12 ч при 25°С и упаривали на паровой бане. В остатке получали твердые продукты, которые не имели четкой температуры плавления или разлагались. Они были исследованы с помощью методов ИК-спектроскопии, хромато-масс-спектрометрии и тонкослойной хроматографии. Наиболее информативными оказались данные масс-спектрометрии, которые подтвердили протекание реакций между аминокислотами и этаналем по аминогруппе.

**Результаты и их обсуждение.** Во всех случаях взаимодействия свободных аминокислот с этаналем предполагалось, что реакция будет протекать по аминной группе при α-углеродном атоме. Исходя из этого предположения были рассчитаны теоретические масс-спектры предполагаемых продуктов. По результатам масс-спектрометрии были получены следующие результаты:

1) при реакции этаналя с триптофаном молярная масса предполагаемого продукта реакции должна составлять 288 г/моль. На хроматограмме по времени удерживания 11,319 мин получен продукт, молярная масса которого 290 г/моль (рис. 1);

2) продукт, получаемый из реакции этаналя с фенилаланином, должен иметь молекулярную массу 251 г/моль. По хроматограмме близок только пик 246 г/моль, полученный на 9,741 мин (рис. 2);

3) при реакции этаналя с лизином молярная масса предполагаемого продукта реакции должна составлять около 362 г/моль. На хромматограмме выявлен пик на 8,826 мин с молярной массой продукта 362 г/моль (рис. 3);

4) продукт реакции этаналя с аспарагиновой кислотой должен иметь молярную массу 349 г/моль. На хроматограмме полученных продуктов выявляется пик на 8,091 мин с молярной массой 348 г/моль (рис. 4);

5) продукт реакции этаналя с глутаминовой кислотой должен иметь молекулярную массу 343 г/моль. На хроматограмме выявлен пик продукта с молекулярной массой 348 г/моль на 8,117 мин (рис. 5);

6) при реакции этаналя с гидрохлоридом аргинина (комплексная соль) продукт реакции имеет расчетную молекулярную около 354 г/моль. На хроматограмме на 8,084 мин. Выявляется пик с молекулярной массой 348 г/моль (рис. 6).

Тем не менее, судя по наличию доплнительных пиков на хромаограммах, кроме ожидаемых продуктов, во всех случаях обнаруживатся ряд производных, масс-спектр которых значительно отличается от ожидамых, что требует дополнительного изучения. Наблюдаемое явление может быть вызвано тем, что, выбранные нами бифункциональные аминокислоты могли вступать в реакцию взаимодействия не только с α-аминной группой, но и с реакционоспособными группами в ω-положении. Это является косвенным доказательством возможности присоединения ацетальдегида к остаткам аминокислот в белках, что мы предполагали ранее [2, 5].

Выявленные множественные продукты взаимодействия ацетальдегида со свободными аминокислотами могут быть причиной многопетлевых поражений клеток и органов, как при однократном злоупотреблении алкоголя, так и при хроническом алкоголизме. Кроме того, эти соединения могут являться маркерами алкогольных эксцессов, либо хронического потребления алкоголя.

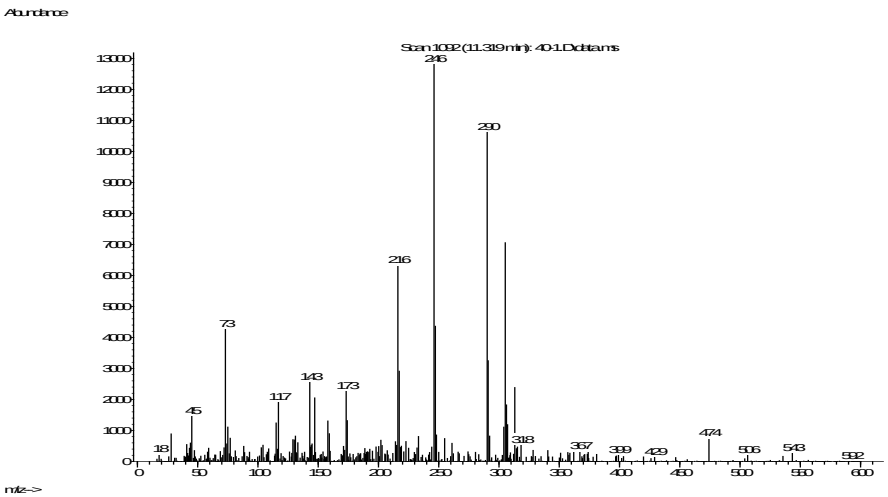



**Рис. 1.** Масс-спектр продукта реакции этаналя с триптофаном

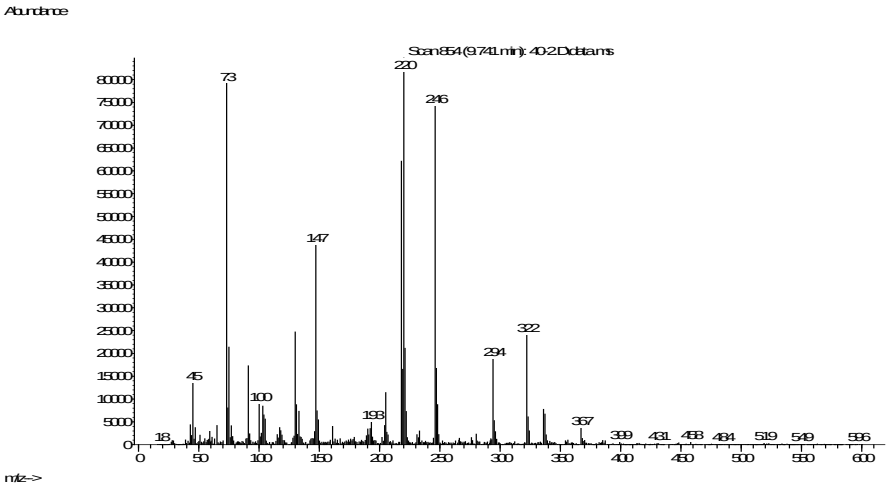



**Рис. 2.** Масс-спектр продукта реакции этаналя с фенилаланином

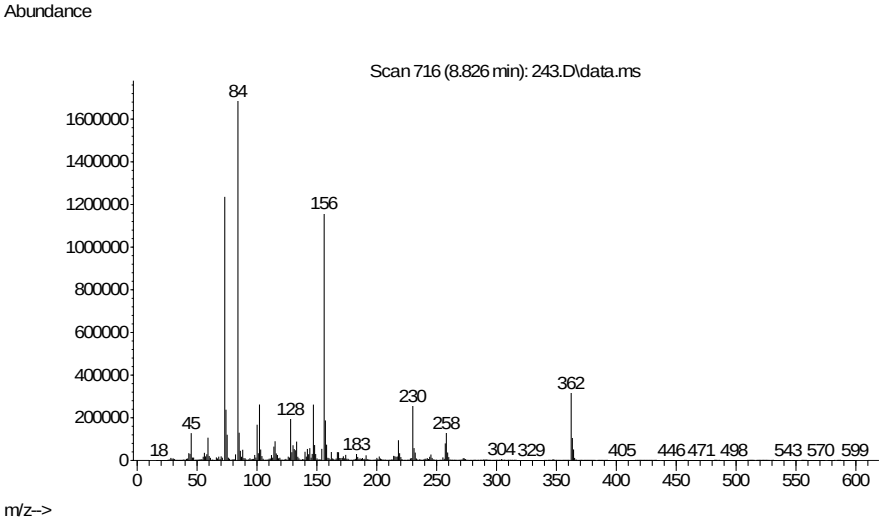



**Рис. 3.** Масс-спектр продукта реакции этаналя с лизином

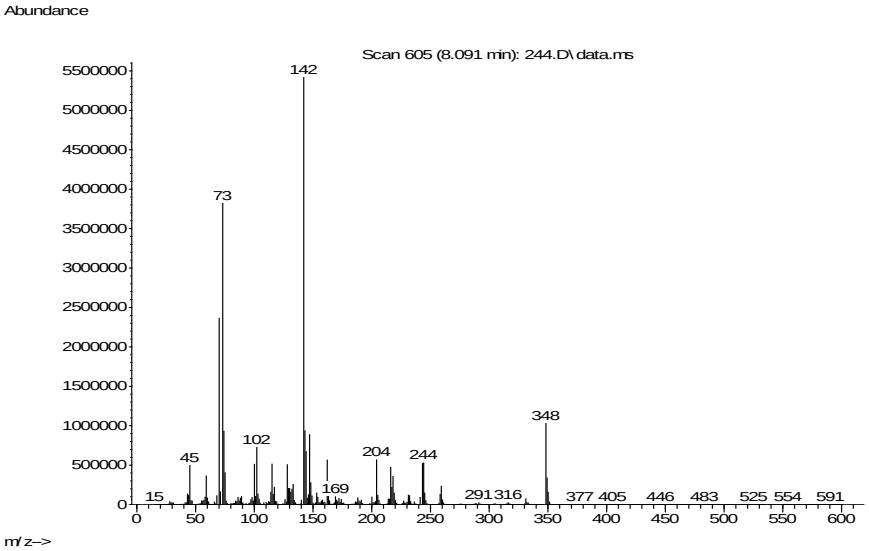



**Рис. 4.** Масс-спектр продукта реакции этаналя с аспарагиновой кислотой

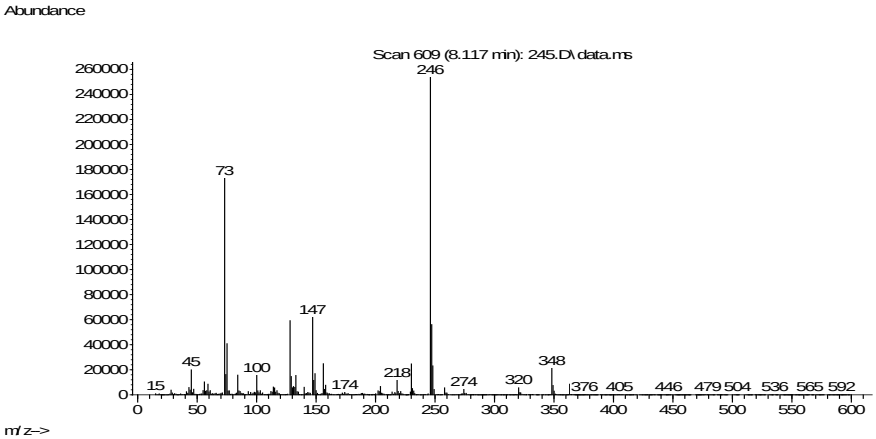



**Рис. 5.** Масс-спектр продукта реакции этаналя с глутаминовой кислотой

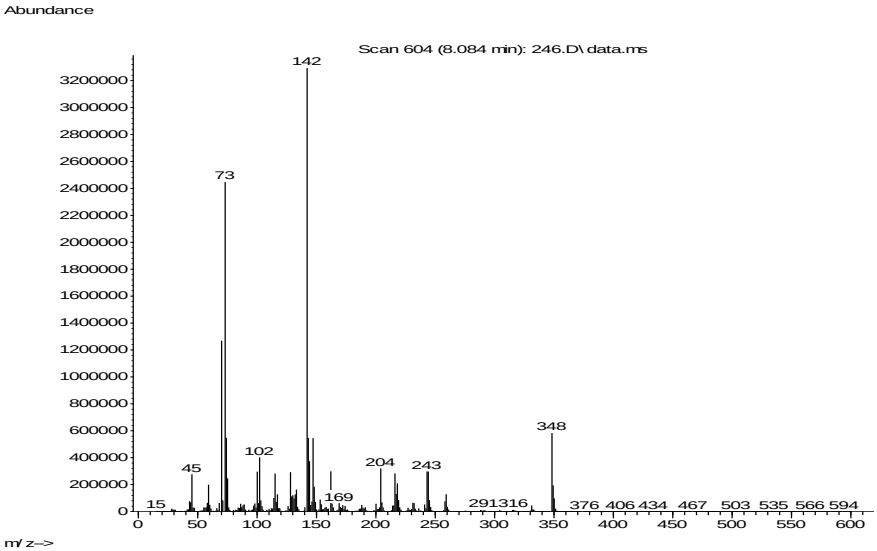



**Рис. 23.** Масс-спектр продукта реакции этаналя с аргинингидрохлоридом

Таким образом, свободные аминокислоты в относительно мягких условиях быстро образуют ряд соединений с ацетальдегидом.

**Список литературы**

[1] Hoffmann D., Wynder E.L. Tobacco Smoking. – Publishedin 44. Indoor Air Quality, Guardino Solá, Xavier, Editor, Encyclopedia of Occupational Health and Safety, Jeanne Mager Stellman, Editor-in-Chief. International Labor Organization, Geneva. – 2011. – P. 534.
[2] Козлов В.А., Голенков А.В., Сапожников С.П. Образование вредных для здоровья минорных примесей при одновременном приеме алкоголя и курении табака // Наркология. – 2014. –Т. 13, № 3 (147). – С. 74–80.
[3] Pictet A., Spengler T. Über die Bildung von Isochinolin-derivaten durch Einwirkung von Methylal auf Phenyl-äthylamin, Phenyl-alanin und Tyrosin // Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft. – 1911. – Vol. 44, N. – P. 2030–2036. doi:10.1002/cber.19110440309.
[4] Mabuchi R., Kurita A., Miyoshi N., Yokoyama A., Furuta T., Goda T., Suwa Y., Kan T., Amagai T., Ohshima H. Analysis of N(e) ethyllysine in hu-man plasma proteins by gas chromatography-negative ion chemical ioniza-tion/mass spectrometry as a biomarker for exposure to acetaldehyde and al-cohol. Alcohol Clin. Exp. Res. 2012: 36 (6): 1013–1020.
[5] Козлов В.А., Сапожников С.П., Шептухина А.И., Голенков А.В. Параметаболизм как неспецифический модификатор супрамолекулярных взаимодействий в живых системах // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2015. – № 4 (70). – С. 397–402.

# ПОСТНАТАЛЬНОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИММУННО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СВИНЕЙ В ЛОКАЛЬНЫХ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕГИОНА

**М. Н. Лежнина[1], Р.А. Шуканов[1], А.Д. Блинова[2], А.А. Шуканов[1]**

[1]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет» филиал в г. Чебоксары;
*merinochek3@rambler.ru*
[2]ГАПОУ «Чебоксарский техникум технологии питания и коммерции» МОиМП ЧР

**1. 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 [1-4].

Цель исследований – изучить постнатальную динамику клеточных и гуморальных факторов неспецифической резистентности у хрячков и боровков в биогеохимических условиях Чувашского Приволжья.

**2. Материал и методы исследований**. 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 содержали на основном рационе (ОР). Животным второй группы на фоне ОР скармливали цеолит трепел с внутримышечной инъекцией «Полистима» в их 60- и 240-дневном возрасте.

В ходе опытов у 5 животных из каждой группы на 2-, 15-, 60-, 240- и 300-й день жизни (соответственно периоды новорожденности, молочного типа кормления, полового созревания, физиологического созревания) изучали клинико-физиологическое состояние, рост тела, гематологические, биохимические и иммунологические показатели по общепринятым в физиологии современным тестам.

**3. Результаты исследований и их обсуждение.** Отмечено, что у исследуемых животных изменения температуры тела носили зигзагообразный характер; частота ударов пульса и дыхательных движений постепенно уменьшались в возрастном аспекте, значения которых были в пределах колебаний физиологической нормы ($P>0,05$).

Выявлено, что количество эритроцитов в крови свиней контрольной группы в ходе наблюдений медленно возрастало (1,95±0,08 против 6,69±0,02 млн/мкл), второй – от 1,93±0,06 до 7,14±0,08 млн/мкл. При этом 240- и 300-дневные животные второй группы, содержавшиеся в условиях назначения природного минерала трепела совместно с «Полистимом», значительно превосходили по этому гематологическому показателю контрольных ($P<0,005–0,001$).

Динамика концентрации гемоглобина у животных сопоставляемых групп в целом соответствовал характеру изменений количества эритроцитов. Причем в периоды полового и физиологического созревания уровень гемоглобина у опытных боровков достоверно превышал контрольные показатели.

Установлено, что если число эритроцитов и уровень гемоглобина у подопытных животных постепенно нарастали в возрастном аспекте, то количество лейкоцитов, наоборот, сначала увеличивалось от фазы новорожденности к концу периода молочного типа кормле-

ния (14,9±0,09–15,0±0,13 против 18,0±0,16–18,3±0,16) с последующим понижением в период физиологического созревания до 17,3±0,24–17,6±0,18 тыс/мкл (P>0,05).

Активность аутобляшкообразующих клеток (АБОК) в крови у животных исследуемых групп волнообразно снижалась по мере их взросления от 1,0±0,03–1,0±0,04 до 4,1±0,04–4,2±0,06% (P>0,05).

Уровень общего белка в сыворотке крови свиней изучаемых групп значительно нарастал от 2- до 15-дневного возраста (60,0±0,42–60,3±0,30 против 65,3±0,25–65,5±0,27 г/л) с последующим волнообразным понижением к концу исследований до 62,6±0,53–67,5±0,52 г/л. При этом у 240- и 300-дневных опытных животных был выше по сравнению с таковым у сверстников контрольной группы (P<0,05–0,001).

Иная закономерность отмечена в содержании альбуминовой фракции общего белка, которое у хрячков и боровков всех групп волнообразно возрастало с возрастом от 17,4±0,13–17,7±0,10 до 18,7±0,20–20,0±0,32 г/л. Причем опытные животные в конце исследований достоверно превышали по данному биохимическому параметру контрольные значения.

Отмечено, что концентрация α- и β-глобулинов у исследуемых животных зигзагообразно увеличивалась к концу экспериментов без достоверной разницы в ней (9,3±0,12–9,4±0,23 г/л против 12,0±0,25–13,7±0,38 и 5,2±0,07–5,5±0,13 против 11,9±0,43–12,7±0,21 г/л соответственно).

Другая закономерность обнаружена в динамике концентрации γ-глобулинов, которая у подопытных животных от 2- до 60-дневного возраста понижался (27,7±0,17–27,9±0,13 против 19,2±1,05–20,0±0,20 г/л), а затем повышался по мере их взросления до 20,0±0,23–21,4±0,47 г/л. При этом 240-, 300-дневные боровки опытных групп превосходили по данному иммунокомпетентному фактору контрольных сверстников (P<0,05–0,001).

Выявлено, что уровень иммуноглобулинов у исследуемых животных непрерывно увеличивался в связи с взрослением от 6,2±0,02−6,3±0,03 до 15,3±0,31−16,6±0,04 мг/мл. В тоже время боровки опытной группы в 300-дневном возрасте достоверно превосходили по данному иммуннокомпетентному фактору животных контрольной группы.

Уровень глюкозы у изучаемых животных постепенно повышался по мере взросления от 2,61±0,15–2,71±0,18 до 5,94±0,02–5,13±0,04 г/л, и различие в нем было недостоверным во все сроки исследований.

Активность перекисного окисления липидов (ПОЛ) у животных всех групп в возрастном аспекте зигзагообразно повышалась от 2- до 300-дневного возраста (5,46±0,03–5,48±0,02 против 6,93±0,17–7,50±0,22 mV). При этом в периоды их полового и физиологического созревания (240 и 300 дней) опытные боровки превышали по данному биохимическому показателю контрольные значения на 2,2−12,4 % (P>0,05).

Аналогичная закономерность выявлена в динамике активности антиоксидантной системы (АОС).

Отмечено, что уровень пероксидазы в крови подопытных хрячков и боровков от 2- до 240-дневного возраста заметно уменьшался (94,4±1,47–96,0±0,63 против 39,4±0,55–42,2±0,40 у.е.) с последующим повышением к 300-дневному возрасту до 39,8±0,65–43,6±0,45 у.е. При этом у животных опытной группы во все периоды постнатального онтогенеза он был ниже контрольных значений (P>0,05).

Другая закономерность выявлена в динамике активности щелочной фосфатазы, которая у подопытных животных от 2- до 300-дневного возраста волнообразно увеличивалась (1,58±0,02–1,60±0,01 против 1,50±0,14–1,80±0,03 ммоль/ч·л). Причем у боровков второй группы в 300-дневном возрасте данный показатель был ниже на 16,7%, чем в контроле (P<0,001).

Величина кислотной емкости в сыворотке крови животных изучаемых групп волнообразно уменьшалась в возрастном аспекте от 279±3,32− 281±3,32 до 262±4,01−282±4,01 мг/%, которая у 300-дневных боровков опытных групп была выше таковой контрольных сверстни-

ков на 6,4−7,1% (P<0,05).

К концу исследований уровень общего кальция у исследуемых животных волнообразно увеличивался по мере взросления от 1,43±0,02− 1,45±0,02 до 2,16±0,29−2,35±0,04 ммоль/л (P>0,05).

Характер изменений концентрации неорганического фосфора у животных сравниваемых групп в целом соответствовал динамике уровня общего кальция (1,11±0,04−1,12±0,06 против 1,82±0,04−2,04±0,17 ммоль/л), которая в 240-дневном возрасте у боровков третьей группы была выше контрольных показателей на 15,1 (P<0,001).

Анализ динамики гематологических, биохимических и иммунологических показателей показал, что у свиней опытной группы количество эритроцитов и уровень гемоглобина в крови повышались от фазы новорожденности к концу фаз молочного типа кормления, полового созревания и физиологического созревания соответственно на 44,0, 33,9 (P<0,001) и 1,3 (P>0,05); 4,0, 9,9 и 3,5 % (P<0,05).

Иная закономерность выявлена в динамике числа лейкоцитов, которое к концу периода новорожденности возросло на 15,8 % (14,9±0,09 против 17,7±0,23 тыс/мкл), а затем к концу периода физиологического созревания снизилось на 2,2 % (17,6±0,18 тыс/мкл; P>0,05).

Отмечено, что если уровень глюкозы, процент АБОК у хрячков от фазы новорожденности к фазе молочного типа кормления увеличивались на 5,8 и 56,3 % (P<0,05–0,001), то в фазы полового созревания и физиологического созревания – лишь на 0–16,7% (P>0,05). Отсюда следует, что исследуемые параметры были максимальными в конце фазы новорожденности, а минимальными – физиологического созревания.

Такая же закономерность была выявлена в характере изменений концентрации общего белка в сыворотке крови, повышение которой в исследуемые стадии постнатального онтогенеза составило 7,8, 6,9, 6,6 и 1,2 % (65,4±0,29, 60,9±0,42, 65,2±0,63 и 65,9±0,33 г/л) соответственно.

Уровень альбуминов у опытных животных возрастал от начала периода новорожденности (17,7±0,10 г/л) к его завершению (18,9±0,11), затем к концу периодов молочного типа кормления (18,3±0,46), полового созревания (19,8±0,54 г/л), физиологического созревания (19,2±0,22 г/л) соответственно на 6,3, 3,2, 7,6 (P<0,05) и 3,0 % (P>0,05).

Аналогичная закономерность наблюдалась в динамике концентрации α-, β-, γ-глобулинов, которая также увеличивалась от начала фазы новорожденности к ее концу (18,3–61,5 %, P<0,001), к концу фаз молочного типа кормления (2,5 (P>0,05) –20,0 %, P<0,001), полового созревания (2,5 (P>0,05) –15,0 %, P<0,001), а затем к завершению фазы физиологического созревания лишь на 0,9(P>0,05) – 10,2 % (P<0,05).

Другие возрастные особенности имели место в динамике уровня общего кальция и неорганического фосфора, который достоверно повышался от конца стадии новорожденности к концу стадии молочного типа кормления на 36,8 и 49,1 % (1,48±0,01 против 2,34±0,07 и 1,17±0,03 против 2,30±0,08 ммоль/л, P<0,001) соответственно.

Выявлено, что если активность ПОЛ от фазы новорожденности к концу фазы молочного типа кормления увеличилась на 19,8%, а к концу фазы полового созревания уменьшилась на 39,8%, то активность АОС, наоборот, к концу фаз молочного типа кормления и полового созревания увеличилась соответственно на 20,2 и 10,8%. Отсюда следует, что активность ПОЛ к концу фазы полового созревания была минимальной, а активность АОС, наоборот, – максимальной.

Активность пероксидазы максимально повышалась от конца периода молочного типа кормления к завершению периода полового созревания на 36,2 %, а концентрация щелочной фосфатазы – к концу периода молочного типа кормления (30,5 %, P<0,001).

Уровень кислотной емкости в онтогенетическом аспекте максимально увеличивался от начала фазы новорожденности (2-дневный возраст) к его концу (15-дневный возраст) на 25,5%,

а затем уменьшился к концу фазы молочного типа кормления (60-дневный возраст) на 26,8 % ($P<0,001$) с последующим увеличением в фазу полового созревания на 2,8 % и уменьшением к завершению фазы физиологического созревания на 0,7 % ($P>0,05$).

Такая же закономерность отмечена в динамике концентрации иммуноглобулинов, которая заметно увеличивалась от начала периода новорожденности к его концу (6,3±0,03 против 15,0±0,06 мг/мл), что составляет 58,0 %; к концу периодов полового и физиологического созревания ее увеличение было на 20,6 ($P<0,001$) и 0,6 % ($P>0,05$) соответственно.

Выявленная у свиней опытной группы онтогенетическая специфичность естественной резистентности, обусловленная комбинированным применением цеолита трепел и иммунокорректора «Полистим», в основном имела место и у их сверстников интактной группы, но на более низком метаболическом уровне.

Таким образом, в биогеохимических условиях Приволжья Чувашской Республики установлена взаимосвязь между применением свиньям природного цеолита трепел в комплексе с «Полистимом» и онтогенетическими особенностями иммунно-физиологического состояния организма.

**Список литературы**

[1] И. Ф. Вафин, К. Х. Папуниди, А. В. Новиков и соавт., Влияние цеолита и натрия сульфида на естественную резистентность животных при сочетанном отравлении диоксином и кадмия хлоридом, *Ветеринарный врач,* **№ 3** (2010) С. 14–16.

[2] А. Г. Пермяков Актуальные инновационные решения в свиноводстве, *Перспективное свиноводство: теория и практика*, **№ 2** (2012) С. 16–17.

[3] Ю. Н. Федоров Иммунокоррекция: применение и механизм действия иммуномодулирующих препаратов, *Ветеринария,* **№ 2** (2005) С. 3−6.

[4] Р. А. Шуканов, М. Н. Лежнина, Становление и развитие естественного иммунитета свиней в биогеохимических условиях региона, *Международный научно-исследовательский журнал* **№ 11 (42) Ч. 3** С. 105 – 106.

# ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ У БОРОВКОВ ПРИ НАЗНАЧЕНИИ РАЗНЫХ ЦЕОЛИТОВ

**[1]А.О. Муллакаев, [1]К.Х. Папуниди, [2]А.А. Шуканов**

[1] ФГБУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности» (ФГБУ «ФЦТРБ-ВНИВИ»), г. Казань;
*irina.konst@mail.ru*
[2]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», филиал в г. Чебоксары

**1. Введение.** Биологически активные вещества природного происхождения имеют широкий спектр действия, гораздо менее токсичны по сравнению с химическими соединениями. Поэтому разработка, апробация и внедрение новых биогенных соединений отечественного производства, вызывающих иммунофизиологические и метаболические эффекты организма с учетом биогеохимического своеобразия регионов России, является актуальной проблемой современной биологической науки и биотехнологии [1]; [2]; [3].

В этой связи целью исследований является изучение возрастных особенностей гематологической и биохимической картины у боровков, содержащихся при назначении природных минералов майнита и шатрашанита с учетом биогеохимической специфичности западной закамской агропочвенной зоны Республики Татарстан

**2. Материал и методы исследования.** Проведена серия научно-хозяйственных опытов и лабораторных экспериментов с использованием 45 боровков. Их подбирали по принципу аналогов с учетом клинико-физиологического состояния, возраста, породы, пола, массы тела по 15 животных в каждой из трех групп. Исследования проводили на фоне сбалансированного по основным показателям кормления свиней согласно нормам и рационам РАСХН [3]. Боровков первой группы (контроль) с 60- до 300- дневного возраста (продолжительность наблюдений) содержали на основном рационе (ОР). Животным второй и третьей групп на фоне ОР ежедневно скармливали цеолиты соответственно майнит Сиуч-Юшанского месторождения Ульяновской области и шатрашанит Татарско-Шантрашанского месторождения Республики Татарстан из расчета 2% от массы сухого вещества ОР ежедневно до конца исследований. В ходе опытов у 5 животных из каждой группы на 60-,120-, 180-, 240- и 300-й день жизни оценивали клинико-физиологические, гематологические и биохимические параметры по общепринятым в ветеринарии современным методам.

**3. Результаты исследований.** На протяжении экспериментов температура тела, число сердечных сокращений и дыхательных движений у изучаемых боровков были в пределах колебаний физиологической нормы, разница в которых была незначительной ($P>0,05$). Причем температура тела у животных исследуемых групп по мере их роста зигзагообразно снижалась (38,9±0,07–39,0±0,11 против 38,8±0,07–38,9±0,08ºС), а частота ударов пульса и дыхания постепенно уменьшались в возрастном аспекте (соответственно от 78,0±1,30–79,0±0,71 до 71,0±0,72–72,0±0,71 и от 16,0±0,45–17,0±0,55 до 13,0±0,71–14,0±0,71 в мин).

В течение исследований у подопытных животных зафиксированы полный пульс, ритмичное глубокое дыхание. Их слизистая оболочка носа была бледно-розового цвета, умеренной влажности, конъюнктива глаз – также бледно-розового цвета, волосяной покров – эластичным гладким, прочно удерживающимся в коже, кожа – упругой, без видимых повреждений, упитанность – средней, поза – естественной, что свидетельствует о здоровом клинико-физиологическом состоянии свиней. Отмечено, что у свиней разных групп количество лейкоцитов в крови в возрастном аспекте снижалось от 16,7±0,26–17,0±0,26 до 16,0±0,26–16,2±0,22 тыс/мкл, причем разница в данном параметре у исследуемых боровков на протя-

жении экспериментов была недостоверной. Установлено, что у подопытных животных концентрация эритроцитов и гемоглобина в крови постепенно возрастали по мере их взросления (5,81±0,13–5,91±0,08 против 6,67±0,30–8,01±0,22 млн/мкл и 104,1±1,69–106,5±1,63 против 112,5±1,75–122,4±1,14 г/л). Выявлено, что у животных опытных групп, содержавшихся при назначении естественных цеолитов майнита и шатрашанита, начиная с их 300-дневного (2 группа) и 120-дневного возраста (3 группа), число эритроцитов было достоверно выше, чем в контроле (рисунок 1). Иная закономерность обнаружена в динамике уровня гемоглобина, который у 180-, 240-, 300-дневных свиней 3-ей группы был выше на 4,7–8,6% (P<0,05) по сравнению с таковым у контрольных сверстников.

Концентрация общего белка в сыворотке крови боровков всех групп увеличивалась с возрастом от 58,6±0,29–59,0±0,62 до 63,3±0,23–67,1±0,40 г/л, которая в их 180-, 240-, 300-дневном возрасте достоверно превышала интактные значения на 3,2–5,7%.

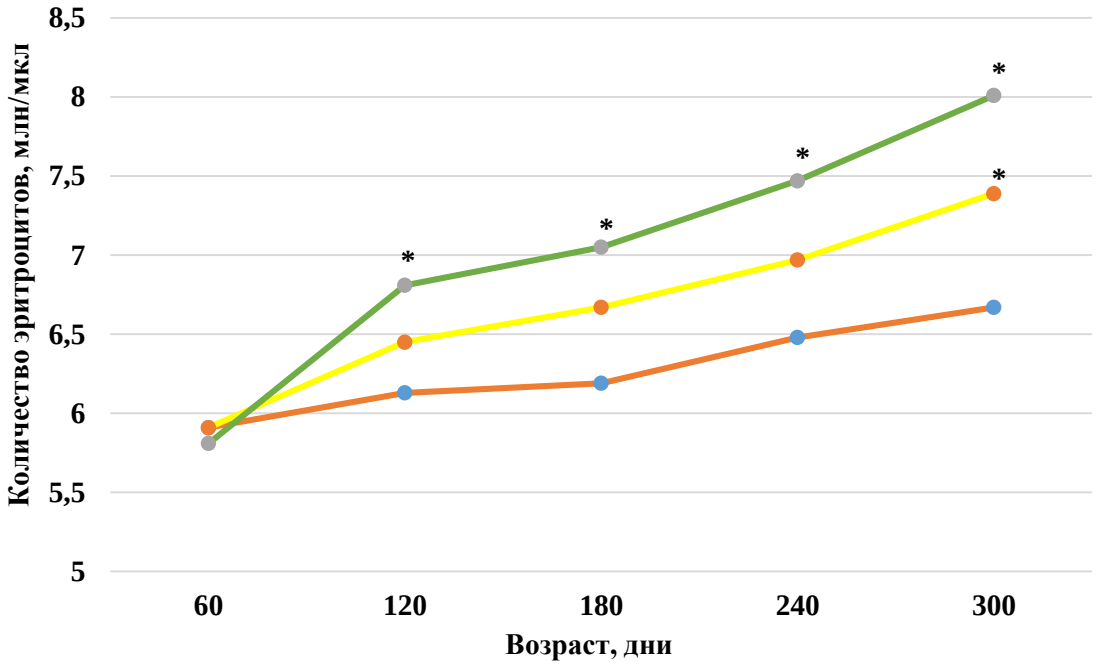



**Рис. 1.** Характер изменений числа эритроцитов боровков

Отмечено, что содержание иммуноглобулинов также возрастало от 60- до 300-дневного возраста (9,9±0,23–10,3±0,19 мг/мл против 11,8±0,25–13,0±0,26 мг/мл), которое у свиней третьей группы в 240- и 300-дней было выше, чем контрольные показатели (P<0,05).

Уровень общего кальция в сыворотке крови контрольных боровков плавно снижался по мере взросления от 2,77±0,03 до 2,60±0,07 ммоль·л, а у их опытных сверстников волнообразно повышался (2,81±0,06–2,82±0,03 против 2,90±0,12–3,08±0,07 ммоль·л), разница в котором в 180-, 240-, 300-дневном возрасте была 8,7–15,6 % (P<0,05). Характер изменений концентрации неорганического фосфора в целом соответствовал динамике уровня общего кальция. Так, боровки опытных групп, начиная с 240-дневного (2 группа) и с 180-дневного (3 группа) возраста соответственно, достоверно превышали по содержанию неорганического фосфора своих сверстников контрольной группы. Установлено, что уровень триглицеридов у животных изучаемых групп волнообразно уменьшался в возрастном аспекте (0,43±0,04–0,47±0,09 против 0,41±0,03–0,42±0,06 ммоль/л), а уровень глюкозы, наоборот, плавно увеличивался от начала к концу экспериментов от 3,57±0,32–3,59±0,20 до 4,27±0,26–4,30±0,21 ммоль/л (P>0,05).

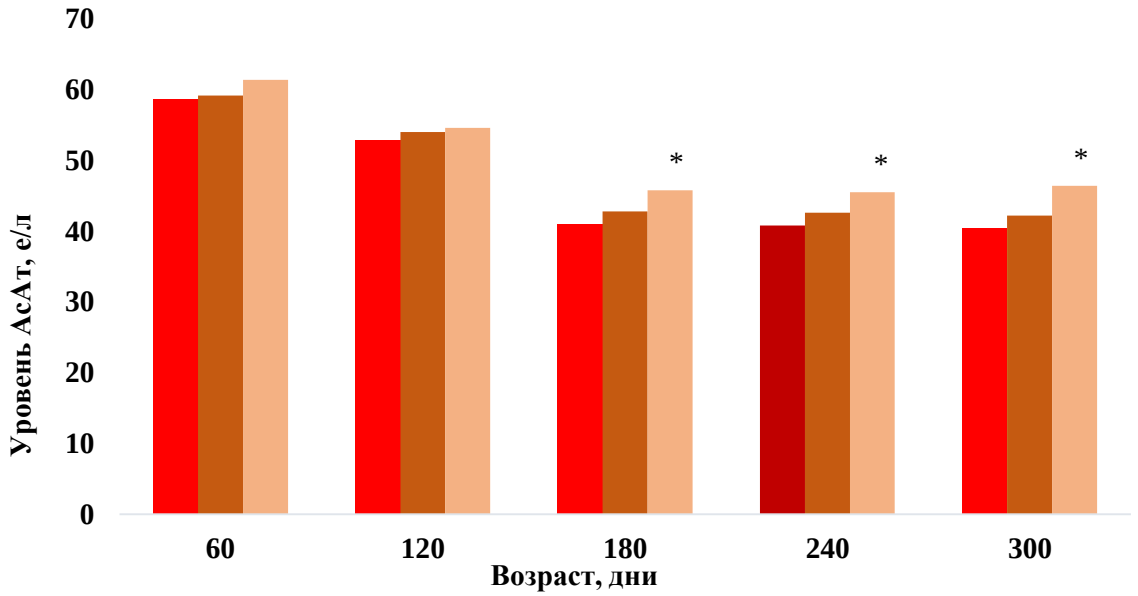



**Рис. 2.** Характер изменений активности АсАт боровков

Иная закономерность выявлена в характере изменений активности аспартатаминтрансферазы (АсАт) у изучаемых боровков, которая по мере их роста плавно уменьшалась от 58,6±2,90–61,4±2,95 до 40,4±1,33–46,4±1,56 е/л. При этом 180-, 240-, 300-дневные животные 3-ей группы достоверно превышали по данному биохимическому показателю сверстников контрольной группы (рисунок 2).

Динамика активности аланинаминтрасферазы (АлАт) полностью соответствовала характеру изменений таковой АсАт, разница в которой на протяжении опытов была недостоверной. Причем боровки 2-ой группы, содержавшиеся при скармливании цеолита майнита, на протяжении исследований занимали промежуточное положение между 1-ой и 3-ей групп по уровню лейкоцитов, гемоглобина, общего белка, иммуноглобулинов, активности АсАт и АлАт. Отмечено, что разница в концентрации общего белка, иммуноглобулинов, общего кальция, неорганического фосфора, триглицеридов, глюкозы, активности АсАт и АлАт у свиней 2-ой (майнит) и 3-ей (шатрашанит) групп в изучаемые сроки экспериментов имела незначительный характер (P>0,05).

Таким образом, содержание свиней в условиях западной закамской агропочвенной зоны Республики Татарстан с применением природных цеолитов майнита и шатрашанита сопровождалось стимуляцией их гематологических и биохимических профилей. В моделируемых экспериментах иммуннофизиологический эффект организма был более рельефным при скармливании животным шатрашанита, нежели майнита.

**Список литературы**

[1] И. М. Донник, О. П. Неверова, О. В. Горелик, А. Г. Кощаев, Использование цеолитов для повышения откормочных качеств животных, *Аграрный вестник Урала*, **№ 9** (2015) С. 41–47.
[2] М. Н. Лежнина, Р. А. Шуканов, А. А. Шуканов, Коррекция липидного метаболизма свиней биогенными соединениями в локальных биогеохимических условиях, *Международный научно-исследовательский журнал*. **№ 3(45) Ч. 3** (2016) С. 38–39.
[3] Т. Смагина, Н. Клейменова, И. Клейменов, Цеолит и прополис – для лучшей продуктивности молодняка, *Животноводство России*. **№ 10** (2015) С. 25–28.

# ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПИТАНИЯ СТУДЕНТОВ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

**А.В. Никулина, А.А. Шуканов**

ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА, Филиал ФГБОУ ВО «Санкт-Петербурский государственный экономический университет» в г.Чебоксары,
panianna@list.ru

It is reasonable to carry out enhancement of the morpho-physiological status of students of the Chuvash Republic by optimization of their food to interrelations with biogeochemical conditions. It can be done as follows: to include in a diet foods rich in selenium with simultaneous restriction of acceptance of digestible carbohydrates; to increase in a share of products from imported raw materials; to increase a variety of food; to accept functional foods; to use selenium supplements.

**1. Введение.** Одним из важнейших показателей состояния здоровья человека в современных экологических условиях является наличие биобаланса в функционировании прооксидантных и антиоксидантных систем организма, ключевую роль в обеспечении которого играют такие эссенциальные микроэлементы как селен, цинк и др. [1]. Как правило, дефицит селена в организме человека является следствием его недостаточного потребления с пищей, степени абсорбции, скорости и качества протекания процессов переваривания и всасывания пищи, степени депонирования в органах и тканях, экскреции и т. д. [2, 3]. Аномальный микроэлементный состав питьевой воды, а также кормов некоторых биогеохимических провинций Чувашской Республики являются пусковым механизмом развития нарушений липидного обмена людей, а также лабораторных и продуктивных животных. Следствием выступает развитие таких хронических заболеваний заболеваний, как артериальная гипертония, ишемическая болезнь сердца [4, 5, 6].

Рационы детей дошкольного возраста Чувашии обеднены селеном; дефицитный уровень данного микроэлемента обнаружен в пробах волос у 20,3% детей 4–6 лет, посещающих дошкольные образовательные учреждения [7, 8, 9]. Взрослое население недополучает указанный микроэлемент с пищей. Так, мясные продукты, произведенные на территории Чувашии, содержат сниженное количество селена: 97 мкг/кг в сырой говядине и 175 мкг/кг в ветчине [10]. Исследования, посвященные изучению обеспеченности селеном учащейся молодежи является актуальной научной проблемой, имеющей важное прикладное значение.

В связи со сказанным выше целью нашей работы является оптимизация фактического питания студенческой молодежи с учетом агроэкологических особенностей Чувашской Республики.

**2. Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 211 студентов вуза 1–4 курсов очной формы обучения в возрасте 16–21 лет (средний возраст 19,55±1,13 лет). Доля юношей составляла 18,01%, девушек – 81,99%. Был применен метод группового анкетного опроса. Анкета состояла из 37 открытых и закрытых вопросов. Изучение концентрации селена в сыворотке крови осуществлялась флюориметрическим методом в модификации Н.А. Голубкиной с использованием флюориметра Флюорат-02-2М. Материалы исследования обработаны статистическими методами с использованием программного обеспечения Microsoft Excel.

**3. Результаты исследований.** Установлено, что практически все юноши и девушки, поступающие в вуз, характеризуются пониженным уровнем селена в сыворотке крови относительно оптимальных значений (115-120 мкг/л). Диапазон данного параметра для юношей составляет 49,13±2,45-67,15±0,01, для девушек 59,80±4,56- 64,37±6,91 мг/л.

Особенности превращения селена в биогеохимической цепях Чувашии представлены на рисунке 1. Основным источником селена для жителей Республики являются продукты пи-

тания. Продукты из местного сырья характеризуются пониженным содержанием селена из-за недостаточной обогащенности им почв, и, как следствие, слабой аккумуляции растениями и дефицитом у животных. Несколько компенсируют алиментарную нехватку селена привозные продукты и сырье. Вместе с тем, Чувашия – регион, эндемичный по содержанию йода.

Довольно успешная коррекция йодной недостаточности детского и взрослого населения актуализирует задачу восполнения нехватки селена, принимающего непосредственное участие в деятельности щитовидной железы; что поможет снизить риск развития зобной патологии [9].




**Рис. 1.** Особенности превращения селена в биогеохимической пищевой цепи Чувашской Республики

В результате исследований было выявлено нарушение юношами и девушками таких основ рационального питания, как регулярность и сбалансированность. На вопрос «Как изменилось Ваше питание после поступления в вуз?» только 5,9% респондентов ответили, что улучшилось. 34,6% признались, что стали питаться урывками. Перестали употреблять горячую пищу 23% первокурсника (в целом по выборке 17,0%). Основная доля суточного рациона приходится на ужин, что указали 88,5% опрошенных. Несбалансированность питания была связана с однообразием продуктов, включаемых в ежедневный рацион, что в основном обусловлено экономическими и социальными причинами.

В таблице 1 приведены сведения о частоте употребления в пищу студентами основных групп продуктов.

**Таблица 1.**

Особенности употребления студентами основных групп продуктов питания

| Группа продуктов / Доля опрошенных, % | Ежедневно | Через день | 1 раз в неделю | 2-3 раза в месяц | Вообще не ем |
|---|---|---|---|---|---|
| **Молоко** | 9,0 | 11,0 | 21,9 | 40,0 | 18,1 |
| **Кисломолочные продукты** | 13,8 | 10,7 | 23,6 | 38,8 | 13,0 |
| **Сыр** | 8,2 | 10,6 | 27,5 | 48,9 | 4,8 |
| **Хлеб** | 39,8 | 14,3 | 18,0 | 17,4 | 10,6 |
| **Каша** | 18,0 | 22,3 | 31,5 | 23,3 | 4,9 |
| **Выпечка** | 14,5 | 17,0 | 24,3 | 34,7 | 9,6 |
| **Мясо** | 10,1 | 26,4 | 28,4 | 29,3 | 5,8 |
| **Птица** | 9,3 | 27,2 | 28,1 | 27,2 | 8,3 |
| **Колбасные изделия** | 8,1 | 15,7 | 31,9 | 38,1 | 6,2 |
| **Рыба** | 8,3 | 16,1 | 29,3 | 39,5 | 6,8 |

В целом для обучающихся характерна низкая частота потребления молока и кисломолочных продуктов (особенно на 1 курсе), что повышает риск развития многих заболеваний желудочно-кишечного тракта. Так, всего 5% первокурсников пьет молоко ежедневно. Аналогичные показатели для студентов 3 и 4 курсов равны соответственно 9 и 13%. Кисломолочные продукты в ежедневном рационе присутствуют у 15% первокурсников, 21% третьекурсников и 23% четверокурсников. На общем фоне выделяются студенты 2 курса, 18 и 36% которых ежедневно употребляют молоко и кисломолочные продукты. Сыр, как правило, включается в рацион студентами всех курсов только 2-3 раза в месяц (50%).

Распределение данных об употреблении мучных и крупяных продуктов, а также мяса и рыбы по курсам показано на рисунках 2 и 3 (для показателей «ежедневно» и «через день»).

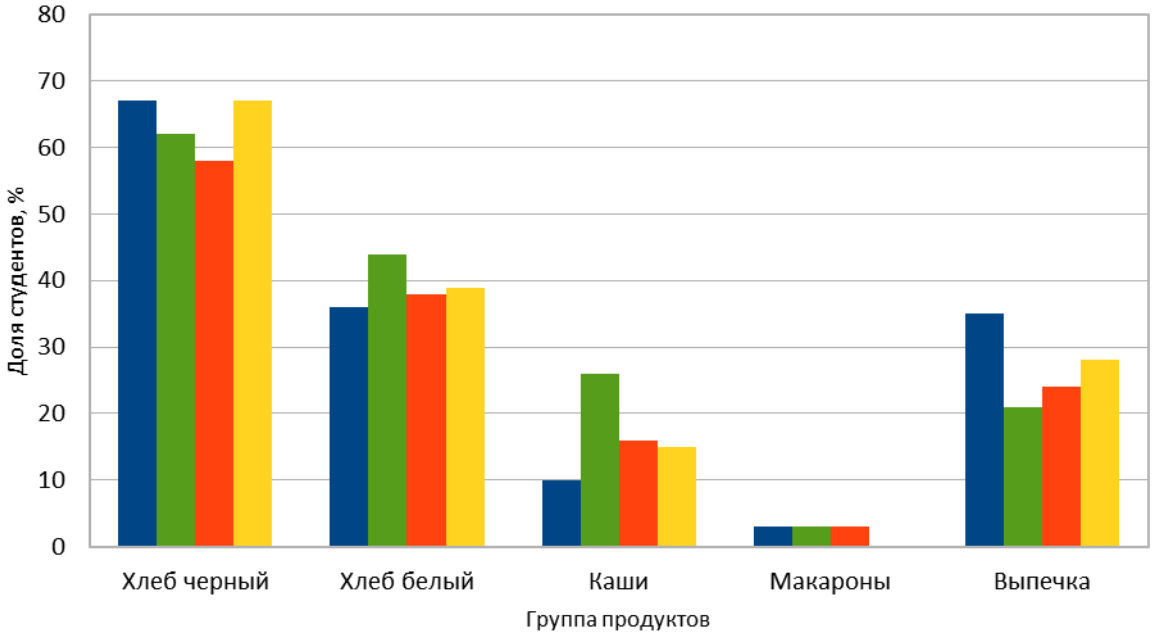



**Рис. 2.** Частота употребления студентами 1-4 курсов мучных и крупяных продуктов

Черный и белый хлеб употребляют ежедневно около 60 и 40% студентов соответственно (рисунок 2). К сожалению, каша в ежедневном рационе присутствует лишь у 10% студентов 1 курса, в то время как выпечка — у 28%. Возможно, эти особенности питания первокурсников связаны с их адаптацией к самостоятельной организации питания без привычного родительского контроля и неумением подбирать сбалансированный рацион.

Уровень употребления мяса и птицы (до нескольких раз в неделю) на всех курсах недостаточно высок, в отличие от аналогичных характеристик питания взрослого населения (60% ежедневно, [11]). В основном студенты едят мясо один раз в неделю и реже, несмотря на наличие у большинства из них семейных хозяйств, в которых выращивается собственная растительная и животная сельскохозяйственная продукция. Повышенное по сравнению с другими курсами употребление первокурсниками колбасных изделий (12% против 6-9%) свидетельствует как о наличии у студентов сформировавшихся пищевых привычек, так и о том, что начинающим жить отдельно от родителей юношам и девушкам гораздо проще купить уже готовую, пусть и не полезную мясную продукцию, чем готовить самостоятельно.

Несмотря на региональную доступность, рыба редка в рационе студентов всех курсов: до 2-3 раз в неделю её употребляют только 2, 6 и 2% студентов 1,2 и 4 курсов соответственно. В рационе третьекурсников рыба встречается не чаще нескольких раз в месяц. Вообще отказываются от употребления данного продукта 10, 6, 9 и 7 % студентов 1-4 курсов.

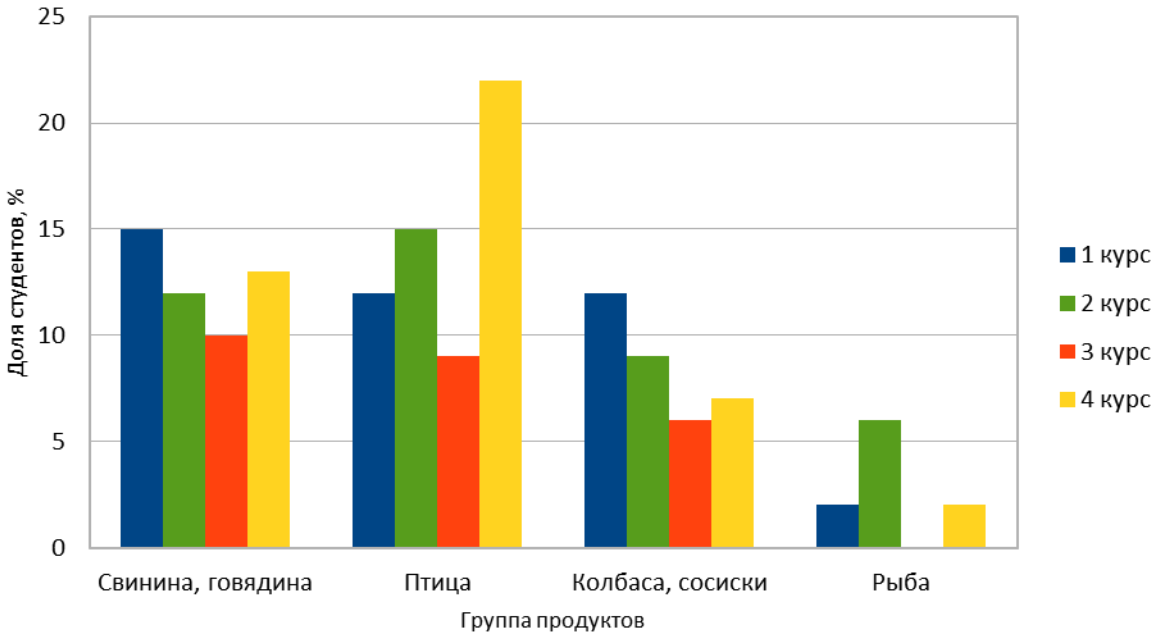



**Рис. 3.** Частота употребления студентами 1-4 курсов мясных и рыбных продуктов

Яйцами насыщен ежедневный рацион 7,7% студентов. Один раз в неделю яйца едят 30-32% студентов (в зависимости от года обучения), 2-3 раза в месяц — 39-47%. Бобовые (фасоль, чечевица, горох, бобы) — поставщики растительного белка — также нечасто появляются на столах опрошенных: 43,5% употребляют их 2-3 раза в месяц, а 27,5% респондентов не едят их вообще.

Традиционно сложившиеся пищевые предпочтения коренного населения Чувашской Республики предполагают частое включение в рацион картофеля. Так, ежедневно или через день картофель в том или ином виде употребляют 73,1% студентов; фрукты 61,9%. В качестве десерта 67,2% ежедневно используют сахар, 16,2% – шоколад и конфеты, и всего 2,3% включают в свой рацион орехи и сухофрукты.

Для определения возможных путей поступления селена с пищей респондентам был задан вопрос о частоте использования некоторых продуктов с известной (усредненной) нормой содержания данного микроэлемента (рисунок 4).

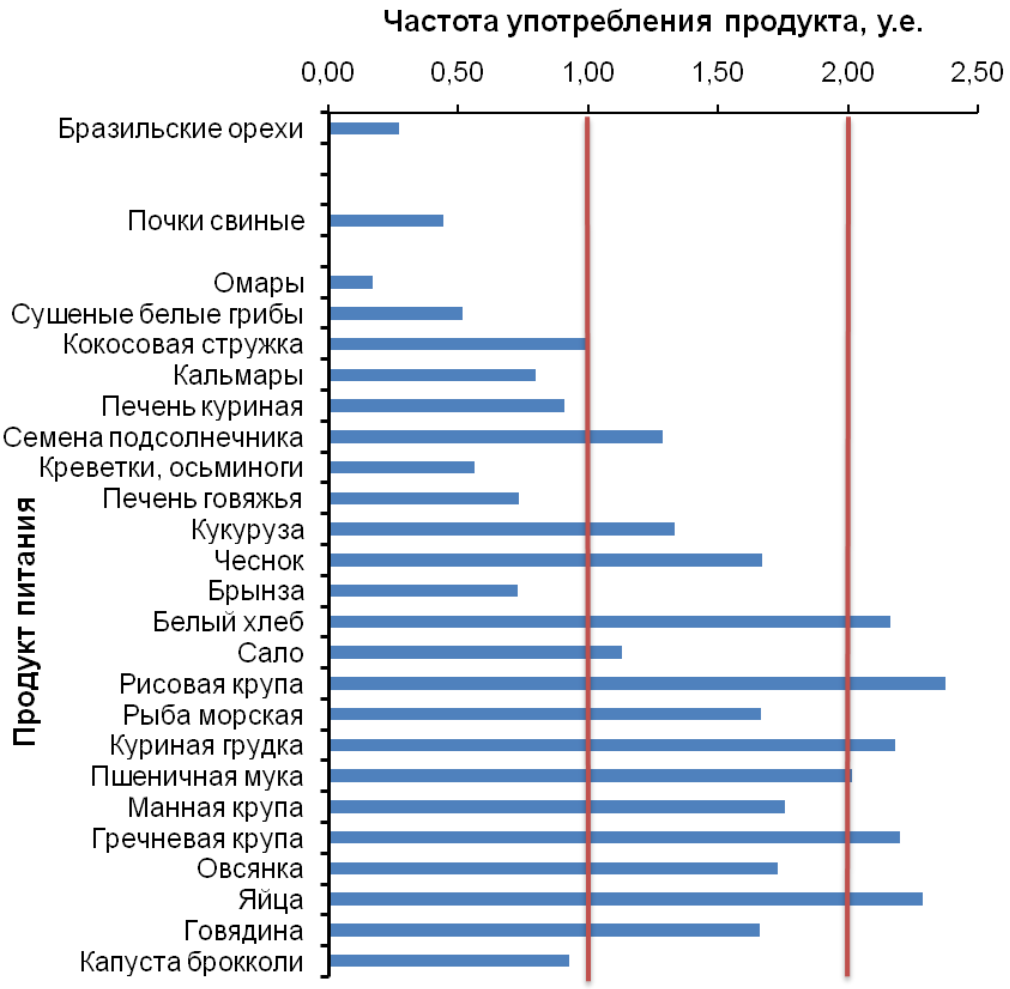
76,2% опрошенных никогда не пробовали продукт, содержащий максимальную концентрацию селена — бразильский орех, хотя одно его ядро способно удовлетворить суточную потребность человека в указанном микроэлементе. Морепродукты и кокосы, также выступающие богатейшими источниками селена, являются экзотическими продуктами в средней полосе России, особенно для изучаемой социальной группы, поэтому уровень их потребления крайне низок. Мучные изделия, сладости, полуфабрикаты и консервы, которые в большом объеме представлены в студенческом рационе, препятствуют усвоению селена.

Основными источниками поступления селена в организм исследуемых студентов являются пшеница и производимые из нее продукты (хлебобулочные изделия, выпечка), рис и курица.

Учитывая, что растительная и животная сельскохозяйственная продукция, произведенная на основе регионального сырья, отличается пониженным содержанием изучаемого микроэлемента и не позволяет выбрать суточную норму с рационом, то становится очевидной необходимость коррекции селенового статуса организма жителей Чувашской Республики. Особенно это касается студентов, которые приезжают на учебу в столицу из сельской

местности, проживают преимущественно в общежитиях и продолжают питаться в основном продуктами, выращенными или произведенными в собственном домашнем хозяйстве.

| Содержание селена в продукте, мкг/100 г продукта |
|---|
| 1530 |
| 270 |
| 130 |
| 100 |
| 80 |
| 66 |
| 55 |
| 49 |
| 45 |
| 40 |
| 30 |
| 30 |
| 25 |
| 25 |
| 21 |
| 20 |
| 20 |
| 16 |
| 15 |
| 15 |
| 13 |
| 12 |
| 10 |
| 2,8 |
| 2,5 |




**ШКАЛА ОЦЕНКИ: 0 – никогда не пробовал, 1 – периодически, 2 – иногда, 3 – часто**

**Рис. 4.** Частота употребления студентами продуктов питания с разными уровнями содержания селена

Компенсация недостаточного поступления селена с пищей может быть осуществлена путем планового включения в рацион селеносодержащих биологически активных добавок [12]. Согласно опросу только 11,5 % студентов принимают какие-либо биодобавки, и 33,1% – поливитаминные комплексы. Необходимо развивать культуру потребления морепродуктов и орехов, а также включать в рацион доступные продукты, богатые изучаемым эссенциальным микроэлементом – чеснок, куриные, свиные и говяжьи субпродукты, семена подсолнечника.

## Заключение.

Таким образом, совершенствование морфо-физиологического статуса студентов Чувашской Республики целесообразно проводить оптимизацией их питания во взаимосвязи с биогеохимическими условиями посредством включения в рацион продуктов, богатых селеном с одновременным ограничением чрезмерного приема легкоусвояемых углеводов; увеличения в рационе доли продуктов, произведенных из привозного сырья; увеличения разнообразия питания; приема функциональных пищевых продуктов; использования селеносодержащих биодобавок.

**Список литературы**

[1] В.А. Барабой, Биологические функции, метаболизм и механизмы действия селена, *Успехи современной биологии*. Т. 124, №2. (2004).
[2] Е.А. Хохлова, Л.В. Тарасова, Т.Е. Степашина, Участие селена и цинка в патогенезе воспалительных заболеваний желудочно-кишечного тракта (анализ литературных данных), *Вестник ЧГУ.* №**3** (2011).
[3] В.А. Тутельян, В.А. Княжев, С.А. Хотимченко, Н.А. Голубкина, Н.Е. Кушлинский, Я.А. Соколов, *Селен в организме человека: метаболизм, антиоксидантные свойства, роль в канцерогенезе*. М. (2002).
[4] Н.А. Агаджанян, Н.В. Толмачева, Ж.В. Маслова, А.Ш. Капланова, Физиологическое обоснование причинно-следственных связей артериальной гипертонии с эколого-биогеохимическими факторами, *Фундаментальные исследования*. **№11.** (2010).
[5] Н.В. Толмачева, В.Л. Сусликов, Ж.В. Маслова, А.С. Анисимова, Научно обоснованный подход в нормировании микроэлементов как необходимый этап в профилактике хронических неинфекционных заболеваний, *Фундаментальные исследования*. **№1-9.** (2015).
[6] М.Н. Лежнина, Онтогенетические особенности неспецифической резистентности и метаболизма у свиней в биогеохимических условиях Алатырского Засурья Чувашии, *Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана*. **№222 (2)**. (2015).
[7] Н.Х. Амиров, Е.А. Хохлова, Эндемические и биогеохимические особенности территории Чувашской Республики, *Вестник Российской академии медицинских наук.* № **8**. (2010).
[8] Е.А. Хохлова, Л.В. Тарасова, Природный дефицит микроэлементов как одна из причин особенностей течения заболеваний органов пищеварения в Чувашии, *ЭиКГ*. **№4.** (2010).
[9] В.Л. Сусликов, Е.А. Хохлова, В.А. Козлов, А.Ш. Капланова Характер питания сельского населения Чувашской Республики в динамике за период 1980-2001 г. *Микроэлементы в медицине*. Т. 2. № 3. (2001).
[10] Д.В. Голубкина, Характеристика пищевой цепи переноса селена в условиях Чувашии. *Микроэлементы в медицине*. № **4**. (2003).
[11] Л.В. Тарасова, Е.А. Хохлова, Т.Е. Степашина, А.В. Степанова, Оценка особенностей рациона питания практически здоровых жителей Чувашской республики, *Медицинский альманах*. **№2.** (2011).
[12] A.V. Nikulina, I.Y. Pakhomova Effects of biosubstance selenes+ and additional physical exercises on adaptation of junior students to the conditions of studying in the higher school, *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. Т. **159**. №**2**. (2015).

# НАНО СЕРЕБРО – ДОСТОЙНАЯ АЛЬТЕРНАТИВА АНТИБИОТИКАМ В БИТВЕ ЧЕЛОВЕКА С ПАТОГЕННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ

**Ю.В. Банный**

ovalburg@gmail.com

## ВВЕДЕНИЕ

### Конец эры антибиотиков. Итог.

«**Эра антибиотиков**» в современной медицине, да и не только в медицине, началась с 1940 года, и критически не пересматривалась до сих пор несмотря тревожные сигналы последних лет. Действительно, человечеству удалось вырвать у природы усредненное «по больнице» увеличение продолжительности жизни на 20 лет. Но инфекции антибиотиками победить не удалось. В сегодняшнем мире, продолжают уносить ежегодно не менее 20 миллионов жизней, особенно в детском и подростковом возрасте. К тому же, уже невозможно найти абсолютно здоровых людей в возрасте старше 40 лет.

Сегодня видим, как эпидемии инфекционных болезней вновь охватывают весь земной шар, распространяясь теперь уже с беспрецедентной скоростью, обусловленной современными условиями жизни, которые способствуют быстрейшему распространению возбудителей заболеваний.

По данным ВОЗ, доля инфекционных болезней по-прежнему составляет 24,7% смертности во всем мире, достигая в развивающихся странах 45%. В статистике детской смертности инфекционные заболевания составляют 63% всех детских смертельных случаев. Возбудители многих инфекционных болезней стали резистентными к антибиотикам, другие, обычные в организме, превратились, по какой-то не совсем понятной причине, в высоко патогенные.

С начала семидесятых годов прошлого столетия уже было открыто более тридцати новых видов инфекций. В их числе, кроме новых вирусов и паразитарных агентов, «обновлённые» бактериальные инфекций. В том числе такие, ныне широко известные, как *золотистый стафилококк, эшерихия коли* (геморрагический колит), *бореллия* (возбудитель болезни Лайма и, по некоторым данным, паркинсонизма), *хеликобактер пилори* (язвенная болезнь желудка), *бартонелла* (болезнь кошачьей царапины) и т.д.

Класс высоко патогенных микроорганизмов, устойчивых к последнему рубежу защиты человечества от возбудителей, баснословному по цене, антибиотику последнего поколения из разряда **карбапанем,** получил даже условное название **КЭУ – карбапенем устойчивые энтеробактерии**. Вскоре, мы все чаще будем слышать об этом грозном термине.

Это те самые возбудители, на которые должны были бы действовать антибиотики. Но они уже не действуют. Как раз их широкое распространение и привело к возникновению резистентных видов бактерий. Неотъемлемое свойство живой материи – выживать.

В 2000 году в США было выпущено почти 23 тысячи тонн антибиотиков, а американские врачи прописывают ежегодно более 100 миллионов курсов антибиотикотерапии. Антибиотики широко применяются также и в сельском хозяйстве, где они играют важную роль в лечении и профилактике инфекций у скота и птицы.

Кроме того, многие хронические заболевания связаны с вялотекущими, так называемыми, «медленными» инфекциями, и многие из этих заболеваний в настоящее время отнесены медициной к разряду «болезней неясной этиологии», поскольку излечить их антибиотиками, как правило, не удается.

Но особую тревогу вызывают всё же *акинетобактерии, псевдомоны* и старые, как мир, *кишечные палочки* в новой упаковке. Эпидемиологические власти США называют внутрибольничную *Клебсиеллу пневмония* из разряда КЭУ, своим «кошмарным сном», для которой

**не существует лечения.** А если уж такие важнейшие эпидемиологические учреждения мира, как «CDC» (Центр Контроля и Предотвращения Заболеваний США), бьют в гонг и объявляют о своем бессилии перед новыми инфекциями, то с эпидемиологической точки зрения, плохи дела человечества. Данная инфекция демонстрирует 50% смертности и экспоненциальный рост в госпиталях. Ею уже заражено 4% медучреждений США.

**Обратная сторона антибиотиков**:

**Избирательность для патогенов** (требуется проведение, т.н. антибиотикограммы, которую мало, кто из врачей назначает, для определения чувствительности конкретного инфекционного агента к антибиотику), с одной стороны, а, с другой, **не избирательное уничтожение полезной флоры**. Надо учитывать, что природным барьером организма от болезнетворных микробов является наша кишечная микрофлора. Противоречие - на лицо.

Рано или поздно, позволяют микромиру вырабатывать эффективную защиту, *резистенцию*, что принуждало человечество к постоянной гонке с микробами и к баснословной выгоде для фармацевтических гигантов. Хотя, в последнее время, из-за нерентабельности качественно новых разработок и отсутствие гарантий успеха, гонка оказалась проигранной. А сам путь - бесперспективным. Во всяком случае, для широких масс.

Все антибиотики являются клеточными ядами, а значит токсичны. Чем эффективнее, тем токсичнее, тем больше побочных эффектов вызывает. В первую очередь, поражают здоровье печени и почек. Приводят к неправильному развитию и заболеваниям костей и зубов у детей, ослабление слуха, малокровие, поражение ЦНС, аутизм и т.д. Кроме вреда здоровью, их применение вызывает еще и психологическую зависимость. Наступает привыкание к определенному виду препаратов, требуются все более сильнодействующие. Организм вполне здорового человека может саморазрушиться.

Пожалуй, самый значимый аспект широкого применения антибиотиков, это – изменение равновесие микробиологической среды Земли в сторону вредных для человека микроорганизмов и грибков. В частности, в микрокосмосе кишечника человека. Обеспокоенность медицинской общественности вызывает и повсеместное распространение грибковых инфекций.

**Проблема антибиотиков – иллюстрирует бесперспективность модели нынешней науки, упорно отказывающейся от цельного и взаимосвязанного видения, как внешнего мира, так и микрокосмоса человеческого организма.**

На серебро, которое традиционно считалось ресурсом от всякой «нечисти», и ныне, в **пост-антибиотиковой эре,** возлагаются надежды в сегменте общедоступной медицины.

## ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРЕБРА

- Обладает антибактериальным, противовирусным и иммуномодулирующим свойством.
- Общеоздоравливающее действие. Требуется организму для нормальной деятельности ЖВС, печени, костной ткани.
- Ионы серебра легко вступают в связь с токсинами, образуя соединения, препятствующие проникновению ядов в живой организм. В воде сохраняют максимальную активность. Молекулы воды образуют вокруг иона серебра устойчивую оболочку, которая сохраняет свободное и активное состояние иона серебра. Под защитой молекул воды, ионы серебра легко проникают в организм человека – как через пищеварительный тракт, так и через кожу. **В кровеносной системе они проникают в вирусы, бактерии и грибки, где, соединяясь с дыхательным ферментом, блокируют его способность передавать кислород.** Патогенный организм погибает от «удушья».
- Серебро способствует росту полезной (защитной) флоры в кишечнике. **Серебро реагирует только на микроорганизмы без устойчивой мембраны, какими являются вирусы и патогены.**

- Когда спектр действия самых лучших антибиотика – 5-10 видов бактерий, серебра - от 650 до 700 микробов, вирусов и грибков.
- Патогенные микроорганизмы не в состоянии выработать к серебру сопротивляемость.
- Обеззараживающие свойства ионов серебра в 5 раз сильнее, чем у хлора, хлорной извести, гипохлорита натрия и др. Но растворы серебра не имеют запаха и вкуса.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА КОЛОИДНОГО СЕРЕБРА НАД АНТИБИОТИКАМИ:**

- спектр действия распространяется на 650 видов бактерий, антибиотика – на 5-10;
- не вырабатывается невосприимчивость бактерий;
- не такое вредное побочное влияние на организм (печень, почки, кровь);
- может применяться у лиц с индивидуальной непереносимостью к антибиотикам, детей, беременных и ослабленных;
- обладает антивирусной активностью (доказана эффективность на вирусы гепатита, ВИЧ, гриппа;
- позволяет профилактический прием небольших доз, укрепляя неспецифический иммунитет, оказывая иммуномодулирующее действие;
- синергически сочетается с другими препаратами;
- описаны обнадеживающие результаты в онкологии. Вероятно, из-за участия микробиологического фактора в онкогенезе и иммунного усиления.

Помимо медицины, потенциальный рынок растворов коллоидного серебра, привлекателен в таких областях, как ветеринария, товары личной гигиены, гипоаллергенная косметика, дезинфекция помещений и воздуха, например, в салонах самолетов и другого общественного транспорта, так и аэрозольное увлажнении воздуха в общественных помещениях.

**Список литературы**

Ю.А. Букина, Е.А. Сергеева Антибактериальные свойства и механизм бактерицидного действия наночастиц и ионов серебра // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – №14 – С. 170 – 172.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

# ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЩАВЕЛЕВОЙ КИСЛОТЫ С АЛИФАТИЧЕСКИМИ АМИДАМИ

**О. В. Кольцова, Ю. Ю. Пыльчикова, А. Ю. Цыпленкова, М.А. Ершов**

*Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева*
*428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 38*
*E-mail: rektorat@chgpu.cap.ru*

Методами физико-химического анализа изучено взаимодействие щавелевой кислоты с алифатическими амидами, а именно с формамидом и карбамидом. Получены новые комплексные соединения, обладающие ростстимулирующим действием.

The intereaction between the ethan diacide and aliphatic amides, more specifically formamide and carbmide, has been studied using physical and chemical methods. The novel complex molecular compounds with growth promoting activity were obtained.

1. **Введение.** Дикарбоновые кислоты обладают физиологической активностью. Они и их производные используются в качестве удобрений, инсектицидов. Щавелевая кислота повышает устойчивость растений к воздействию неблагоприятных факторов (засуха, холод, избыток или недостаток влаги, недостаточная освещенность), снижает заболеваемость растений, повышает содержание в листьях хлорофилла, что проявляется в существенном увеличении урожайности [1, 3]. Азот также очень важный элемент для жизни растений. Он входит в состав тех сложных соединений, из которых строится белок – основа всего живого. При плохом азотном питании в листьях уменьшается содержание хлорофилла. Они теряют интенсивно-зеленую окраску, становятся светло-зелеными. Размер листовой пластинки уменьшается, рост побегов ослабевает [2].

Алифатические амиды, соединения на их основе являются составными компонентами в производстве фармакологических препаратов, синтетических моющих, поверхностно-активных веществ, антикоррозионных средств в атмосферных условиях и нейтральных водных средах, стимуляторов роста и развития растений. Немаловажно их использование в качестве бактерицидных препаратов, инсектицидов и гербицидов.

В этой связи изучение взаимодействия дикарбоновых кислот с алифатическими амидами представляет значительный научный и практический интерес в плане синтеза новых биогенных препаратов и расширения их арсенала. Учитывая биогенные свойства исходных компонентов, можно предположить, что полученные комплексы так же будут обладать физиологической активностью [6-16].

Целью исследования явилось изучение взаимодействия щавелевой кислоты (ЩК) с формамидом (ФА) и карбамидом (КА) в водной среде методами изотермической растворимости с использованием денси-, рефракто- и pH метрии при 25°С.

2. **Материал и методы.** Исследование проводили методами изотермической растворимости, денси-, рефракто- и pH-метрии [4]. Для опытов использовали щавелевую кислоту марки «х.ч.», а также формамид $HCONH_2$ и карбамид $(H_2N)_2CO$ той же квалификации.

Изотермическую среду создавали в водном термостате 1ТЖ-0-03 с точностью ±0,1°С. Равновесие в системе при постоянном энергичном перемешивании устанавливалось через 8-10 ч. Взятие проб жидких и твердых фаз производили, фильтруя насыщенные равновесные растворы через стеклянный фильтр Шотта средней пористости. Плотность растворов изме-

ряли пикнометрически, показатель преломления – на рефрактометре ИРФ-454Б, pH – на pH-метре марки МУЛЬТИТЕСТ ИПЛ-102.

Анализ жидких и твердых фаз на дикарбоновую кислоту проводили алкалиметрически в присутствии индикатора метилрот и фенолфталеина, азот амида определяли методом Кьельдаля. Составы кристаллизующихся твердых фаз устанавливали по Скрейнемакерсу.

Идентификацию полученных соединений проводили химическим анализом.

3. **Результаты и их обсуждение.** Изучение системы $H_2C_2O_4$ – $HCONH_2$ – $H_2O$ начали со стороны щавелевой кислоты. В насыщенном растворе в донном осадке ЩК находилась в большом избытке и занимала значительную часть реакционной массы. Диаграмма растворимости системы $H_2C_2O_4$ – $HCONH_2$ – $H_2O$ состоит из двух ветвей. Первая, небольшая ветвь, соответствует кристаллизации исходной дикарбоновой кислоты $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$. Согласно экспериментальным данным, растворимость ЩК в воде при 25°С составляет 10,20% мас.%. После отбора пробы на химический анализ в каждый последующий опыт добавлялось примерно по 1 мл ФА. По мере добавления ФА растворимость ЩК возрастает до 18,02 мас.% в эвтонической точке.

Далее вторая ветвь свидетельствует об образовании нового соединения. Прямолинейные лучи, соединяющие фигуративные точки жидких фаз и твердых остатков, при закономерном продолжении сходятся в точке образования нового соединения, химический состав которого 49,52 мас.% $H_2C_2O_4$ и 50,48 мас.% $HCONH_2$. Это соответствует молекулярной формуле $H_2C_2O_4 \cdot 2HCONH_2$. Соединение, отвечающее составу $H_2C_2O_4 \cdot 2HCONH_2$, представляет собой бесцветные кристаллы.

Для исследования системы со стороны ФА готовили 80% раствор и постепенно добавляли к нему ЩК. Вначале она полностью растворялась, затем начинала образовываться твердая фаза. Химический анализ показал, что ее состав тот же, что и полученный при изучении системы со стороны ЩК $H_2C_2O_4 \cdot 2HCONH_2$. Отмечено, что формамид как жидкое вещество при данной температуре не имеет ветви кристаллизации и на кислоту оказывает незначительный всаливающий эффект.

Растворимость в системе щавелевая кислота – карбамид – вода ранее не изучалась. Растворимость чистого карбамида при 25°С составляет 54,80%, а щавелевой кислоты – 10,20 %.

По изотерме растворимости при 25°С системы $H_2C_2O_4$ – $(NH_2)_2CO$ – $H_2O$ нами проведено 13 опытов. Кривая растворимости данной системы представлена тремя ветвями. Первая ветвь очень мала. Она доходит до эвтонической точки, раствор которой содержит 14,49 % щавелевой кислоты и 13,27 % карбамида. Лучи Скрейнемакерса от этой ветви расходятся веерообразно, указывая на переменный состав твердой фазы.

Выше эвтонической точки находится вторая ветвь кривой насыщения, характеризующая кристаллизацию в твердую фазу двойного соединения. Точка пересечения лучей, соединяющих фигуративные точки растворов и твердых остатков, лежит на гипотенузе, что свидетельствует об образовании безводного соединения состава 60,00% щавелевой кислоты и 40,00% карбамида. В пересчете на молекулярное соотношение компонентов соединение выражается – 1:2 и соответствует химической формуле $H_2C_2O_4 \cdot 2(NH_2)_2CO$.

Третья ветвь, идущая из второй эвтонической точки, с содержанием 4,11 % щавелевой кислоты и 52,54 % карбамида, отвечает выделению карбамида.

На образование соединения в системах $H_2C_2O_4$ – $HCONH_2$ – $H_2O$, $H_2C_2O_4$ – $(H_2N)_2CO$ – $H_2O$ указывают также изотермы pH, плотности, показателя преломления и суммы молей солей на 1000 молей воды при 25°С. Они также состоят из трех ветвей насыщения, что подтверждает характер диаграммы растворимости

Разработана методика синтеза новых соединений. Испытание физиологической активности комплексов $H_2C_2O_4 \cdot 2HCONH_2$ и $H_2C_2O_4 \cdot 2(H_2N)_2CO$, полученных при изучении систем $H_2C_2O_4$ – $HCONH_2$ – $H_2O$ и $H_2C_2O_4$ – $(H_2N)_2CO$ – $H_2O$, проводили в условиях лабораторных опытов. Нами было изучено влияние соединений на энергию прорастания (ЭП) и лабораторную

всхожесть (ЛВ) семян сельскохозяйственных культур. Для этого были использованы яровая пшеница сорта «Московская 35» и овес сорта «Адамо».

Определение всхожести и энергии прорастания семян проводилось согласно ГОСТ 12038-86 «Семена сельскохозяйственных культур. Методика определения всхожести» с температурным режимом 25°С и одноразовой суточной вентиляцией чашек Петри [5]. Учет проросших семян проводили в два срока в соответствии с ГОСТом. Повторность опытов – трехкратная. На третий день, путем подсчета проросших семян, устанавливали энергию прорастания, а на седьмой день определяли лабораторную всхожесть. Исследовали следующие концентрации веществ: 0,005, 0,003, 0,001 и 0,0005%. В качестве контроля использовалась дистиллированная вода.

Выявлено, что во всех вариантах эффективнее действуют растворы синтезированных соединений. Было установлено, что оптимальными концентрациями для предпосевной обработки семян являются в случае пшеницы 0,001% растворы, а для овса – 0,003%. В среднем энергия прорастания семян пшеницы увеличивается на 11%, а лабораторная всхожесть на 13%; а семян овса – на 12%, лабораторная всхожесть на 14%.

## 4. Выводы

1. Методами изотермической растворимости, денси-, рефракто- и pH-метрии изучены трехкомпонентные системы $H_2C_2O_4 – HCONH_2 – H_2O$, $H_2C_2O_4 – (H_2N)_2CO – H_2O$ при 25°С.
2. Установлено образование комплексных соединений $H_2C_2O_4 \cdot 2HCONH_2$ и $H_2C_2O_4 \cdot 2(NH_2)_2CO$.
3. Разработана методика синтеза комплексов.
4. Показано, что новые соединения обладают физиологической активностью. Опыты, проведенные на семенах яровой пшеницы сортов «Московская–35» и овса сорта «Адамо», показали, что оптимальными концентрациями для предпосевной обработки семян являются в случае пшеницы 0,001%, а для овса – 0,003% растворы соединений. В среднем энергия прорастания семян пшеницы увеличивается на 11%, а лабораторная всхожесть на 13%; а семян овса – на 12%, лабораторная всхожесть на 14%.

## Список литературы

[1] Пейве Я.В., Микроэлементы – регуляторы жизнедеятельности и продуктивности растений – Рига: Зинатне, 1971.
[2] Нейланд О.Я., Органическая химия – Москва: Высшая школа, 1990.
[3] Радцева Г.Е., Радцев В.С., Физиологические аспекты действия химических регуляторов роста на растения – Москва : Наука, 1982.
[4] Аносов В.Я., Озерова М.И., Фиалков Ю.Я., Основы физико-химического анализа – Москва : Наука, 1978.
[5] Практикум по физиологии растений. Под ред. проф. И.М. Гунара – Москва : Колос, 1972.
[6] Иванова Л. В. Изучение тройной системы щавелевая кислота – ацетамид – вода / Л.В. Иванова, О.В. Кольцова, Ю.Ю. Пыльчикова, А.Ю. Цыпленкова, В.Г. Скворцов // Химия и современность : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием – Чебоксары: ЧГПУ, 2014. – С. 46–48.
[7] Емашова С. С. Исследование гетерогенных равновесий в тройной системе малоновая кислота – ацетамид – вода / С. С. Емашова, А. В. Потапова, О. В. Кольцова, Ю. Ю. Пыльчикова, А. Ю. Цыпленкова // Химия и современность : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием – Чебоксары: ЧГПУ, 2014. – С. 48–50.
[8] Кольцова О. В. Взаимодействие щавелевой кислоты с формамидом / О.В. Кольцова, Ю.Ю. Пыльчикова, А.Ю. Цыпленкова, О.Ф. Самылкина // Современные проблемы есте-

ственнонаучных исследований : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием – Чебоксары: ЧГПУ, 2014. – С. 38–39.
[9] Пыльчикова Ю. Ю. Взаимодействие малоновой кислоты с формамидом / Ю.Ю. Пыльчикова, О.В. Кольцова, А.Ю. Цыпленкова, Н. В. Зарева // Современные проблемы естественнонаучных исследований : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием – Чебоксары: ЧГПУ, 2014. – С. 40–41.
[10] Цыпленкова А.Ю. Система $C_2H_4(COOH)_2$ – $CH_3CONH_2$ – $H_2O$ при 25˚С / А.Ю. Цыпленкова, О.В. Кольцова, Ю.Ю. Пыльчикова, М.А. Ершов, О.М. Стапеева // Современные проблемы химической науки и фармации : материалы III Всерос. конф. с междунар. участием – Чебоксары: Изд-во ООО «Крона», 2014. – С. 35–36.
[11] Краснова Д. В. Высокоэффективные биогенные соединения на основе дикарбоновых кислот и органических производных аммиака/ Д. В. Краснова, А. Ю. Цыпленкова, О. В. Кольцова // Участник молодежного научно-инновационного конкурса (УМНИК 2014) : материалы XI Республиканского конкурса инновационных проектов – Чебоксары, 2014. – С. 97–98.
[12] Tsyplenkova A.Y. Research of dicarboxylic acids interaction with some aliphatic amides / A.Y. Tsyplenkova // Science without borders : materials of the XI Intenational scientific and practical conference V. 18. Medicine. Chemistry and chemical technology. – Sheffeld : Science andeducation LTD, 2015. – С. 95–96.
[13] Цыпленкова А.Ю. Исследование взаимодействия дикарбоновых кислот с некоторыми алифатическими амидами / А. Ю. Цыпленкова // Международный научный журнал «Инновационная наука». – Уфа : Науч.-изд-ий центр «Аэтерна», 2015. – №4. – Ч.3. – С. 18–20.
[14] Цыпленкова А.Ю. Фазовый состав продуктов взаимодействия дикарбоновых кислот с органическими производными аммиака / А.Ю. Цыпленкова, О.В. Кольцова, М.А. Ершов, А.Д. Рахимов // Современные проблемы химической науки и фармации : сб. материалов IV Всерос. конф. с междунар. участием, посв. 80-летию со дня рождения В.В. Базыльчика. – Чебоксары : Изд-во ООО «Крона», 2015. – С. 80.
[15] Цыпленкова А. Ю. Взаимодействие дикарбоновых кислот с алифатическими амидами / А. Ю. Цыпленкова, О. В. Кольцова // Студент и научно-технический прогресс : материалы 53-ой Междунар. научн. студен. конф. – Новосибирск: НГУ, 2015. – С. 48.
[16] Цыпленкова А.Ю. Исследование взаимодействия янтарной кислоты с формамидом / А.Ю. Цыпленкова, О.В. Кольцова Ю.Ю. Пыльчикова, М.А. Ершов // Научные исследования и образовательные практики в XXI веке: состояние и перспективы развития : материалы Междунар. научно-практ. конф. – Смоленск: ООО «Новаленсо», 2015. – С. 120–121.

УДК 547.512+547.1′18 +632.95

# ПЕСТИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ ФОСФОРИЛИРОВАННЫХ ЭФИРОВ ПЕРМЕТРИНОВОЙ КИСЛОТЫ

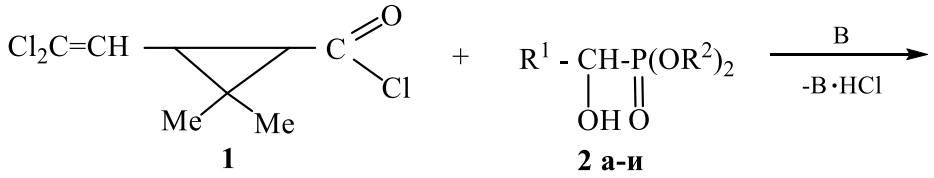
**Ю. Н. Митрасов[1], О. А. Колямшин[2], Е. А. Иванова[2]**
*[1]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева», г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 38*
*e-mail: mitrasov_un@mail.ru*
*[2]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова», г. Чебоксары, Московский пр., 15*
*e-mail: oleg.kolymshin@yandex.ru*

На основе изучения пестицидной активности фосфорилированных эфиров перметриновой кислоты показана их невысокая фунгицидная и средняя гербицидная активности, а также отсутствие инсектоакарицидного действия.
**Ключевые слова:** фосфорилированные эфиры перметриновой кислоты, фунгицидная, инсектоакарицидная и гербицидная активность.

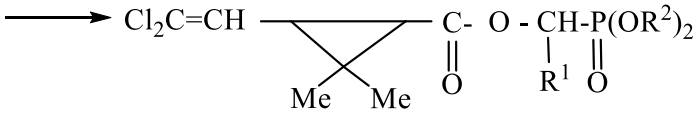
Based on the study of pesticidal activity of phosphorylated esters permethrinum acids are shown by their low average fungicidal and herbicidal activity, and lack of insectoacaricide of action.
**Keywords:** phosphorylated esters permethrinum acid, fungicidal, herbicidal and insectoacaricide activity.

**1. Введение.** Известны пестицидные свойства целого ряда производных циклопропанкарбоновой кислоты, которые широко применяются в сельском хозяйстве. Наибольшие масштабы использования наблюдаются для эфиров хризантемовой и 3-(2,2-дигалогенвинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоновых кислот (пиретроиды 1 и 2 поколений) [1-3]. Они являются синтетическими аналогами природных пиретроидов (пиретринов). По сравнению с природными пиретринами современные синтетические пиретроиды (синтезировано более 8000 соединений) обладают гораздо более высокой инсектицидной активностью, медленнее дезактивируются в организме насекомых, обладают достаточно высокой фотостабильностью. Поэтому современные пиретроидные инсектициды представляют собой мощные средства защиты от различных членистоногих. В настоящее время они применяются в растениеводстве для защиты от вредителей, в животноводстве для защиты от кровососущих насекомых, клещей и паразитов, для борьбы с екзопаразитамы скота, для уничтожения насекомых в жилых и производственных помещениях, для защиты от комаров, мух, клещей [2]. Вместе с тем, следует отметить отсутствие акарицидного дейст –ия у большинства синтетических пиретроидов, что является их недостатком. Поэтому предложено применение пиретроидов в смеси с фосфорорганическими инсектицидами. Другим решением этой проблемы может явиться введение различных фосфорных групп в состав пиретроидов. В связи с этим представляет повышенный интерес синтез фосфорилированных эфиров 3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоновой (перметриновой) кислоты и изучение их пестицидной активности.

**2. Материал и методы.** Для введения фосфорных групп в состав перметриновой кислоты использовали взаимодействие ее хлорангидрида (**1**) с фосфорилированными спиртами. В качестве последних применяли легкодоступные диалкил[1-гидрокси-1-(2,2-дихлорциклопропил)]метилфосфонаты (**2а-и**), которые легко синтезируются при взаимодействии формальдегида, акролеина или 2,2-дихлорциклопропанкарбальдегида с диалкилфосфитами по Абрамову [4, 5]. Получение фосфорилированных эфиров перметриновой кислоты (**3а-и**) проводили в среде абсолютного бензола или толуола в присутствии органического основания (триэтиламин или пиридин) при температуре 60-70°С [5]. Полученные соединения представляют собой трудно перегоняющиеся [за исключением эфиров (**3 а, б**)] густые жидкости светло-желтого цвета, хорошо растворимые в обычных органических растворителях и мало растворимые в воде.



**1** **2 а-и**



**3 а-и**

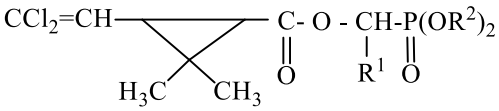
$R^1$ = H, $R^2$ = Me (а); $R^1$ = CH = $CH_2$, $R^2$ = Me (б); $R^1$ = $CH_2CCl_2CH$, $R^2$ = Me (в), Et (г), Bu (д);
$R^1$ = 3-$PhOC_6H_4$, $R^2$ = Me (е), Et (ж), Bu (з); $R^1$ = 3-(2-$MeC_6H_4O$)$C_6H_4$, $R^2$ = Me (и).
B = $C_5H_5N$, $Et_3N$.

Пестицидная активность фосфорилированных эфиров перметриновой кислоты изучалась во Всесоюзном научно-исследовательском институте химических средств защиты растений (паспорт № 000209-90). Первичный скрининг проводился по стандартным методикам на установленных тест-объектах при стандартных отсекающих концентрациях в сравнении с эталоном. Инсектоакарицидная, гербицидная и фунгицидная активности определялась *in vivo.*

**3. Результаты и их обсуждение.** Результаты испытаний на пестицидную активность фосфорилированных эфиров перметриновой кислоты (**3а-и**) приведены в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1**

Результаты испытаний на фунгицидную активность фосфорилированных эфиров перметриновой кислоты (**3 а-и**)



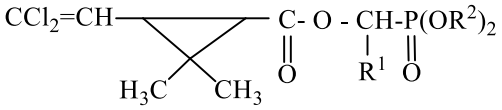
| № п/п | $R^1$ | $R^2$ | Тест-объект (% подавления развития болезней) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Мучнистая роса | Серая гниль бобов |
| 1 | H | $CH_3$ | 69 | 0 |
| 2 | $CH_2$=CH- | $CH_3$ | 19 | 0 |
| 3 | $CH_2CCl_2CH$– | $CH_3$ | 69 | 0 |
| 4 | $CH_2CCl_2CH$– | $C_2H_5$ | 75 | 0 |
| 5 | $CH_2CCl_2CH$– | $C_4H_9$ | 68 | 0 |
| 6 | 3-$C_6H_5OC_6H_4$- | $CH_3$ | 57 | 0 |
| 7 | 3-(2-$CH_3C_6H_4O$)$C_6H_4$- | $CH_3$ | 43 | 0 |
| 8 | 3-$C_6H_5OC_6H_4$- | $C_2H_5$ | 19 | 0 |
| 9 | 3-$C_6H_5OC_6H_4$- | $C_4H_9$ | 70 | 0 |
| 10 | Эталоны: – каратан<br>– эупарен | | 100 | <br>100 |

В целом испытания показали невысокую фунгицидную активность большинства соединений. Однако в ряде случаев введение (диалкоксифосфорил)-*гем*-дихлорциклопрпилметильной группы в сложноэфирный фрагмент дает определенный положительный эффект. Так, среднюю фунгицидную активность (таблица №1) проявил 1-(2,2-дихлорциклопропил)-1-диэтоксифосфорилметиловый эфир 3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоновой кислоты (**3г**) (*муч-*

*нистая роса*), а диметоксифосфорилметиловый эфир 3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоновой кислоты (**3а**) по гербицидной активности приближается к эталону, но уступает по активности известным соединениям подобного строения. Остальные соединения подавляют развитие болезней только на 19-70%. Результаты испытаний фосфорилированных эфиров перметриновой кислоты (**3а-и**) показали, что по гербицидной активности, за исключением эфира (**3а**), обладают средней биологической активностью (таблица 2).

**Таблица 2**

Результаты испытаний на гербицидную активность фосфорилированных эфиров перметриновой кислоты (в % подавления растений) (**3 а-и**)



| № п/п | $R^1$ | $R^2$ | Довсоходовое внесение | | | Обработка в вегетацию | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | овес | соя/горч. | горч./ред. | овес | соя/горч. | горч./ред. |
| 1 | H | $CH_3$ | 40 | 0 | 60 | 40 | 40 | 100 |
| 2 | $CH_2$=CH- | $CH_3$ | 20 | 0 | 40 | 40 | 40 | 60 |
| 3 | $\overline{CH_2CCl_2CH}$– | $CH_3$ | 0 | 0 | 40 | 0 | 0 | 20 |
| 4 | $\overline{CH_2CCl_2CH}$– | $C_2H_5$ | 0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | $\overline{CH_2CCl_2CH}$– | $C_4H_9$ | 20 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 3-$C_6H_5OC_6H_4$- | $CH_3$ | 0 | 0 | 80 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 3-(2-$CH_3C_6H_4O$)$C_6H_4$- | $CH_3$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 3-$C_6H_5OC_6H_4$- | $C_2H_5$ | 0 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 3-$C_6H_5OC_6H_4$- | $C_4H_9$ | 0 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 |

Результаты испытаний фосфорилированных эфиров перметриновой кислоты (**3а-и**) на инсектоакарицидную активность, проведенные на мухах, жуках и клещах, к сожалению, показали полное отсутствие этой активности.

**Выводы.** Фосфорилированные эфиры перметриновой кислоты обладают невысокой или средней фунгицидной и гербицидной активностью, но не проявляют инсектоакарицидного действия.

## Список литературы

1. Мельников Н.Н. Пестициды. Химия, технология и применение / Н.Н. Мельников. – М. : Химия, 1987. – С. 170–191.
2. Ткачев А. В. Пиретроидные инсектициды – аналоги природных защитных веществ растений / А.В. Ткачев // Соросовский обрзовательный журнал. – 2004. – Т. 8. №2. – С. 56–63.
3. Жуленко В.Н. Ветеринарная токсикология / В.Н. Жуленко, М.И. Рабинович, Г.А. Таланов. – М. : Колос, 2001. – 392 с.
4. Абрамов В.С. О взаимодействии диалкилфосфористых с альдегидами и кетонами. Новый метод получения эфиров α-оксифосфоновых кислот / В.С. Абрамов // Докл. АН СССР. – 1950. – Т. 73. – № 4. – С. 487–489.
5. Кормачев В.В. Синтез фосфорсодержащих эфиров 3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоновой кислоты / В.В. Кормачев, О.А. Колямшин, Ю.Н. Митрасов, Е.А. Анисимова // Журнал общей химии. – 1992. – Т. 62. – Вып. 3. – С. 583–588.

УДК 547.512+632.95

# ПЕСТИЦИДНАЯ И ПРОТИВОВИРУСНАЯ АКТИВНОСТЬ N-, P-, O- И S- ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ *ГЕМ*-ДИХЛОРЦИКЛОПРОПАНОВ

**Ю. Н. Митрасов[1], О. А. Колямшин[2], Е. А. Иванова[2], О. В. Кондратьева[3], И. И. Семенова[1]**

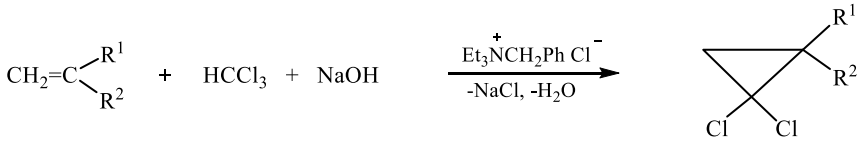
[1]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева»,
*г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 38 e-mail: mitrasov_un@mail.ru*
[2]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова»,
*г. Чебоксары, Московский пр., 15 e-mail:_oleg.kolymshin@yandex.ru*
[3]ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия»,
*г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29 e-mail: oxanalcr@yandex.ru*

Изучение пестицидной и противовирусной активности N-, P-, O- и S-функционализированных *гем*-дихлорциклопропанов показало их невысокую или среднюю фунгицидную, гербицидную, инсектоакарицидную и противовирусную активности.
**Ключевые слова:** производные гем-дихлорциклопропана, противовирусная, фунгицидная, гербицидная и инсектоакарицидная активность.

The study of the pesticide and antiviral activity of N-, P-, O- and S-functionalized *gem*-dichlorocyclopropanes showed low or average fungicidal, herbicidal, insectoacaricide and antiviral activity.
**Keywords:** *gem*-dichlorcyclopropane derivatives, antiviral, fungicide, herbicidal and insectoacaricide activity.

**1. Введение.** Малые карбоциклические соединения занимают особое место в органической химии, поскольку вследствие значительной энергии напряжения обладают повышенной химической активностью. Известно также, что некоторые производные циклопропана проявляют высокую биологическую активность [1]. Наибольшее практическое применение нашли производные циклопропанкарбоновой кислоты, которые используются в качестве пестицидных препаратов. Другие классы органических соединений, содержащих трехчленный карбоцикл, в этом отношении являются менее изученными. В связи с этим нами разработаны методы синтеза целого ряда N-, P-, O- и S-функционализированных *гем*-дихлорциклопропанов, изучены их пестицидная и противовирусная активность.

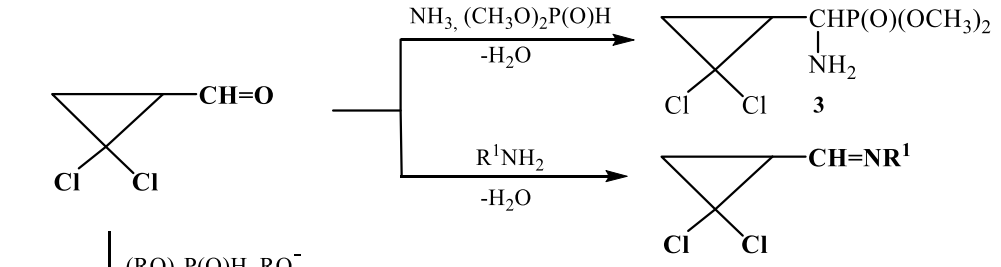
**2. Материал и методы.** Для синтеза функционально замещенных *гем*-дихлорциклопропанов использовали два подхода. Первый заключался в дихлорциклопропанировании соединений, содержащих двойную связь в условиях межфазного катализа [2, 3].




**1а-д**

$R^1$=H, $R^2$= -$CH_2OCH_2\overline{CHCH_2O}$ (а), -$CH_2OCH_2P(O)(OC_3H_7$-*i*$)_2$ (б); $R^1$=$CH_3$,
$R^2$ = $CH_2OCH_2CH=CH_2$ (в), -$P(O)(OC_2H_5)_2$ (г), -$P(O)(OC_3H_7$-*i*$)_2$ (д).

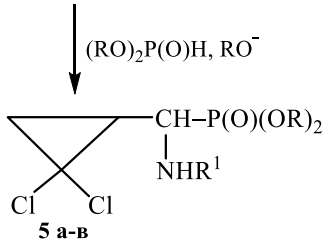
Второе направление базируется на различных химических превращениях функционализированных *гем*-дихлорциклопропанов. Основное внимание при этом было уделено реакциям (1-метил-2,2-дихлорциклопропил)метиламина, 2,2-дихлорциклопропанкарб-альдегида и иминов на их основе с гидрофосфорильными соединениями (схемы 1, 2), а также реакциям нуклеофильного замещения хлорангидридов циклопропанфосфоновых кислот и хлорметилциклопропанов (схемы 3, 4) [4, 5]. Первичный скрининг проводился по стандартным методикам на установленных тест-объектах при стандартных отсекающих концентрациях в сравнении с эталоном. Инсектоакарицидная, гербицидная и фунгицидная активности определялась *in vivo.*




*(схема 1)*

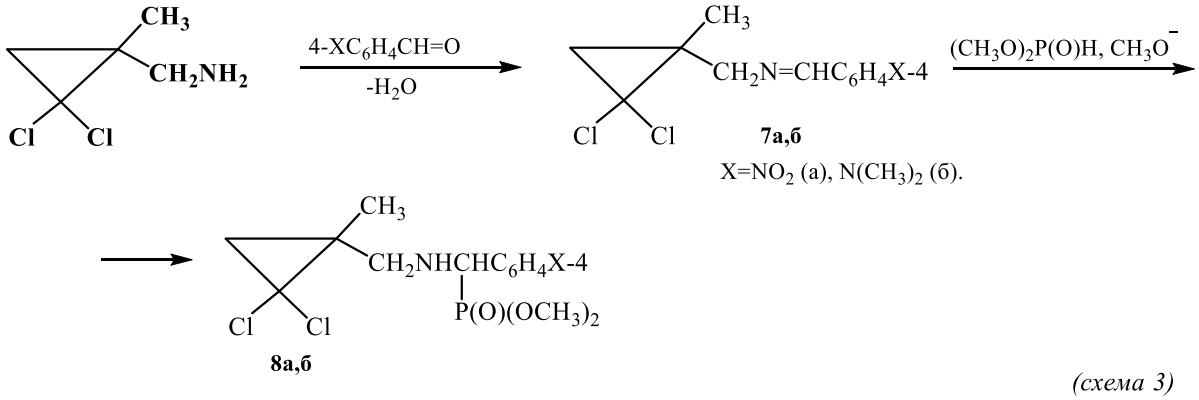
R=$CH_3$ (а), $C_2H_5$ (б), $C_4H_9$ (в).

$R^1$=$C_6H_5$ (а), 2-$H_2NC_5H_4N$ (б), 4-$CH_3C(O)NHC_6H_4$ (в).



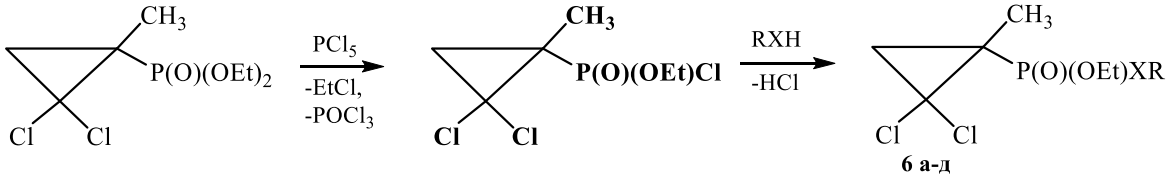

R=$CH_3$, $R^1$=$C_6H_5$ (а), 2-$H_2NC_5H_4N$ (б), 4-$CH_3C(O)NHC_6H_4$ (в).

*(схема 2)*



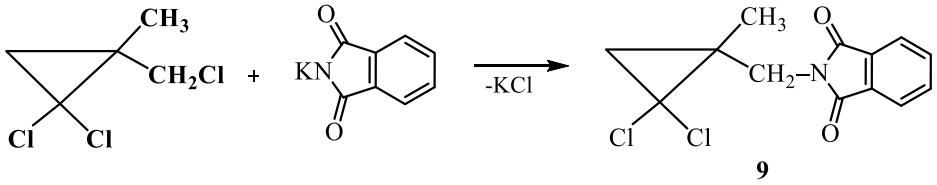

X=$NO_2$ (а), $N(CH_3)_2$ (б).

*(схема 3)*




X=O, R= -$CH_2\overline{CHCCl_2}CH_2$ (а), $C_6H_5$ (б); X=NH, R=2-$C_5H_4N$ (в); X=S, R=2-бензоксазолил (д).

*(схема 4)*

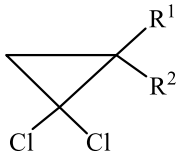


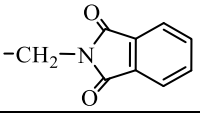
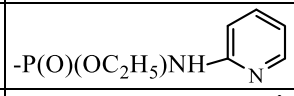
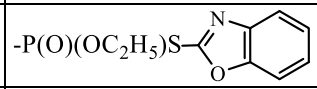

**3. Результаты и их обсуждение.** Многие вновь синтезированные соединения были испытаны на противовирусную и пестицидную активность. Пестицидная активность вновь синтезированных соединений изучалась во Всесоюзном научно-исследовательском институте химических средств защиты растений (паспорта № 000357-88, 000208-90). Испытания показали

слабую фунгицидную, гербицидную и инсектоакарицидную активность большинства соединений (таблицы 1-4). Среднюю фунгицидную активность проявили лишь 4-нитробензилиден(1-метил-2,2-дихлорциклопропил)метиламин (**7**) (*серая гниль бобов*). Остальные соединения подавляют развитие болезней только на 6-69% (таблица №1).

**Таблица 1**

Результаты испытаний на фунгицидную активность
N-, P-, O- и S-функционализированных *гем*-дихлорциклопропанов



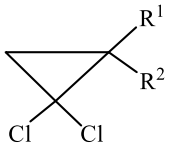

| № п/п | $R^1$ | $R^2$ | Тест-объект (% подавления развития болезней) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Мучнистая роса | Фитофтороз томатов | Серая гниль бобов |
| 1 | H | $-CH_2OCH_2\overline{CHCH_2O}$ | 9 | 48 | 0 |
| 2 | H | $-CH_2OCH_2CH(OH)CH_2\overline{N(CH_2)_4CH_2}$ | 8 | 19 | 27 |
| 3 | H | $-CH_2OCH_2P(O)(OC_3H_7\text{-}i)_2$ | 61 | 10 | 25 |
| 4 | H | $-CH(H_2N)P(O)(OCH_3)_2$ | 6 | - | 0 |
| 5 | H | $NHC_6H_4NHC(O)CH_3\text{-}4$<br>$-CH-P(O)(OCH_3)_2$ | 35 | - | 0 |
| 6 | $CH_3$ | $-CH_2OCH_2CH=CH_2$ | 19 | 38 | 0 |
| 7 | $CH_3$ | $-CH_2N=CHC_6H_4NO_2\text{-}4$ | 65 | 52 | 78 |
| 8 | $CH_3$ |  | 6 | 33 | 22 |
| 9 | $CH_3$ | $-P(O)(OC_2H_5)_2$ | 17 | 19 | 53 |
| 10 | $CH_3$ | $-P(O)(OC_3H_7\text{-}i)_2$ | 35 | 25 | 51 |
| 11 | $CH_3$ | $-P(O)(OC_2H_5)OCH_2\overline{CHCCl_2CH_2}$ | 0 | - | 65 |
| 12 | $CH_3$ |  | 41 | - | 11 |
| 13 | $CH_3$ |  | 16 | - | 0 |
| 14 | $CH_3$ | $-CH_2NHCH(C_6H_5)P(O)(OCH_3)_2$ | 56 | 69 | 19 |
| 15 | $CH_3$ | $-CH_2NHCHP(O)(OCH_3)_2$<br>$C_6H_4N(CH_3)_2\text{-}4$ | 56 | 43 | 13 |
| 16 | Эталоны: – каратан<br>– цинеб<br>– эупарен | | 100 | 100 | 100 |

Среднюю инсектоакарицидную активность против гусениц показали диизопропиловый эфир 1-метил-2,2-дихлорцклопропилфосфоновой кислоты (**1д**), 4-нитробензилиден(1-метил-2,2-дихлорциклопропил)метиламин (**7**), диметиловые эфиры α-N-(1-метил-2,2-ди-хлорцикло-пропилметиламино)бензил- и (4-N,N-диметиламинобензил)фосфоновых кислот (**8а,б**).

Среднюю гербицидную активность при обработке в вегетацию на культурах горчица/редис проявили 2,2-дихлорциклопропилиден-2-пиридил- (**4б**) и 2,2-дихлорцикло-пропил-иден-4-N-ацетиламинофениламины (**4в**) и фосфорилированные циклопропаны – диэтиловый эфир α-гидрокси-α-(2,2-дихлорциклопропил)метилфосфоновой кислоты (**2б**) и O-этил-S-(2-бензоксалил)-1-метил-2,2-дихлорциклопропилфосфонат (**6д**). Аналогичную активность на овсе показал диметил-N-[4-(N-ацетиламино)фениламино]-(2,2-дихлор-циклопропил)метил-фосфонат (**5в**) (таблица №4).

**Таблица 2**

Результаты испытаний на фунгицидную активность
N- и O-функционализированных *гем*-дихлорциклопропанов

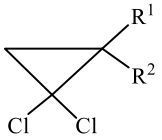


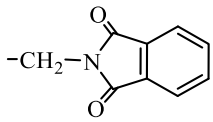

| № п/п | $R^1$ | $R^2$ | Мицелии грибов и бактерий[a] | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | HANT MALV | FUS. MON | RHIZ SOL. |
| 1 | H | $-CH_2OCH_2\overline{CHCH_2O}$ | 10 | 9 | 43 |
| 2 | H | $-CH_2OCH_2CH(OH)CH_2\overline{N(CH_2)_4CH_2}$ | 0 | 7 | 0 |
| 3 | $CH_3$ | $-CH_2OCH_2CH=CH_2$ | 50 | 0 | 7 |

Примечание. а) в % подавления мицелия грибов и бактерий

**Таблица 3**

Результаты испытаний на инсектоакарицидную активность
N-, P- и O-функционализированных *гем*-дихлорциклопропанов



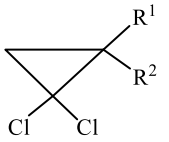

| № п/п | $R^1$ | $R^2$ | Тест-объект (% гибели)[a] | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | жуки | тля | гусеницы |
| 1 | H | $-CH(OH)P(O)(OC_2H_5)_2$ | 15 | - | - |
| 2 | H | $-CH(NHC_6H_5)P(O)(OCH_3)_2$ | 32 | - | - |
| 3 | H | $-CH_2OCH_2P(O)(OC_3H_7\text{-}i)_2$ | 0 | 30 | 60 |
| 4 | H | $-CH(NHC_6H_4[NHC(O)CH_3]\text{-}4)-P(O)(OCH_3)_2$ | 37 | - | - |
| 5 | $CH_3$ | $-P(O)(OC_2H_5)_2$ | 0 | 0 | 66 |
| 6 | $CH_3$ | $-P(O)(OC_3H_7\text{-}i)_2$ | 0 | 10 | 90 |
| 7 | $CH_3$ |  | 0 | 40 | 67 |
| 8 | $CH_3$ | $-CH_2N=CHC_6H_4NO_2\text{-}4$ | 0 | 55 | 86 |
| 9 | $CH_3$ | $-CH_2NHCH(C_6H_5)P(O)(OCH_3)_2$ | 0 | 10 | 86 |
| 10 | $CH_3$ | $-CH_2NHCH(C_6H_4N(CH_3)_2\text{-}4)P(O)(OCH_3)_2$ | 0 | 10 | 80 |
| 11 | Эталоны: – гексахлорциклогексан<br>– карбофос | | 100 | -<br>100 | -<br>- |

Примечание. а) Приведенные результаты испытаний соответствуют % смертей в следующих концентрациях (%) по действующему началу: для жуков – 0,05, для гусеницы и тли – 0,01.

Противовирусная активность исследовалась в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском институте эпидемиологии и микробиологии. Результаты скрининга показали, что большинство из испытанных соединений проявляют слабую или среднюю противовирусную активность (таблица № 5) в отношении вирусов *герпеса, рота* и *поксо*. Лишь диэтиловый эфир α-гидрокси-α-(2,2-дихлорциклопропил)- метилфосфоновой кислоты (**2б**) обладает выраженной противовирусной активностью в отношении вируса *парамиксо.* N-(1-Метил-2,2-дихлорциклопропил)фталимид (**9**) и (2,2-дихлорциклопропил)метилен-2-пиридиламин (**4б**) проявили повышенную активность против вирусов вакцины *рота* и *поксо* соответственно.

**Таблица 4**

Результаты испытаний на гербицидную активность
N-, P-, O- и S-функционализированных *гем*-дихлорциклопропанов



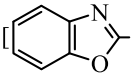
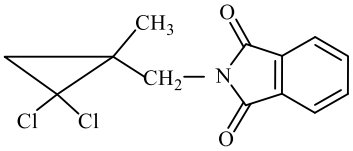
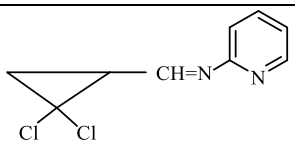
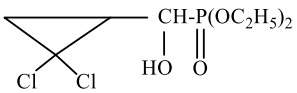
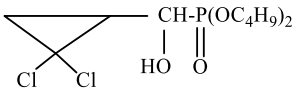
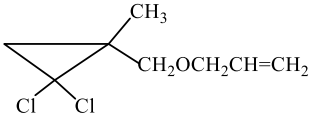

| № п/п | $R^1$ | $R^2$ | Довсходовое внесение | | | Обработка в вегетацию | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | овес | соя/горч. | горч./ред. | овес | соя/горч. | горч./ред. |
| 1 | H | $C_6H_5N=CH-$ | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 40 |
| 2 | H |  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 |
| 3 | H | $4\text{-}CH_3C(O)NHC_6H_4N=CH-$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80 |
| 4 | H | $(CH_3O)_2P(O)CH(OH)-$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 |
| 5 | H | $(C_2H_5O)_2P(O)CH(OH)-$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80 |
| 6 | H | $(C_4H_9O)_2P(O)CH(OH)-$ | 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 20 |
| 7 | H | $(CH_3O)_2P(O)CH(NH_2)-$ | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 40 |
| 8 | H | $(CH_3O)_2P(O)CH(NHC_6H_5)-$ | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 40 |
| 9 | H | $(CH_3O)_2P(O)CH[NH(2\text{-}C_5H_4N)]-$ | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 | 40 |
| 10 | H | $-CH(NHC_6H_4NHC(O)CH_3\text{-}4)-P(O)(OCH_3)_2$ | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 | 40 |
| 11 | $CH_3$ | $C_2H_5O(C_6H_5O)P(O)-$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 |
| 12 | $CH_3$ | $C_2H_5O(CH_2CCl_2CHCH_2O)P(O)-$ | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 | 40 |
| 13 | $CH_3$ | $C_2H_5O[(2\text{-}C_5H_4N)NH]P(O)-$ | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 | 40 |
| 14 | $CH_3$ | $C_2H_5O[$  $S\text{-}]P(O)-$ | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 80 |

**Таблица 5**

Результаты испытаний на противовирусную активность N-, P- и O-функционализированных *гем*-дихлорциклопропанов

| № п/п | Соединение | МПК, мкг/мл | Тест-вирусы | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | герпес | покс | парамиксо | рота |
| 1 |  | 400 | - | + | - | +++ |
| 2 |  | 100 | - | +++ | - | + |
| 3 |  | 400 | - | - | ++++ | - |
| 4 |  | 100 | - | - | - | ++ |
| 5 |  | 800 | ++ | + | - | - |

**Выводы.** N-, P-, O- и S-Функционализированные *гем*-дихлорциклопропаны обладают невысокой или средней фунгицидной, инсектоакарицидной и гербицидной активностью. Выявлена выраженная противовирусная активность диэтилового эфира α-гидрокси-α-(2,2-дихлорциклопропил)метилфосфоновой кислоты в отношении вируса *парамиксо.*

**Список литературы**

1. Мельников Н.Н. Пестициды. Химия, технология и применение / Н.Н. Мельников. – М. : Химия, 1987. – С. 170–191.
2. Колямшин О.А. Дихлорциклопропанирование производных винилфосфоновых кислот / О.А. Колямшин, В.В. Кормачев, Ю.Н. Митрасов // Журнал общей химии. – 1990. – Т. 60. – Вып. 9. – С. 2198–2199.
3. Колямшин О.А. Фосфорсодержащие малые циклы. VIII. Реакции винил- и изопропенилфосфонатов с дигалогенкарбенами / О.А. Колямшин, В.В. Кормачев, Ю.Н. Митрасов // Журн. общ. химии. – 1993. – Т. 63. – Вып. 5. – С. 1075–1081.
4. Митрасов Ю.Н. Гем-дихлорциклопропилоксираны в синтезе фосфорилированных циклопропанов / Ю.Н. Митрасов, Е.А. Симакова, И.И. Антонова, А.С. Пикалев, В.Г. Скворцов. – Чуваш. гос. пед. ун-т, 2003. – 20 с. – Деп. ВИНИТИ №1279-В2003 07.07.2003.
5. Кормачев В.В. Синтез фосфорсодержащих эфиров 3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоновой кислоты / В.В. Кормачев, О.А. Колямшин, Ю.Н. Митрасов, Е.А. Анисимова // Журнал общей химии. – 1992. – Т. 62. – Вып. 3. – С. 583–588.
6. Колямшин О.А., Кормачев В.В., Митрасов Ю.Н. Фосфорсодержащие малые циклы. VII. Эфиры аминофосфоновых кислот с 2,2-дихлорциклопропильным фрагментом / О.А. Колямшин, В.В. Кормачев, Ю.Н. Митрасов // Журнал общей химии. – 1993. – Т. 63. – Вып. 1. – С. 42–47.

**НАУЧНО МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ**

# МНОГОБОРЬЯ ВФСК ГТО И ПОЛИАТЛОНА – ВЕДУЩИЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ МАССОВОГО СПОРТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Т.С. Гильмутдинов[1], В.М. Криво[2], Р.Т. Гильмутдинов[1]**

[1]ФГБОУ ВО Марийский государственный университет
г. Йошкар-Ола, пл. имени Ленина, д. 1
[2] РФСО Спортивная федерация полиатлона
191119, г. Санкт-Петербург, просп. Лиговский, 111-113-115 литер в офис 53

Основная задача Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса ГТО – выявление подлинного уровня физической подготовленности граждан РФ и дальнейшего его повышения через научно-обоснованную систему внедрения комплекса ГТО среди различных возрастно-половых групп. Содержание спортивной части состоит из многоборий Комплекса ГТО, совпадающими с программами полиатлона.
Повышение через занятия многоборьями Комплекса ГТО и полиатлоном массовости спорта. Анализ комплексов ГТО различных лет показывает, что во всех комплексах ГТО присутствовали многоборья ГТО. Внедрение в ВФСК ГТО спортивной составляющей является в настоящее время одной из актуальных проблем, его внедрение в широкие слои населения РФ придаст мощный импульс развития массового спорта и спорта высших достижений.
**Ключевые слова**. ВФСК ГТО, концепция, структура и содержание, многовариантность программ, физическая подготовленность, виды испытаний, полиатлон. Нормативы, тесты, оценка результатов, системный, личностно-ориентированный подход, принципы, индивидуализация, виды спорта, многоборья комплекса ГТО, спортсмен, спортивное совершенствование, физкультурно-спортивная деятельность, массовый спорт

**Цель исследования:** Разработка системы многовариантных программ многоборий Комплекса ГТО и полиатлона – как ведущего фактора развития массового спорта и повышение физической подготовленности населения РФ.

**Гипотеза исследования:**

1. Разработка основных положений содержания спортивной части Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса ГТО, системы многовариантных программ многоборий ГТО и полиатлона. объективной 100-очковой системы оценок командных и личных результатов для каждой ступени послужит действенным средством внедрения комплекса в широкие слои населения и обеспечит дальнейшее совершенствование физической подготовленности отвечающее требованиям государства на современном этапе, повышение массового и спорта высших достижений..

**Задачи исследования:**

1. Разработка системы многовариантных программ ВФСК ГТО и полиатлона, обеспечивающих возможность организации выполнения нормативов комплекса ГТО в различных регионах страны с учётом климатических условий, наличия материально-технической базы и форм развития массового спорта.
2. Разработка системы объективной и точной оценки индивидуальных и командных результатов в видах испытаний комплекса ГТО, основанной на современных данных о состоянии физической подготовленности населения различных возрастно-половых групп для каждой возрастной ступени, с использованием 100-очковой шкалы оценочных таблиц.

**Организация исследования:**

1. Анализ присутствия наличия спортивной части в структуре предыдущих физкультурных комплексов ГТО на основе изучения государственных документов и систем оценки физической подготовленности населения в СССР и зарубежных странах.

2. Обоснование содержания спортивной части на основе многовариантных программ многоборий ГТО и полиатлона. Выявление эффективности его влияния на разностороннюю физическую подготовленность.
3. На основе анализа данных о физической подготовленности населения, результатов соревнований по видам испытаний (тестов) комплекса ГТО, с применением методов математической статистики, разработка 100-очковых оценочных таблиц для I-XI ступеней комплекса.

**Актуальность исследований.**

Актуальность разработки структуры и содержания спортивной части комплекса ГТО заложена в «Концепции всероссийского физкультурно-спортивного комплекса» [17], которая одобрена совместным заседанием Межведомственной комиссии по развитию физической культуры, массового спорта и традиционных видов физической активности Совета при Президенте Российской Федерации по развитию физической культуры и спорта, и коллегии Министерства спорта Российской Федерации 26.06.2013 г.

За последние годы наметилась положительная тенденция в развитии физической культуры и спорта в Российской Федерации. В настоящее время систематически занимаются физической культурой и спортом более 32 млн. человек, что составляет 22,5% общей численности населения страны. Вместе с тем, исходя из задач по повышению вклада физической культуры и спорта в социально-экономическое развитие страны, необходимо существенно увеличить число российских граждан, ведущих активный и здоровый образ жизни.

Внедрение Комплекса, Единой всероссийской спортивной классификации (далее – ЕВСК), Единого календарного плана межрегиональных, всероссийских и международных физкультурных мероприятий, и спортивных мероприятий (далее – ЕКП), федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) по физической культуре позволит **создать эффективную государственную систему физического воспитания населения и развития спорта высших достижений**.

Целью спортивной части Комплекса является – повышение эффективности использования возможностей физической культуры и спорта в социально-экономическом развитии страны, укреплении здоровья, гармоничном и всестороннем развитии личности, формировании потребности людей в физическом самосовершенствовании, воспитании патриотизма и гражданственности, необходимости **вести здоровый, спортивный образ жизни, привлечение к занятиям различными видами спорта широких слоев населения.**

Таким образом, результаты анализа концепции и плана мероприятий по поэтапному внедрению комплекса ГТО свидетельствуют о том, что ВФСК является системообразующим элементов государственной системы физического воспитания, что предполагает её модернизацию. Задачи комплекса, а, следовательно, и его спортивной части направлены на увеличение числа граждан, систематически занимающихся физической культурой и спортом, при оптимальном сочетании личностно-ориентированной оздоровительной и спортивной направленности. В плане поэтапного внедрения комплекса ГТО, утверждённого Распоряжением Правительства РФ от 30 июня 2014 года № 1165 в пункте 38 записано о необходимости утверждения видов многоборий Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса «Готов к труду и обороне» (ГТО) [17]

Изложенное выше позволяет считать, что спортивная часть должна быть структурным элементом комплекса ГТО. Содержание структурной части призвано обеспечить:

а) формирование у граждан осознанных потребностей в систематических занятиях физической культурой и спортом;

б) оптимального сочетания оздоровительной и спортивной направленностей;

в) комплексность оценки физической подготовленности населения. (Под комплексностью оценки мы понимаем сочетание оценки физической подготовленности на основе твёрдых уровней нормативных требований при выполнении нормативов на

бронзовый, серебряный и золотой знаки отличия, а также применение таблиц очков при проведении фестивалей и других соревнований по программам комплекса ГТО);

г) непрерывность участия человека с самого раннего и до преклонного возраста в системе подготовки и выполнения норм комплекса ГТО, через участие в системе соревнований по программам многоборий ГТО и полиатлона;

д) возможность учёта региональных и национальных особенностей при определении спортивных программ комплекса ГТО;

е) выполнение государственной программы Российской Федерации «Развитие физической культуры и спорта», когда к 2020 г. доля систематически занимающихся физической культурой и спортом должна достигнуть 40 %, а среди обучающихся 80 %.

**Анализ спортивной части в комплексах ГТО различных лет**

Совершенствование структуры и содержания комплекса ГТО проводится в соответствии с задачами, которые на определённый период времени ставит государство перед организациями, работающими в сфере физической культуры и спорта, а также в области физкультурно-спортивного совершенствования различных возрастно-половых групп населения. Формулировка задач во многом обусловлена внутренней и внешней политикой государства. Учитывая, что за 85-летнюю историю комплекса ГТО он претерпевает десятое масштабное совершенствование, нами был предпринят анализ состояния спортивной части комплекса ГТО.

**Реализация системы многоборий в истории комплекса ГТО** По мнению одного из основных руководителей разработки комплексов ГТО 60-70-ых годов. И.Т. Осипова [1] особая ценность многоборий комплекса ГТО в том, что оно содержит разнообразные физические упражнения, отличающиеся овладением жизненно-важными прикладными навыками. Овладение навыками бега, прыжков и метания, умение плавать одинаково важно и необходимо в быту и для трудовой подготовки и в подготовке к службе в вооруженных силах РФ.

После выполнения нормативов Комплекса ГТО возникает естественная потребность дальнейшего совершенствования своей физической подготовленности, повышения спортивного мастерства, которую не может обеспечит дальнейшее участие в соревнованиях по твердым нормативам.

Исследование влияния занятий на разностороннюю физическую подготовленность проведенное Т. С. Гильмутдиновым [13,16] занимающихся полиатлоном свидетельствует о высокой эффективности полиатлона на развитие основных физических качеств, овладения жизненно важными прикладными навыками, подготовке молодежи к службе в вооруженных силах РФ.

Следовательно, становится бесспорной разработка научно-обоснованных многовариантных программ многоборий комплекса ГТО. Повышается ценность участия спортсменов – представителей самых разнообразных видов спорта – в ежегодных традиционных соревнованиях по многоборью ГТО. В зависимости от климатических, материальных и иных условий, а также в зависимости от поставленных задач устанавливается и содержание многоборий ГТО.

И.Т. Осипов [1, 2] отмечал, что наиболее просто и легко подготовить к соревнованиям по летнему многоборью ГТО в спортивных секциях по легкой атлетике, гимнастике, футболу, баскетболу, волейболу. Эти спортсмены хорошо бегают, прыгают и метают. Поэтому подготовка по четырем видам многоборья (бег 100 м, бег 800 или 1500 м, прыжок в длину или высоту и метания) будет органически входить в повседневный объем их тренировки (кроме, конечно, метания в гимнастике) и только подготовка по плаванию и по стрельбе для юношей и мужчин потребует нескольких дополнительных тренировок.

Постановлением ЦК КПСС и Совета министров СССР 11 марта 1972 года был введён новый Всесоюзный физкультурный комплекс ГТО, с которым связано дальнейшее развитие

многоборья комплекса ГТО. С 1974 года стали проводиться Всесоюзные соревнования по данному виду спорта.

Лётчик-космонавт, дважды Герой Советского Союза, заслуженный мастер спорта, председатель Всесоюзного совета по комплексу ГТО А.А. Леонов – главный судья чемпионатов СССР по многоборью комплекса ГТО на призы газеты «Комсомольская правда» [6]. Он отмечал, что новый комплекс был и остается программной и нормативной основой советской системы физического воспитания и призван играть важную роль в подготовке всесторонне развитых, физически совершенных людей, обеспечивая постоянную готовность населения к высокопроизводительному труду и защите Отечества.

Массовыми стали соревнования Всесоюзного чемпионата по многоборью ГТО на призы газеты «Комсомольская правда». На старты VIII чемпионата (1981) страны по многоборью ГТО в год 50-летия физкультурного комплекса вышло 50 миллионов человек. По мнению Н. Г. Скачкова [4], широкий диапазон воздействия занятий многоборьем ГТО делает его эффективным средством разностороннего физического развития и совершенствования организма человека, воспитания основных двигательных качеств, выносливости, ловкости, гибкости и жизненно необходимых прикладных навыков. Люди, систематически занимающиеся многоборьем ГТО, физически лучше развиты, обладают хорошим здоровьем и высоким уровнем функциональных возможностей.

Этот факт весьма важен для допризывной и призывной молодежи. Занимаясь многоборьем, юноши учатся преодолевать трудности, становятся выносливыми, сильными, вырабатывают в себе смелость, волю, решительность, то есть те самые качества, которые необходимы будущим защитникам Родины.

В 1948 году в СССР насчитывалось 7,7 миллиона физкультурников, а в 1977 году в стране уже было свыше 52 300 000 физкультурников.

В 1972-1975 гг. В.А. Уваров [5,7] нормы и требования комплекса выполнили свыше 58 000 000 человек.

С 1974 года проводились всесоюзные первенства по многоборьям комплекса ГТО (в 1975 году в массовых стартах участвовали 37 000 000 чел., в финале – около 500 чел. За 7 лет существования соревнований по многоборьям комплекса ГТО свыше 350 000 юношей и девушек стали чемпионами районов, городов, областей, союзных республик. Госкомспортам союзных и автономных республик, спорткомитетам краев и областей предоставлялось право замены одного из видов упражнений в многоборьях упражнением (видом) с учетом национальных особенностей, традиций, интересов населения и разработки для этих видов адекватной оценки результатов.

Ниже представлено содержание многоборий комплекса ГТО 1972 г.

Зимнее многоборье (троеборье): для различных ступеней состояло из упражнений по силовой гимнастике (подтягивание на высокой перекладине для мальчиков, юношей и мужчин, сгибание-разгибание рук в упоре лежа на полу для девочек, девушек, женщин) пулевой стрельбы из пневматической винтовки [2] для мальчиков и девочек из малокалиберной винтовки для взрослых, лыжная гонка на 1,2,3,5,10 км.

Летние многоборья ГТО состояли из троеборий, четырехборий, пятиборий в различных сочетаниях.

Содержание многоборий включало бег на 60 (100) м, 1000, 2000, 3000 м, метание мяча, (гранаты). плавания на 50, 100 м, силовой гимнастики, пулевой стрельбы из пневматической и малокалиберной винтовки.

Примечание: Выбор упражнения на силу, стрельбы или метания, дистанции в беге и плавании определяется для лиц 10-27 лет – программой комплекса ГТО, а для остальных групп – в каждом из требований по выбору.

Из таблицы следует, что в различные периоды существования комплекса ГТО имело место различное количество программ многоборий – от 1 до 22 с количеством спортивных дисциплин от 2 до 11. Наиболее представительными были программы многоборий, сформированные после введения комплекса ГТО-72. В содержании комплекса ГТО-2014 в качестве спортивной части предполагалось В.А. Уваров, Т.С. Гильмутдинов [12] ввести программы многоборий полиатлона, однако, по неизвестным причинам была утверждена лишь нормативно-тестирующая часть. Как видно из таблицы, на протяжении многих десятилетий многоборья комплекса ГТО играли важную роль в совершенствовании системы физического воспитания.

**Таблица 1.**

Многоборья в содержании комплекса ГТО

| Год введения | Количество программ многоборий | Количество дисциплин |
|---|---|---|
| 1938 | 2 | 6 |
| 1939 | 2 | 7 |
| 1946 | 14 | 3-8 |
| 1949 | 8 | 4-8 |
| 1955 | 3 | 4 |
| 1959 | 2 | 2-26 |
| 1965 | 1 | 6 |
| 1972 | 22 | 3-5 |
| 1985 | 4 | 3-4 |
| 1988 | 10 | 11 |
| 2005 | 18 | 2-5 |
| 2014 | не разрабатывались | не разрабатывались |

Современный опыт применения спортивных многоборий среди молодежи допризывного возраста показал высокую эффективность проведения таких соревнований и привлечение большого количества данной категории населения к активным занятиям спортивными многоборьями и повышению их физической подготовленности.

Опрос представителей, тренеров и участников спартакиады среди молодежи допризывного возраста в Республике Марий Эл и других регионах РФ показал, что практически все считают необходимым наличие спортивной части на основе многоборий в ВФСК ГТО с использованием таблиц очков для оценки результатов, как в личном, так и в командном зачетах. Программа спартакиады включает зимний и летний этапы. В зимнем этапе участники выполняют пулевую стрельбу, рывок гири (весом 16 кг), подтягивание на высокой перекладине и лыжные гонки на 10 км. Летний этап включает бег на 100 м, метание гранаты на дальность, пулевую стрельбу, плавание на 100 м и бег на 3000 м. Все приводимые виды входят в число тестовых испытаний в 5-й ступени ВФСК ГТО в возрастной группе 16-17 лет.

Высокую эффективность применения многоборий для повышения уровня физической подготовленности студентов основной группы подтвердил 25 летний эксперимент в Марийском государственном университете [9,10,11]. Многоборная подготовка и системы оценки результатов с помощью таблиц очков повысила степень объективности оценки результатов, учет индивидуальных генетических возможностей, увеличение заинтересованности и повышения стимулирования студентов к самосовершенствованию.

В таблице 1 приводятся средние данные разносторонней физической подготовленности спортсменов, занимающихся полиатлоном для групп спортсменов 1-го разряда, кандидатов в мастера спорта и мастеров спорта. Анализ педагогических наблюдений за влиянием занятий летним пятиборьем полиатлона проведенный Т.С. Гильмутдиновым [11,13,16] свидетельствует о том, что практически во всех тестах наблюдается высокие показатели общей и специальной подготовленности, достижение высокого уровня основных физических качеств у спортсменов от первого разряда до мастеров спорта.

Рассматривая показатели физического развития следует отметить, что полиатлонисты от первого разряда до мастера спорта отличаются высоким уровнем весоростовых показателей с тенденцией повышения с ростом спортивного мастерства, что характеризует для каждой квалификации свою специфичную модель. Необходимо отметить, что занятия летним полиатлоном требуют высокого уровня работоспособности и аэробной производительности, который характеризуют Тест PWC- 170 и уровень показателя абсолютного и относительного максимального потребления кислорода.

**Таблица 1.**

Средние показатели разносторонней физической подготовленности полиатлонистов различной квалификации

| Показатели физической и специальной подготовленности | Мастера спорта M ±m | Кандидаты в мастера, M ± m | Спортсмены 1 разряда, M ±m |
|---|---|---|---|
| Рост, см. | 182,7+ 4,2 | 178 + 3,7 | 173,2 + 3,6 |
| Вес, кг | 76,8 + 7,0 | 71,4 + 4,0 | 68,2 + 6,2 |
| Весо-ростовой индекс, ед | 419 + 27 | 398 + 18,2 | 392+ 24 |
| ЖЕЛ, мл | 5790+ 641 | 5208 + 426 | 4960 + 512 |
| Проба Штанге, сек | 127 + 23 | 92 + 27 | 81 + 16 |
| Тест PWC 170 кгм/мин. | 1637+ 112 | 1515 + 156 | 1541 + 161 |
| МПК абсол., л/мин. | 5,7 + 0,3 | 4,7 + 02 | 4,42 + 0,3 |
| МПК отн. мл/кг*мин. | 61,6+ 1,8 | 61,2 + 1,2 | 60,4+ 3,2 |
| ЧСС в покое, уд/мин | 48+ 3 | 50 + 2 | 54 + 4 |
| А/д сист., мл/рт/ст | 115 +7,2 | 118 + 6,7 | 115 +6,3 |
| А/д диаст., мл/рт/ст | 73 +4,4 | 73,4 + 5,5 | 72 + 4 |
| Динамометрия: | | | |
| Правой кисти, кг | 58 + 7,3 | 55,6 + 3,8 | 48,7 + 3,0 |
| Левой кисти,кг | 56 + 6,6 | 53,5 + 3,8 | 48,6 + 3,6 |
| Становая сила, кг | 192+ 214 | 164 + 21 | 156+ 24 |
| Бег на 30 м, с н/с | 4,1+ 0,2 | 4,3 +0,25 | 4,6 + 0,4 |
| Бег на 60 м, с н/с | 7,2 + 0,3 | 7,4 + 0,38 | 7,6 + 0,8 |
| Бег на 100 м, с н/с | 11,2 + 0,4 | 11,4 + 0,6 | 12,1 + 0,3 |
| Прыжок в длину с места, см | 272 + 4 | 264 + 4 | 258 + 8 |
| Прыжок в длину с разбега, см | 536 + 21 | 548 + 23 | 568 + 18 |
| Тройной прыжок с места, см | 824 + 18 | 802 + 8 | 768 + 24 |
| Десятикратный прыжок с места, см | 2924+ 24 | 2756 + 42 | 2682 + 38 |
| Бег на 2 000 м, мин.с | 5,56 + 4,2 | 6,14,2+12,6 | 6,28 + 8,2 |
| Бег на 3 000 м, мин.с | 9,06,8 + 12,2 | 9,38,4 + 8,2 | 9,58 +6,4 |
| Бег на 400м ,с | 54,3 + 3,4 | 56,2 + 3,6 | 57,2 + 2,2 |
| Бег на 800м ,мин/с | 2,02+ 1,8 | 2,06 + 4,2 | 2,12 + 3,8 |
| Бег на 1 000 м, мин.с | 2, 38,4+ 5,6 | 2,41,6 + 3,4 | 2,46,8 + 4,2 |
| Плавание на 50 м, с | 29,6 + 0,4 | 31,8 +1,2 | 34,6 + 1,6 |
| Плавание на 100 м, мин/с | 1,00,4 + 2,2 | 1,04,5 + 1,2 | 1,18,6 + 4,2 |
| Плавание на 1000 м, мин/ с | 12,24+ 1,42 | 14,50 + 2,16 | 18, 06+1,12 |
| Метание гранаты на дальность с места, м/см | 46,48 + 3,8 | 42,10 + 4,2 | 38,62 + 4,6 |
| Метание гранаты на дальность с разбега, м/см | 63,24 + 5,6 | 55,80 + 2,4 | 48,82 + 4,2 |
| Пулевая стрельба Упр. III – ВП , кол-во очков | 94 + 4 | 88 + 5 | 84 + 5 |
| Десятикратный рывок штанги с 50% весом от массы спортсмена,с | 14,6 + 2,4 | 15,6 + 1,8 | 15,4 + 1,4 |
| Десятикратное приседание со штангой с 50% весом от массы спортсмена,с | 12,8 + 1,2 | 13,2+ 2,4 | 14,7 + 1,8 |

Известно, что наиболее высокие показатели МПК проявляются в видах спорта связанных с проявлением выносливости. Учитывая, что в программе летнего полиатлона присутствует бег на 3000 м и плавание на 100 м требующих должного уровня выносливости определяет необходимость достижения высоко уровня МПК. Как показывают исследования этому способствует сочетание высоких объемов беговых и плавательных нагрузок в тренировочном процессе. Высокий уровень показателей внешнего дыхания обуславливается положительным переносом плавательных и беговых нагрузок на дыхательную систему, о чем

свидетельствуют показатели ЖЁЛ, при этом средний уровень ЖЁЛ увеличивается от разряда к разряду и наибольший показатель достигается в группе мастеров спорта. Снижение частоты сердечных сокращений в покое, указывает на экономизацию деятельности сердечно-сосудистой системы. Полиатлон предъявляя высокие требования к комплексному развитию физических качеств способствует достижению хорошего уровня скоростных и скоростно-силовых качеств, а также взрывной силы и силовой выносливости, которые отражены в таблице в беговых и прыжковых тестах, а также в 10 кратном рывке и приседании со штангой с весом, составляющим 50% от массы спорстмена. Полиатлонистов отличает развитая мышечная сила показателей кистевой и становой динамометрии, что связано с необходимостью проявления данного качества в метании гранаты на дальность.

Педагогические наблюдения показали, что спортсмены, занимающиеся полиатлоном достигают хороших результатов в отдельных видах полиатлона (в плавании, стрельбе, легкой атлетике) от первого разряда до кандидата в мастера спорта. Участие в соревнованиях в отдельных видах спорта повышает соревновательную практику и служит контрольным методом определения уровня развития быстроты, силы, выносливости. В соревнованиях по легкой атлетике выступая на чемпионатах Республики Марий Эл занимают призовые места в беге на короткие, средние, длинные дистанции, в метаниях и прыжках, показывая результаты на уровне первого разряда и кандидатов в мастера спорта.

Проведенные в рамках тренировочного процесса замеры занимающихся в группах спортивного совершенствования и сильнейших многоборцев на чемпионатах России по определению состава тела организма на основе биоимпедансного анализа свидетельствуют о гармоничном развитии организма на уровне клеточных структур. Высокий фазовый угол – являющийся чувствительным критерием функционального состояния и работоспособности, которые находятся на уровне от 6,5 до 8,5 подтверждает высокий средний уровень этих показателей., который наглядно демонстрирует эффективность влияния занятий летним полиатлоном на формирование высокого среднего уровня физической подготовленности.

Таким образом можно сделать заключение: 1. Занятия полиатлоном, многоборьями ГТО, (полиатлон является результатом трансформации многоборий комплекса ГТО), как комплексныи видами спорта способствуют высокому уровню развития основных физических качеств – силы, быстроты, выносливости, специальной физической подготовленности и работоспособности. 2. Формируют атлетическую морфофункциональную структуру организма. 3. Средний уровень физической подготовленности позволяет включить полиатлон и многоборья комплекса ГТО, как один из базовых видов спорта в программы физического воспитания учащейся и студенческой молодежи. 4. С высокой степенью объективности может использоваться для тестирования физической подготовленности 5. Учитывая слабый уровень физического состояния молодежи допризывного возраста полиатлон, как обязательный вид спорта должен использоваться для подготовки молодежи к прохождению воинской службы и включен в программы и наставления физической подготовки в высших военных учебных заведениях. Многие студенты после окончания учебы в ВУЗе проходят службу в элитных войсках вооруженных сил РФ (воздушно-десантные войска, спецназ, военно-морской флот). Многие выступают в военно-прикладных спортивных многоборьях на первенствах Вооруженных сил РФ, показывая результаты на уровне кандидатов в мастера и мастеров спорта, что свидетельствует о положительном переносе занятий многоборьями комплекса ГТО и полиатлоном на военно-прикладные виды спорта.

Следует отметить, что системы многоборий уже применяются в настоящее время в различных соревнованиях, таких как «Президентские состязания», «Фестивали ГТО», «Декады ГТО».

**Анализ содержания Государственного физкультурно-оздоровительного комплекса Республики Беларусь**

В Республике Беларусь для оценки физической подготовленности населения принят государственный физкультурно-оздоровительный комплекс. В нём отсутствует аббревиатура

«ГТО». Структура и содержание комплекса практически не отличаются от комплекса ГТО, принятого в СССР в 1972 г.

Программа физкультурно-спортивных многоборий состоит из:

– системы спортивных соревнований летнего и зимнего многоборья «Здоровье», дифференцированных по возрастным группам от 8 до 60 лет и старше;

– системы спортивных соревнований многоборья «Защитник Отечества» для юношей призывного и допризывного возраста (15-17 лет и старше).

**Летнее многоборье «Здоровье», Республики Беларусь для граждан 17-60 лет и старше**

Прыжок в длину с места. Сгибание и разгибание рук в упоре лежа (девушки, женщины). Подтягивание на высокой перекладине (юноши, мужчины). Бег 30, 60, 500, 1000, 2000, 3000 метров. Плавание 25, 50 метров

Стрельба из пневматической винтовки из положения сидя или стоя с опорой локтей о стойку и с упора (дистанция 5, 10 метров, мишень N 8).

**Зимнее многоборье «Здоровье», Республики Беларусь для граждан 17-60 лет и старше**

Прыжок в длину с места. Лыжная гонка на 3,5, 10 км. Стрельба из пневматической винтовки из положения сидя или стоя с опорой локтей о стойку и с упора (дистанция 5, 10 метров, мишень N 8), сгибание и разгибание рук (девушки, женщины), подтягивание (юноши, мужчины).

Следует отметить, что в комплексе ГТО Республики Беларусь применяется 4 программы многоборий, из которых две предназначены для детей 8-16 лет и две для взрослого населения 17-60 лет и старше. Из изложенного можно сделать вывод о том, что в комплексе имеет место спортивная часть в качестве системы многоборий и оценки их результатов. **Обоснование структуры и содержания спортивной части комплекса ГТО.**

Положением о комплексе ГТО определено, что он состоит из двух частей – нормативно-тестирующей и спортивной. Эти составляющие легли в название комплекса. Именно по этой причине он называется «физкультурно-спортивным».

Содержание физкультурной (нормативно-тестирующей) части к настоящему времени уже в основном сложилось, однако, содержание спортивной части комплекса ГТО практически не раскрыто.

Из положения о комплексе ГТО следует, что основными задачами спортивной части являются:

1) привлечение к систематическим занятиям физкультурой и спортом;
2) выполнение нормативов комплекса ГТО;
3) получение массовых спортивных разрядов.

В пункте 17 формулируются цели и задачи спортивной части и констатируется, что виды многоборий Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса, утверждаются Министерством спорта РФ. Пункт 14 предполагает стимулирование золотым знаком комплексом ГТО лиц, имеющих спортивные звания и разряды. Очевидно, что названные пункты не раскрывают назначения спортивной части и свидетельствует о том, что эффективное применение спортивной части комплекса ГТО возможно только при разработке её основных составляющих: а) элементов структуры спортивной части, б) элементов содержания спортивной части.

Исходя из изложенного предлагается следующий проект структуры спортивной части комплекса ГТО, который предусматривает:

а) систему соревнований как по отдельным видам испытаний комплекса ГТО, так и по программам многоборий, состоящих из видов испытаний (тестов), соответствующих конкретной ступени комплекса ГТО;

В связи с этим спортивную часть целесообразно усилить посредством:

б) введения различных видов многоборий из числа тестов комплекса ГТО в зависимости от ступеней, в сочетании с дисциплинами различных видов спорта (в том числе и командных – баскетбол, гандбол, футбол);

в) присвоения спортивных разрядов за выполнение требований ЕВСК по видам испытаний, соответствующих дисциплинам видов спорта;

г) присвоения спортивных разрядов за выполнение нормативов по многоборьям ГТО;

д) стимулирования постоянной подготовки и ежегодного выполнения нормативов комплекса ГТО через поощрение в виде присвоения спортивных разрядов.

Спортивная (соревновательная) направленность этой части комплекса ГТО уже в настоящее время реализуется на практике и обеспечивается проведением фестивалей Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса «Готов к труду и обороне», проведением Декад комплекса ГТО среди обучающихся в образовательных организациях совместно с мероприятиями, проводимыми организациями ДОСААФ России, а также в рамках общероссийского движения «Спорт для всех».

В Республике Марий Эл в 2015 и 2016 гг. проводились зимние и летние декады по многоборьям комплекса ГТО в 3,4,5,6-й возрастных ступенях с подсчетом личных и командных результатов по разработанным 100-очковым таблицам оценок результатов соревнований. Поскольку данные мероприятия предполагают не только определение победителей в отдельных видах испытаний, в многоборьях, в ступенях комплекса ГТО, но и выявление победителей в командном зачёте, это требует разработки специальных таблиц оценки результатов в очках для каждого вида испытаний, а также для отдельных ступеней.

Кроме того, применение таблиц очков открывает новые возможности взаимодействия (сочетания) системы оценки результатов с помощью твердых нормативов и гибкой (очковой), учитывающей индивидуальные особенности испытуемых в физическом развитии и физической подготовленности. Предложенные подходы реализации спортивной части и ее дальнейшее совершенствование позволят в полной мере реализовать предназначение комплекса ГТО, а также увеличит количество спортсменов массовых разрядов в различных видах спорта, открывают перспективы достижения показателя 40% граждан, систематически занимающихся физической культурой и спортом (Стратегия развития физической культуры и спорта до 2020 года).

Как уже отмечалось, исследования, проведенные В.А. Уваровым и Т.С. Гильмутдиновым [20] свидетельствуют о том, что наличие спортивной части комплекса ГТО и присвоение спортивных разрядов по многоборьям ГТО и отдельным дисциплинам считают необходимым 72% опрошенных специалистов и 91% школьников в возрасте от 11 до 15 лет.

Введение в спортивную часть комплекса ГТО различных комбинаций многоборий состоящих из видов испытаний комплекса ГТО, а также других видов спорта и видов физкультурно-спортивной деятельности и с присваиванием спортивных разрядов считают возможным 50% специалистов. На вопрос о целесообразности введения условий, когда для получения золотого знака комплекса ГТО будут применяться не только твердые (установленные) уровни нормативных требований, но и очковая система для учета индивидуальных физиологических (конституциональных) особенностей испытуемых положительно ответили 68% специалистов. 58% считают, что в спортивную часть комплекса ГТО нужно ввести положение о ежегодном подтверждении статуса значкиста комплекса ГТО. 88% специалистов считают, что получение знаков отличия комплекса ГТО стимулирует привлечение населения к занятиям различными видами спорта, а лозунг «От знака ГТО к Олимпийской медали» актуален для молодого поколения (75% опрошенных). Исходя из представленного материала был сформирован проект структуры спортивной части комплекса ГТО, который предлагается для реализации спортивной деятельности.

**Принципы формирования содержания программ многоборий комплекса ГТО**

Поскольку основным элементом спортивной части комплекса ГТО является соревновательная программа, состоящая из различных вариантов многоборий, это требует разработки унифицированных подходов к их формированию, что позволит использовать понятие «системности» в этом процессе.

1. Соответствие содержанию видов испытаний, имеющихся во всех ступенях комплекса ГТО.
2. Максимальное разнообразие вариантов программ многоборий для каждой ступени.
3. Равнозначная трудность программ в блоках троеборий, четырехборий, пятиборий и т. д.
4. Оптимальное сочетание видов испытаний для оценки физической и прикладной подготовленности населения.
5. Выполнение спортивных разрядов в отдельных видах испытаний комплекса ГТО и в многоборьях в соответствии с требованиями Единой всероссийской спортивной классификации.
6. Возможность выбора вариантов программ многоборий в зависимости от наличия спортивного инвентаря и спортивных сооружений [6].
7. Предоставление возможности субъектам Российской Федерации выбора вариантов программ многоборий в соответствии с региональными и национальными традициями.
8. Обеспечение надежности и оценки результатов соревнований.
9. Обеспечение экономии финансовых затрат и времени организаторов и участников на проведение соревнований.
10. Обеспечение зрелищности соревнований с целью пропаганды комплекса ГТО, через использование различных вариантов эстафет.
11. Стимулирование интереса участников к процессу подготовки и выступлений на спортивных соревнованиях.

На основе изложенных принципов были сформированы программы многоборий для лиц мужского и женского пола. Всего сформировано 33 варианта программ.

**Содержание программ многоборий комплекса ГТО.**

**Зимние многоборья:**

двоеборье для мальчиков и девочек 9- 10 лет силовая гимнастика – сгибание и разгибание рук в упоре лежа на полу, лыжные гонки на 1 км; троеборье для мальчиков и девочек 11-12 и 13-15 лет: – подтягивание на высокой перекладине для мальчиков (сгибание и разгибание рук в упоре лежа на полу для девочек, – стрельба из пневматической винтовки упр. II-ВП, – лыжная гонка 1, 2 км, для мальчиков и девочек 13-15 лет – лыжная гонка 3 км девочки, 3, 5 км, для мальчиков.

для юношей и девушек, мужчин и женщин 16-39 лет:

подтягивание на перекладине (для юношей и мужчин), стрельба из пневматической винтовки, лыжные гонки – 5, 10 км (для юношей и мужчин), сгибание и разгибание рук в упоре лежа на полу (для девушек и женщин), лыжная гонка – 3, 5 км (для девушек и женщин)

**Летние многоборья.** Троеборья:

в программы троеборья обязательно включается бег на выносливость. а вторым и третьим видом из других видов испытаний комплекса согласно возрастной ступени в различных сочетаниях. Например:

- бег на 60 (30, 100) м + плавание + бег на выносливость;
- стрельба + плавание + бег на выносливость и т.д. всего 8 вариантов.

четырехборья:

в программы четырехборья обязательно включается бег на выносливость. а следующие 3 из других видов испытаний комплекса согласно возрастной ступени в различных сочетаниях. Например:

– бег на 60 (30, 100) м + метание + плавание + бег на выносливость;

- стрельба + плавание + метание + бег на выносливость;

и т.д., всего 8 вариантов.

пятиборья:

бег 60 (100) м + метание + стрельба + плавание + бег на выносливость;

- бег 60 (100) м + силовая гимнастика + стрельба + плавание + бег на выносливость.

шестиборья:

- бег 60 (100) м + прыжок в длину с/м + метание + стрельба + плавание + бег на выносливость;

- бег 60 (100) м + силовая гимнастика + поднимание туловища + стрельба + плавание + бег на выносливость.

семиборья:

- бег 60 (100) м + прыжок в длину с/м + метание + стрельба + плавание + измерение гибкости + бег на выносливость;

- бег 60 (100) м + прыжок в длину с/м + силовая гимнастика + поднимание туловища + стрельба + плавание + бег на выносливость.

восмиборья:

- бег 60 (100) м + прыжок в длину с/м + метание + стрельба + плавание + измерение гибкости + поднимание туловища + бег на выносливость;

- бег 60 (100) м + прыжок в длину с/м + силовая гимнастика + поднимание туловища + измерение гибкости + стрельба + плавание + бег на выносливость.

девятиборье:

- бег 60 (100) м + прыжок в длину с/м + метание + стрельба + плавание + измерение гибкости + силовая гимнастика + поднимание туловища + бег на выносливость.

**Разработка таблиц оценки видов испытаний Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса ГТО.**

Как известно, на протяжении всей истории комплекса ГТО для оценки физической подготовленности населения применялись твёрдые уровни нормативных требований. Такой подход дает наглядное представление об уровне нормативных требований, которые обозначаются конкретным результатом измерений (минуты, секунды, метры, сантиметры, количество повторений, количество очков) позволяет провести тестирование большого количества испытуемых за минимальное время. Лишь в комплексе ГТО-1959 была введена очковая система оценки результатов, которая себя на практике не оправдала. Вместе с тем в системе соревнований, особенно соревнований многоборного характера, оценка результатов на основе таблиц очков является прогрессивной моделью. Ниже представлены преимущества использования таблиц очков при оценке результатов в многоборьях.

1. Таблицы оценки результатов позволяют более дифференцировано оценивать большие массивы результатов, промежуточных между нормативными.
2. Шкалы таблиц позволят участнику более точно оценивать свои достижения в разных видах испытаний и намечать пути их улучшения.
3. Шкалы таблиц позволяют оптимизировать методику подготовки к выполнению нормативов комплекса ГТО.
4. Таблицы оценок позволяют более точно распределять места участников как в отдельных видах испытаний, так и в личном и командном первенствах.
4. Фиксирование результатов с использованием таблиц является более точной методикой, чем более твёрдые уровни нормативов.
5. Оценка результатов в очках в видах многоборий повышает объективность тестирования.
6. Практика проведения спортивных соревнований в отдельных видах спорта (плавание, лыжные гонки, легкая атлетика) свидетельствует о необходимости разработки дополнительных эквивалентных таблиц на других соревновательных дистанциях.

Изложенные принципы легли в основу разработки таблиц оценки результатов видов испытаний комплекса ГТО. На протяжении длительного периода в многоборьях комплекса ГТО использовалась 45-очковая система. Затем стала применяться 60-очковая система.

В настоящее время в полиатлоне [12] используется 100-очковая система, которая достаточно надежно оценивает результаты соревнований и остается рабочей таблицей оценки результатов в многоборье в настоящее время. Целью такой таблицы является преобразование спортивного результата, выраженного в секундах, метрах, количестве повторений (например, в подтягиваниях на перекладине) и т. п., в условные очки. Закон, по которому преобразуются спортивные результаты в очки, называется шкалой оценок. Такая шкала задается в виде математической формулы, графика или таблицы.

В спорте и физическом воспитании существует 4 основных типа шкал. Это пропорциональные, регрессирующие, прогрессирующие и сигмовидные (или S-образные) шкалы. Разработка 100-очковых оценочных таблиц в возрастных группах 1-11 ступеней проводилась с использованием сигмовидной (иди S-образные) шкалы. Математической обработке подверглись 86 протоколов соревнований среди учащихся средних и высших учебных заведений, региональных чемпионатов по многоборьям ГТО, многоэтапные соревнования спартакиад среди молодежи допризывного возраста от первенств районов до финалов Российской Федерации.

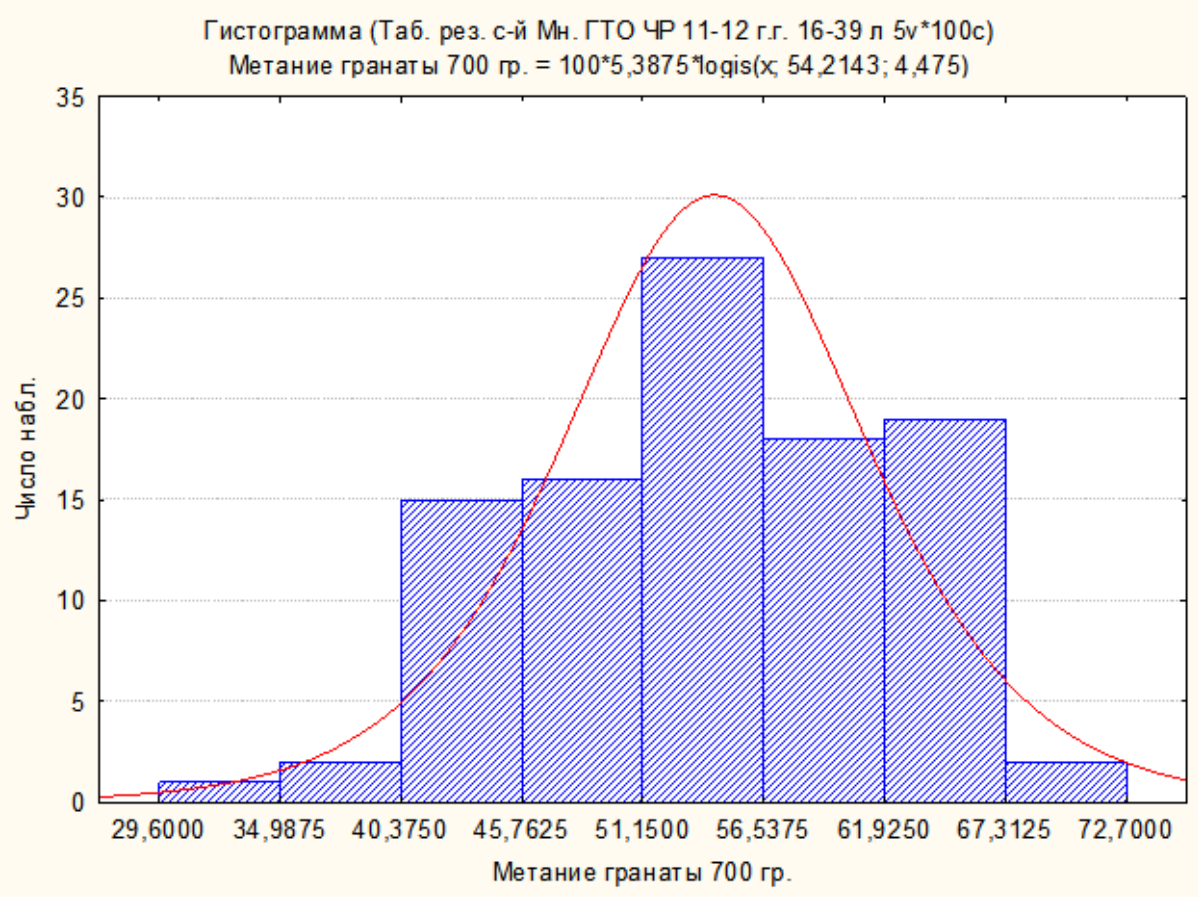
Ранее в СССР для оценки результатов комплекса ГТО использовались сопоставительные и должные нормы. Нормой в спортивной метрологии называется граничная величина результата, служащая основой для отнесения спортсменов к одной из классификационных групп. Это могут быть группы в соответствии со спортивными разрядами, степенью тренированности, нормативами комплекса ГТО и т. п. Сопоставительные нормы имеют в своей основе сравнение людей, принадлежащих к одной и той же совокупности (в данном случае возрастной ступени Комплекса ГТО). В нашем случае сопоставительные нормы основываются на сравнении результатов спортсменов-многоборцев ГТО, выступающих на Чемпионатах РФ в 2011-12 гг., так как мы используем именно эту выборку, состоящую для удобства наглядности из 100 человек. Возрастная группа этой выборки 16-39 лет.

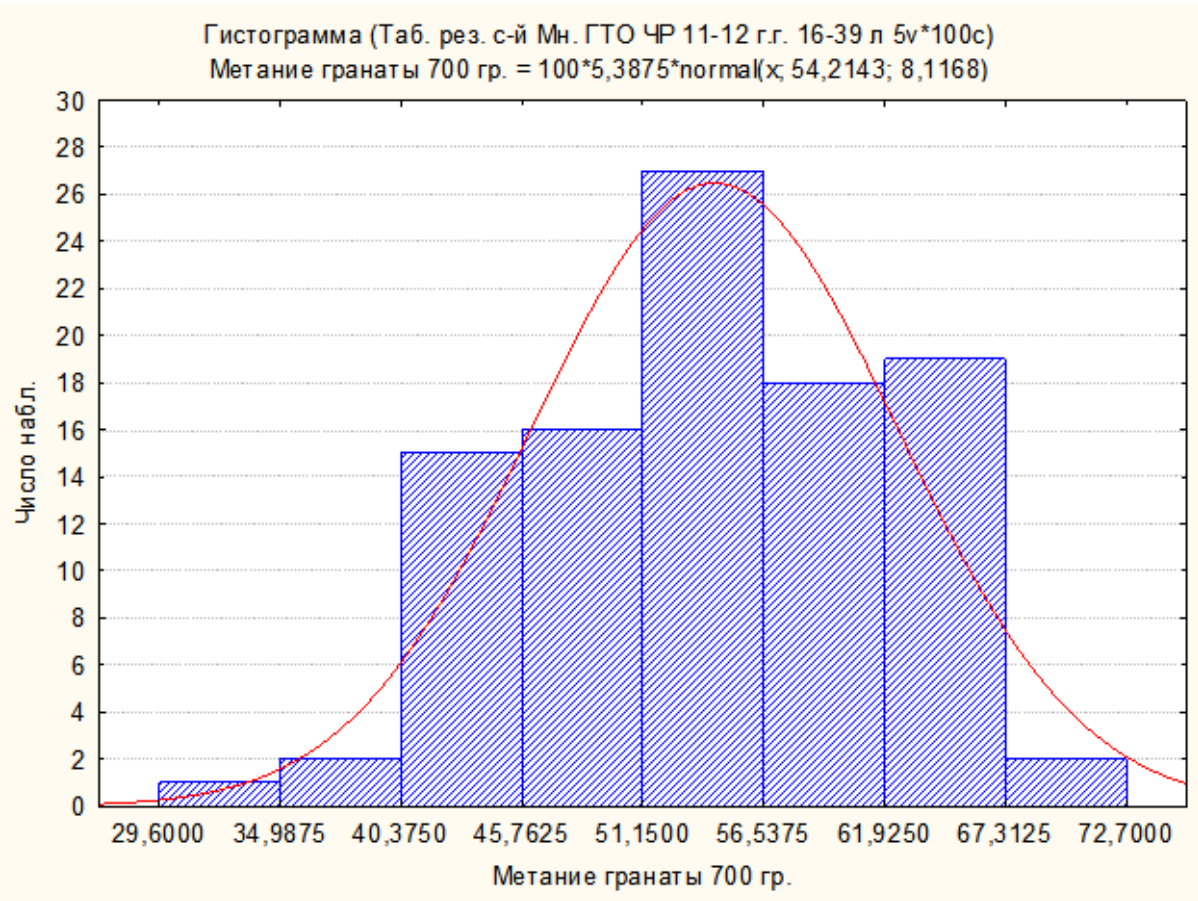
Должные нормы основаны на анализе того, что должен уметь делать человек, чтобы успешно справляться с задачами, которые ставит перед ним жизнь: труд, оборонная деятельность, быт, спорт и т.д. В нашем случае сопоставительные нормы определяются на основе перцентильного подхода. Перцентильные шкалы относятся к сигмовидным шкалам. А сигмовидные шкалы есть функции (кумуляты) нормального распределения. Перцентильные шкалы очень наглядны и поэтому широко используются.

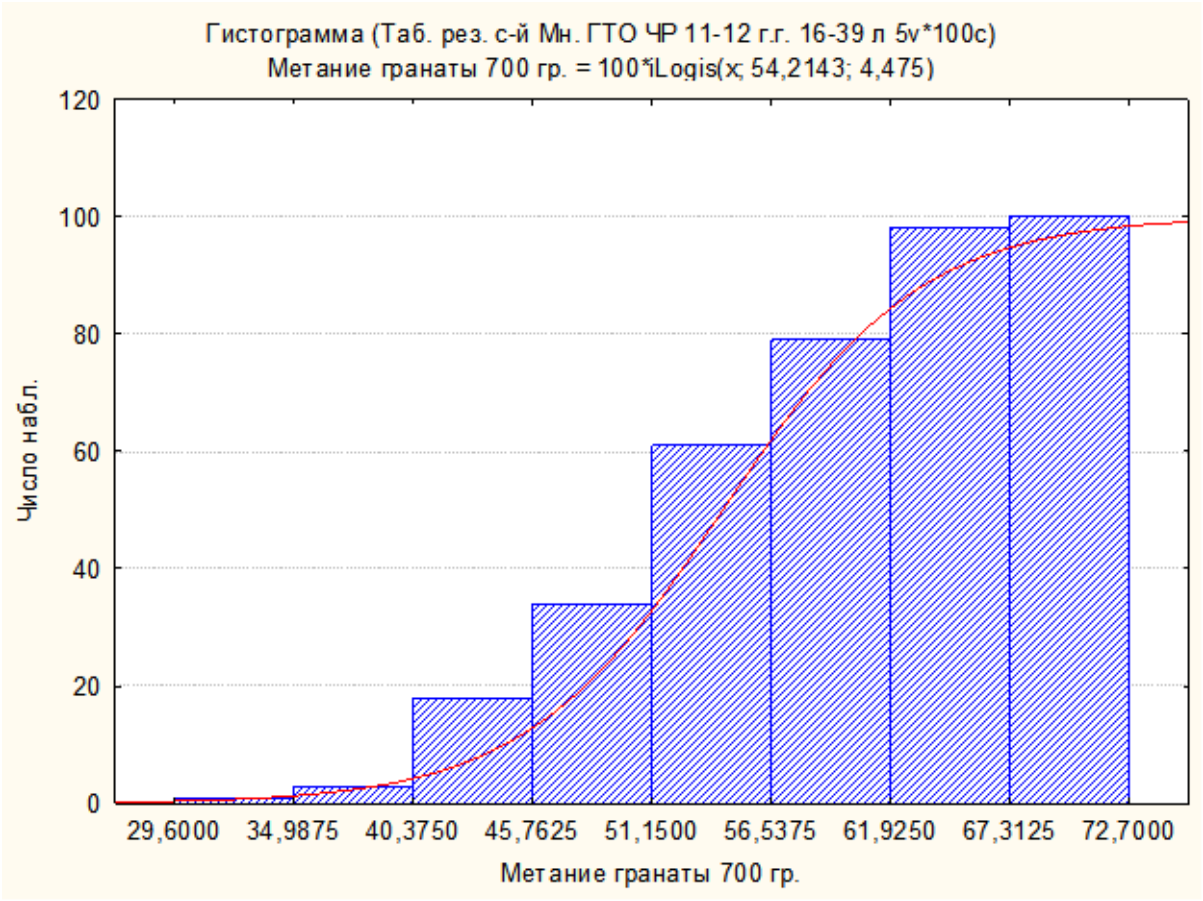
Можно использовать логистическое распределение, кумулята которого выражается довольно простой математической формулой. А отличается оно от нормальной только более острой вершины и более «отяжелёнными» концами графика, что можно подправить методом выбранных точек на концах этого графика и если в этом будет необходимость.

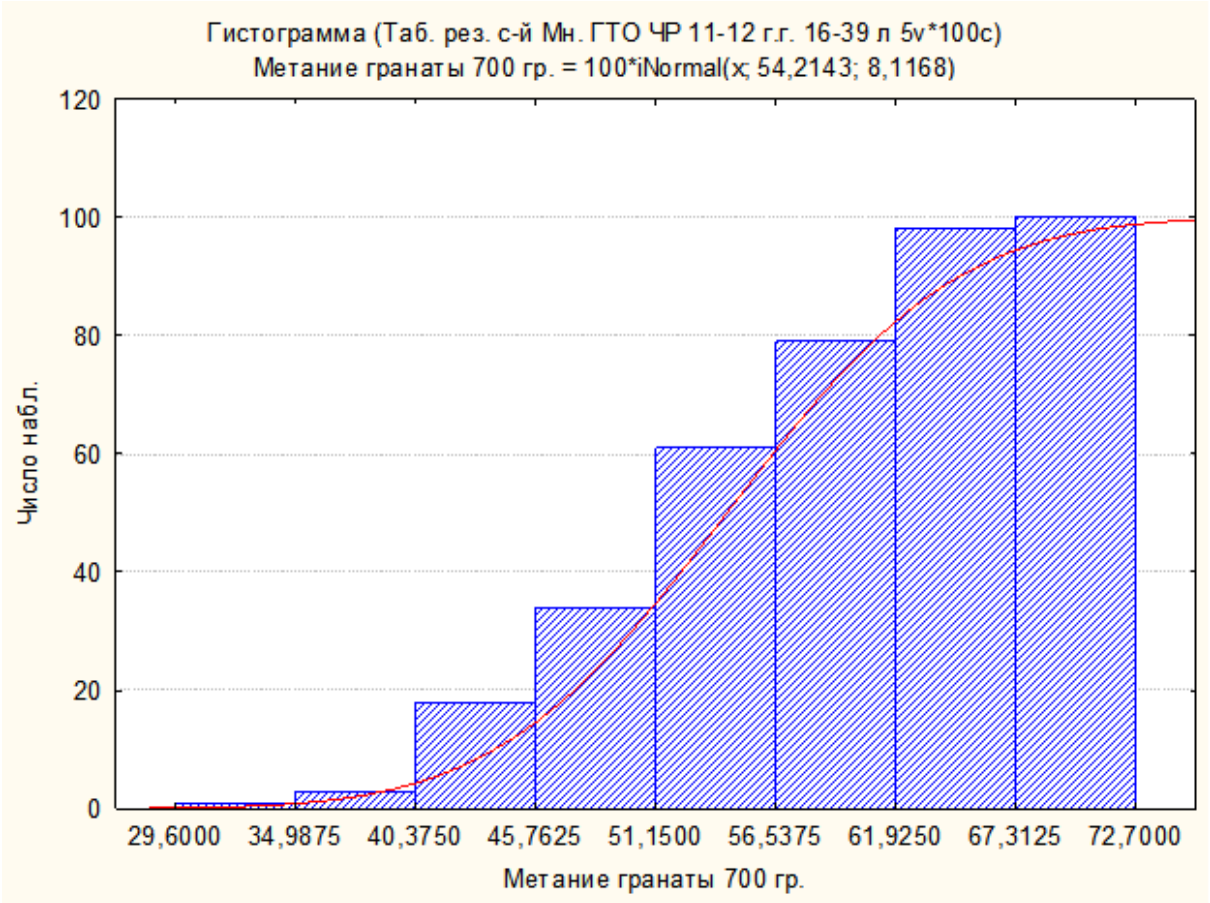
Ниже приведены гистограммы распределения просто частот и накопленных частот результатов в метании гранаты 700 гр. из нашей выборки. Из этих гистограмм видно соответствие эмпирического распределения нормальному, а также приводится кривая сумм накопленных частот – кумулята, которая является функцией нормального распределения. Профиль этой кумуляты используется для создания сигмовидной шкалы оценок результатов в испытаниях многоборий ГТО.

Далее нами приводятся графики нормального и логистического распределения и их кумуляты для результатов в метании гранаты 700 гр. для сравнения между собой. И приводится формула распределения логистического распределения (кумулята) для метания гранаты. Эту формулу можно впрямую использовать для создания таблицы оценок результатов в метании гранаты, что очень удобно. И так как кумулята нормального распределения не выражается в виде аналитической формулы.


Гистограмма (Таб. рез. с-й Мн. ГТО ЧР 11-12 г.г. 16-39 л 5v*100c)
Метание гранаты 700 гр. = 100*5,3875*logis(x; 54,2143; 4,475)
Число набл.
0
5
10
15
20
25
30
35
29,6000
34,9875
40,3750
45,7625
51,1500
56,5375
61,9250
67,3125
72,7000
Метание гранаты 700 гр.

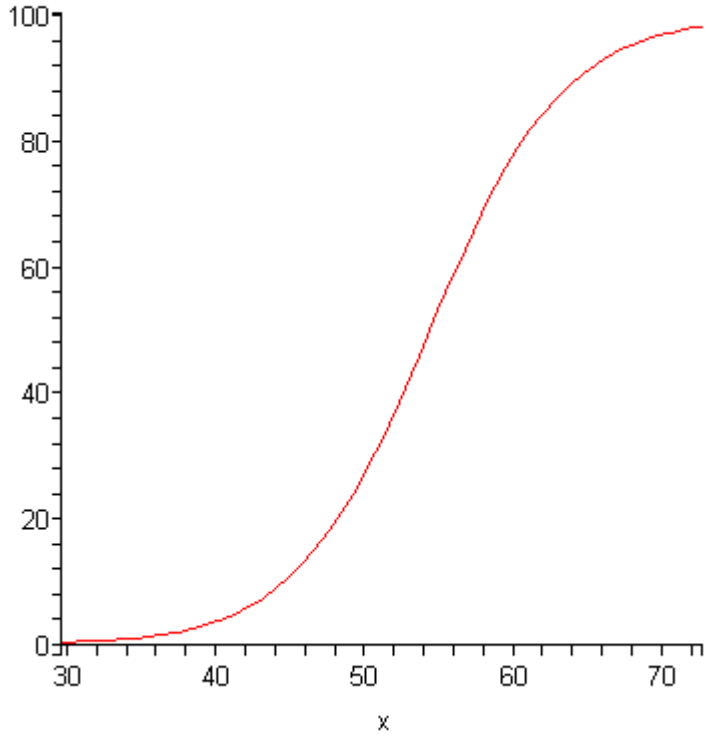

Гистограмма (Таб. рез. с-й Мн. ГТО ЧР 11-12 г.г. 16-39 л 5v*100c)
Метание гранаты 700 гр. = 100*5,3875*normal(x; 54,2143; 8,1168)
Число набл.
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
29,6000
34,9875
40,3750
45,7625
51,1500
56,5375
61,9250
67,3125
72,7000
Метание гранаты 700 гр.


Гистограмма (Таб. рез. с-й Мн. ГТО ЧР 11-12 г.г. 16-39 л 5v*100c)
Метание гранаты 700 гр. = 100*iLogis(x; 54,2143; 4,475)
Число набл.
0
20
40
60
80
100
120
29,6000
34,9875
40,3750
45,7625
51,1500
56,5375
61,9250
67,3125
72,7000
Метание гранаты 700 гр.


Гистограмма (Таб. рез. с-й Мн. ГТО ЧР 11-12 г.г. 16-39 л 5v*100c)
Метание гранаты 700 гр. = 100*iNormal(x; 54,2143; 8,1168)
Число набл.
0
20
40
60
80
100
120
29,6000
34,9875
40,3750
45,7625
51,1500
56,5375
61,9250
67,3125
72,7000
Метание гранаты 700 гр.

Формула: $F(x) = 100/(1 + \exp((-x + 54{,}2143)/4{,}475))$

и её график:




Таким образом на основе использования данного подхода нами разработаны 100-очковые таблицы оценок от 1-й до 11 ступени.

Разработанная таблица успешно применяется в региональных и всероссийских фестивалях ВФСК ГТО. А также получила широкое практическое применение на различных соревнованиях по многоборьям комплекса ГТО.

В настоящее время приказом Минспорта РФ от 12 мая 2016 г. утверждены предложенные варианты многоборий комплекса ГТО и таблицы оценки результатов для каждой ступени.

На основе анализа спортивных мероприятий, проведенных с применением 100-очковых таблиц для каждой ступени разрабатываются разрядные нормативы по многоборьям ВФСК ГТО от юношеских разрядов до кандидата в мастера спорта. Введение разрядных нормативов по многоборьям ГТО в Единую Всероссийскую классификацию – это важный шаг по укреплению позиций нового комплекса и внедрение ГТО в жизнь народа. Без сомнения, многоборье ГТО поможет юношам и девушкам обрести хорошую общефизическую подготовку, будет для них стартовой площадкой в большой спорт. Ну, а тем, кому за 30, многоборья помогут быть всегда в отличном физическом состоянии.

**Список литературы**

1. Осипов И.Т. Многоборье комплекса ГТО/ И.Т. Осипов. – М.: Физкультура и спорт, 1960. – 63 с.
2. Уваров В.А. Смелые и ловкие. I ступень ГТО. Изд. 2-е, доп. М., 1973.
3. Многоборье комплекса ГТО: программа, для спортсекций. – М.: Физкультура и спорт, 1976. – 80 с.
4. Скачков Н.Г. Многоборье ГТО. – М.: ДОСААФ, 1982. – 127 с.
5. Уваров В.А. 50 лет на службе народу. – Физическая культура в школе. 1981. № 3.
6. Григорьев П.М. От значка ГТО – к Звезде Героя. – М.: Физкультура и спорт, 1983. – 136.

7. Уваров В.А. Организация соревнований по комплексу ГТО в коллективе физкультуры. Методические рекомендации. – М.: ВНИИФК – 33 с.
8. Уваров В.А. Страницы истории // Физкультура и спорт. – 1985. – № 6.
9. Гильмутдинов Т.С. Реализация принципа индивидуализации в физическом воспитании на основе зачетных требований с использованием таблиц результатов многоборья ГТО / Т.С. Гильмутдинов, Г.А. Бобков// Научно- методическая конф. «Роль физической культуры в формировании здорового образа жизни студентов»: Материалы конф. Омск. 1991.- Ч II – С. 20-21.
10. Гильмутдинов Т.С. К вопросу о критерии оценки физической подготовленности студентов основной группы на основе таблиц оценки результатов многоборий ГТО/ Т.С. Гильмутдинов // III Межуниверситетская науч.- метод. Конф. (с участием стран СНГ) «Организация и методика учебного, физкультурно-оздоровительной и спортивной работы»: Мат. конф. – Йошкар-Ола, 1994. – С. 52-53.
11. Гильмутдинов Т.С. Методика подготовки квалифицированных многоборцев комплекса ГТО. Методическое пособие /Т.С. Гильмутдинов, В.А. Уваров. – Йошкар-Ола: МарГУ, 1994. – 44 с.
12. Гильмутдинов Т.С. Правила соревнований / Т.С. Гильмутдинов, В.М. Криво, Н.Н. Галактионов, А.И. Кемза. – Изд-во ком. РФ по физ. культуре и туризму: ВФП. – СПБ-1998. – 124 с.
13. Гильмутдинов Т.С. Влияние занятий летним полиатлоном на физическое состояние студентов. VII Межуниверситетская научно-методическая конференция «Организация и методика учебного процесса, физкультурно-оздоровительной и спортивной работы»: Материалы международной конференции. – М.: Изд-во МГУ, 2002 – С. 21-24.
14. Уваров В.А., Гильмутдинов Т.С. Полиатлон: Учебное пособие. / Мар. Гос. Ун-т.- Йошкар-Ола. – 2003. – 120 с.: и л.
15. Гильмутдинов Т.С. Методика и организация тестирования физической подготовленности учащейся молодежи на основе 100-очковых таблиц и программ: Методическое пособие / Мар. гос. ун-т.
16. Гильмутдинов Т.С. Исследование влияния занятий полиатлоном на разностороннее развитие физической подготовленности студентов-спортсменов. Физиологические и биохимические основы и педагогические технологии адаптации к разным по величине физическим нагрузкам. Том II: материалы Международной научно-практической конференции (29-30 ноября 2012). – Казань: Поволжская ГАФКСиТ, 2012. – с. 43-46.
17. Всероссийский физкультурно-спортивный комплекс «Готов к труду и обороне» (ГТО): документы и методические материалы / Н.В. Паршикова, В.В. Бабкин, П.А. Виноградов, В.А. Уваров / под общей ред. В.Л. Мутко; Министерство спорта Российской Федерации. – М.: Советский спорт, 2014. – 60 с.: ил.
18. Гильмутдинов Т.С., Гильмутдинов Р.Т. Проблемы и перспективы внедрения спортивной части ВФСК ГТО. М 341 Материалы Десятой международной научной школы «Наука и инновация – 2015» ISS SI-2015S /Редакционная коллегия: И.И. Попов, В.А. Козлов, В.В. Самарцев. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет. 2015. – С. 285-292.
19. 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: материалы Всероссийской научно-практической конференции 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.
20. Уваров В.А. Основные аспекты обоснования структуры и содержания спортивной части ВФСК ГТО / В.А. Уваров, Т.С. Гильмутдинов // Вестник спортивной истории / ФГБУ, Государственный музей спорта. – М., 2016 – № 3. 2016 г. – с. 64-78.

# ЗНАЧЕНИЕ ВФСК ГТО КАК МОТИВАЦИОННОГО ФАКТОРА К ЗАНЯТИЯМ ЛЫЖНЫМИ ГОНКАМИ

**А.Р. Ендубаев, Я.А. Ендубаев**

*СДЮСШОР по лыжным гонкам» ГБУ ДО Республики Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Россия*

Представлено обоснование включения лыжных гонок в состав обязательных видов испытаний Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса. Приведены результаты соревнований по лыжным гонкам среди учащихся общеобразовательных школ муниципального образования Республики Марий Эл.
**Ключевые слова:** Всероссийский физкультурно-спортивный комплекс, показатели физической подготовленности, лыжные гонки.

**Введение.** За последние годы в России резко обострилась проблема с состоянием здоровья населения: увеличилось количество людей, употребляющих наркотики, алкоголь, табак. В несколько раз увеличилось число людей с хроническими заболеваниями. По данным выборочных медицинских обследований около половины выпускников покидают школу с проблемами со здоровьем. Процент курящих, употребляющих алкоголь из этого числа довольно высок – 36-40%, не следящих за своим питанием и здоровьем – 40-63%. В этой связи возрастает значимость и ценность безопасного существования личности, как в различных сферах человеческой жизни, так и профессиональной деятельности. На передний план выходят такие показатели нравственной и социальной зрелости как готовность к работоспособности в различных условиях среды, повышение резервов собственной жизнедеятельности, толерантность между избранной профессией и собственными интересами.

Поэтому наиболее актуальным сегодня является формирование здоровьесберегающей среды, где главным способом формирования и поддержания здоровья является двигательная активность с оздоровительной направленностью. Основой стратегии мероприятий здорового образа жизни представляется формирование устойчивого интереса населения, особенно молодежи, занятиями физической культурой и спортом.

Неслучайно в совместном приказе Министерства образования РФ, Министерства здравоохранения РФ, государственного комитета РФ по физической культуре и спорту и Российской академии образования (от 16.07.2002г.) отмечено, что «формирование физической культуры личности обучающегося с учетом его физических возможностей состояния здоровья и мотивации» является приоритетным направлением совершенствования процесса физического воспитания». Обоснование физической культуры и спорта как неотъемлемых составляющих здоровьесбережения, особенно в циклических видах спорта, таких как лыжные гонки, становится основополагающим.

**Цель работы –** обоснование необходимости включения лыжных гонок в ВФСК ГТО в качестве обязательного вида испытаний как мотивационного фактора формирования устойчивого интереса населения, особенно молодежи, к занятиям физической культурой и спортом.

**Результаты исследования и их обсуждение.** В период в проведения эксперимента по введению всероссийского физкультурно-спортивного комплекса ГТО провели сравнительный анализ результатов проводимых соревнований по лыжным гонкам «Надежда Марий Эл» среди школьников в течение трех зимних спортивных сезонов: с 2014 по 2016 гг.

Соревнования по лыжным гонкам «Надежда Марий Эл» проводятся в муниципальных образованиях Республики Марий Эл с целью наибольшего охвата учащихся образовательных школ на этих спортивных мероприятиях для привлечения их к занятиям лыжными гонками и выявления наиболее одаренных. Основными участниками этих соревнований являются школьники 13-14 лет. Следует подчеркнуть, что возраст 13-14 лет характеризуется активным развитием физических способностей и является чрезвычайно благоприятным для фор-

мирования устойчивого интереса подростков к целенаправленным занятиям в большинстве видов спорта. Сравнительный анализ результатов этих соревнований среди общеобразовательных школ Медведевского муниципального образования приведен в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1.**

Усредненные результаты прохождения дистанции 3 км мальчиками 13-14 лет общеобразовательных школ Медведского муниципального образования Республики Марий Эл

| № п/п | Общеобразовательные учреждения | Усредненные результаты прохождения мальчиками дистанции 3 км. (мин, с) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **2014г.** | **2015г.** | **2016г.** |
| 1 | Юбилейная СОШ | 12,27 | 12,03 | 08,20 |
| 2 | Нурминская СОШ | 16,28 | 19,56 | 12,38 |
| 3 | Азановская СОШ | 15,46 | 15,06 | 13,51 |
| 4 | Шойбулакская СОШ | 16,39 | 15,67 | 11,22 |
| 5 | Сенькинская СОШ | 17,28 | 16,46 | 11,32 |
| 6 | Кузнецововская СОШ | 15,57 | 17,32 | 8,29 |
| 7 | Конганурская СОШ | – | 09,06 | 08,19 |
| 8 | Петъяльская СОШ | – | 08,49 | 08,24 |
| 9 | Аринская СОШ | – | 08,40 | 08,35 |
| 10 | Шудумарская СОШ | – | 09,39 | 08,44 |
| 11 | Верх-Ушнурская СОШ | – | 09,11 | 08,56 |
| 12 | Ежовская СОШ | – | 08,10 | 08,31 |

**Таблица 2.**

Усредненные результаты прохождения дистанции 2 км девочками 13-14 лет общеобразовательных школ Медведского муниципального образования Республики Марий Эл

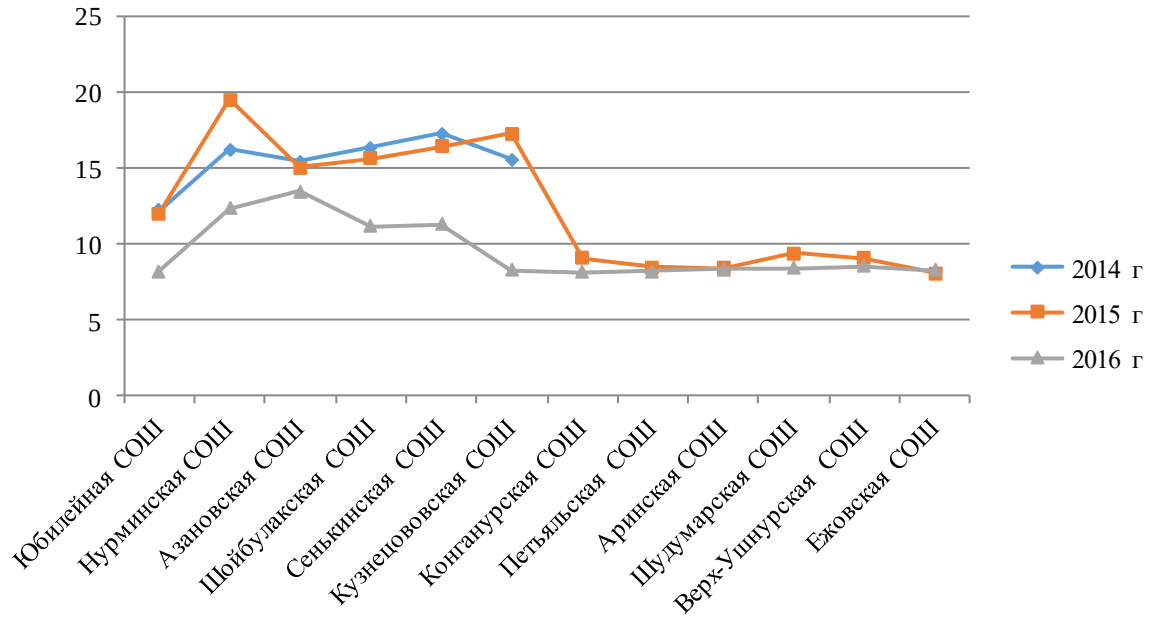
| № п/п | Общеобразовательные учреждения | Усредненные результаты прохождения девочками на дистанции 2 км (мин, с) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **2014г.** | **2015г.** | **2016г.** |
| 1 | Юбилейная СОШ | 8,47 | 8,58 | 8,56 |
| 2 | Нурминская СОШ | 14,32 | 12,55 | 10,5 |
| 3 | Сенькинская СОШ | 13,44 | 14,33 | 11,43 |
| 4 | Кузнецовская СОШ | 8,29 | 12,03 | 11,46 |
| 5 | Медицинскаягимназия | 14,32 | 12,59 | 10,5 |
| 6 | Азановская СОШ | 8,47 | 11,31 | 11,16 |
| 7 | Шойбулакская СОШ | – | 14,32 | 15,01 |
| 8 | Русско-Кукмарьская СОШ | – | 17,33 | 17,13 |
| 9 | Аринская СОШ | – | 8,4 | 8,35 |
| 10 | Шудумарская СОШ | – | 7,52 | 8,44 |
| 11 | Ежовская СОШ | – | 11,31 | 11,16 |

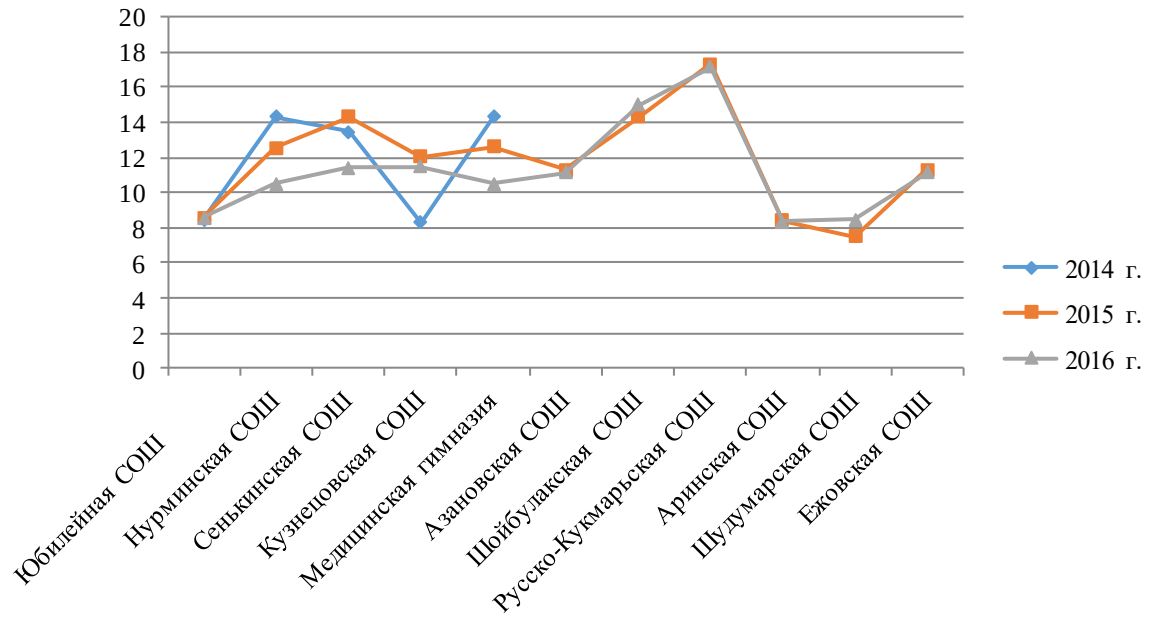
Нормативы времени выполнения упражнения «бег на лыжах на 3 км» показаны в табл. 3. Результаты соревнований представлены на диаграммах. Выбор Медведевского муниципального образования обоснован тем, что на его территории организован один из центров тестирования по апробации введения Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса «Готов к труду и обороне». Полученные данные показывают, что результаты участников превышают нормативы физкультурно-спортивного комплекса ГТО.

**Таблица 3**

Нормы ГТО для школьников 13-15 лет в испытании «бег на лыжах на 3 км», мин., с

| **Уровень, значок** | **мальчики** |
|---|---|
| золотой | 16.30 |
| серебряный | 17.45 |
| бронзовый | 18.45 |




Результаты на соревнованиях в 2015 и 2016 годах у школьников образовательных школ превышают результаты 2014 года. Объясненяется это тем, что эти образовательные учреждения были обеспечены качественным лыжным инвентарем как участники эксперимента по внедрению комплекса ГТО и у школьников появился интерес к систематическим занятиям лыжными гонками.

Из анализа результатов этих соревнований следует:

1. Результаты в лыжной подготовке у школьников по годам имеют прогрессирующую тенденцию к улучшению.
2. Возможны отклонения от этой тенденции объективного характера: качество состояния лыжни, качество смазки лыж, наличие качественного инвентаря.
3. Количество образовательных учреждений, участвующих на соревнованиях по лыжным гонкам, увеличивается.
4. Состояния уровня занимающихся лыжными гонками на примере общеобразовательных школ Медведского муниципального образования Республики Марий Эл аналогичны для дру-

гих муниципальных образований республики и отражает общее положение в этом вопросе для других регионов, имеющих благоприятное предрасположение занятиям лыжными гонками.

Современное положение дел, связанное с организацией работы в учебных заведениях, детских учреждениях спортивной направленности в условиях дефицита бюджетных средств, требует определенного подхода к решению задач по привлечению школьников к занятиям лыжными гонками и особенно в зависимости от удаленности от центров специализированной подготовки. Установлено, что занятия лыжными гонками оказывают разностороннее благоприятное влияние на организм занимающихся, оказывая огромный оздоравливающий и закаливающий эффект. Передвижение на лыжах по равнинной и пересеченной местности с преодолением подъемов и спусков различной крутизны и рельефа вовлекает в работу большие группы мышц и оказывает положительное воздействие на развитие и укрепление основных функциональных систем организма. Исключительно велико и воспитательное значение передвижения на лыжах. Во всех видах занятий на лыжах: на уроках, тренировках, соревнованиях или просто прогулках, – успешно воспитываются важнейшие морально-волевые качества, смелость и настойчивость, дисциплинированность и трудолюбие, способность к перенесению любых трудностей [1]. Несомненно большое военно-прикладное значение лыжного спорта в допризывной подготовке юношей к воинской службе.

Следует отметить, что занятия лыжными гонками дают положительное эффект использования лыжной подготовки для пловцов, как элемента развития координационных способностей и выносливости, влияют на систему кровообращения и иммунитет организма сопротивляемости неблагоприятным действиям внешней среды [2]. Анализ двигательной активности спортсменов каратэ показывает наибольшую эффективность использования лыжной подготовки, как элемента воспитания координационных способностей и выносливости, используются и в единоборствах [3]. По оценке специалистов, лыжный спорт является одним из самых массовых видов спорта, культивируемых в регионах, где климатическая зона предрасполагает занятиям лыжами. Республику Марий Эл можно отнести к регионам Российской Федерации, где отмечается возрастающий интерес населения к занятиям этому национальному для республики виду спорта. Теоретический анализ рабочей комиссии в ходе пилотажного эксперимента в Республике Марий Эл по внедрению нового Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса «Готов к труду и обороне», собственный педагогический опыт позволили оценить значение всероссийского физкультурно-спортивного комплекса ГТО в развитии лыжных гонок среди большого числа населения всех возрастов. Мотивационным фактором для реализации своих индивидуальных физических возможностей – достижения высоких спортивных результатов в лыжной подготовке, стало выполнение нормативов комплекса ГТО [4].

**Заключение.** Введение лыжных гонок в перечень обязательного вида испытаний ВФСК ГТО позволит повысить мотивацию устойчивого интереса к занятиям лыжными гонками всего населения и в конечном итоге станет определяющим направлением деятельности на установку на здоровый образ жизни.

**Список литературы**

1. Бутин И.М. Лыжный спорт. – М.: Академия, 2000. – 368 с.
2. Макаренко Л.П. Техническое мастерство пловца. – М.: ФиС, 1975.
3. Алхасов Д.С., Филюшкин А.Г. Стилевое каратэ: примерные программы для системы дополнительного образования детей: детско-юношеских спортивных школ, специализированных детско-юношеских школ олимпийского резерва. – М.: Физическая культура, 2012. – 140 с.
4. Ендубаев А.Р. Формирование устойчивого интереса к занятиям лыжными гонками посредством введения физкультурно-спортивного комплекса ГТО // Совершенствование учебного и тренировочного процессов в системе образования: сб. науч. трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2014 г. – С. 129–132.

УДК 51+577

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУТИ АНАЭРОБНОГО ГЛИКОЛИЗА С ПОМОЩЬЮ СЕТЕЙ ПЕТРИ

**В.П. Желтов, П.В. Желтов, В.А., Козлов, С.П. Сапожников**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»
428015, Чебоксары, Московский проспект, 15
chnk@mail.ru

Предложено математическое моделирование линейных неразветвленных биохимических путей с помощью сетей Петри на примере анаэробного гликолиза.
**Ключевы слова:** сети Петри, математическая модель, программирование, анаэобный гликолиз

We proposed mathematical modeling of linear unbranched biochemical pathways using Petri nets on the example of anaerobic glycolysis.
**Key words:** Petri nets, mathematical model, programming, anaerobnyy glycolysis

Моделирование биологических процессов является актуальной темой как для биологии и биохимии, так и для медицины. В отличии от реакций неорганической химии, которые протекают в искусственно созданной среде и имеют в целом детерминированный характер, органические реакции и биохимические процессы, протекающие в живых организмах, значительно отличаются от искусственно воспроизведенных в лабораторных условиях. Это связано с тем, что в живых средах реакции и процессы имеют несколько более сложный характер, т.к. часто имеет место их «пересекаемость» друг с другом и взаимодействие участвующих в них веществ со структурными элементами организма.

Подобные реакции/процессы невозможно смоделировать с помощью традиционных химических уравнений. К тому же органические вещества имеют, как правило, сложную нелинейную пространственную структуру и реальное физико-химическое взаимодействие таких веществ также невозможно смоделировать принятыми в настоящее время в химии и биологии традиционными символьными химическими уравнениями и схемами.

В настоящее время в мировой науке существуют два основных направления решения этих вопросов:

1) пространственное моделирование с визуализацией, эмулирующее с помощью компьютера взаимодействие атомов и молекул в некотором пространстве на основании возникающих между ними кулоновских сил и установление ионных и ковалентных связей. Это направление называется симуляционным, а разработанные в рамках симуляционного подхода к моделированию биохимических процессов и химических реакций компьютерные программы принято называть симуляторами;

2) символьное математическое моделирование, которое является продолжением традиционных символьных химических уравнений и схем. Это направление называется абстрактным моделированием.

Оба эти подхода имеют как достоинства, так и недостатки.

В качестве основного достоинства симуляционного подхода можно указать его ориентированность на физику, которая и находится в основе всех химических явлений.

В качестве основного недостатка можно указать то, что разработанные для подобного рода моделирования компьютерные программы требуют больших ресурсов. Помимо больших объемов оперативной памяти (свыше 10 Гб) для их эффективной и быстрой работы требуется как правило наличие многопроцессорной системы. Иными словами, для работы с ними требуются суперкомпьютеры (на уровне Теслы как минимум).

В качестве основных достоинств абстрактного подхода следует указать:

1) простоту реализации на ЭВМ – методы математического моделирования дискретных процессов, также, как и обработка символьных данных, которые для этого применяются, разработаны в достаточной для этого степени;

2) нетребовательность к ресурсам. Программы абстрактного моделирования хорошо и быстро работают на обычных персональных компьютерах.

В качестве недостатка подобного моделирования следует указать его ограниченные возможности при необходимости моделирования пространственно-структурных факторов.

Исходя из вышесказанного актуальным является разработка подхода, основанного на абстрактном моделировании, но имеющего в своем инструментарии необходимые средства для моделирования пространственно-структурных факторов.

В качестве такого мы предлагаем аппарат сетей Петри, а именно J-сети [1-8]. Этот класс сетей Петри (СП) является развитием цветных синхронных сетей Петри.

Сеть Петри (PN) определяется как набор

$$PN = < P, T, I, O, M_0 >.$$

где P – множество позиций,
T – множество переходов,
I – множество входных дуг,
O – множество выходных дуг,
$M_0$ – начальная маркировка.

Простейшая сеть Петри из двух позиций и одного перехода изображена на рис. 1. Такие сети Петри, у которых простые позиции (изображаются кружком), простые дуги (изображаются стрелкой) и переходы (изображаются тонкой линией, перпендикулярной к дугам), называются простыми сетями Петри.




а) сеть Петри до срабатывания перехода $t_1$ (единственный маркер находится в позиции $p_1$)

б) сеть Петри после срабатывания $t_1$ (маркер перешел из $p_1$ в $p_2$)

**Рис. 1.** Простейшая сеть Петри

Сети Петри были разработаны Карлом Адамом Петри в 1962 году и с тех пор получили бурное развитие. Этот математический аппарат оказался пригодным для моделирования самых разных процессов и систем.

Действительно, переходы СП можно интерпретировать как действия, а позиции как состояния. Позиции, предшествующие переходу, можно интерпретировать как состояния моделируемого объекта (процесса) до действия, представленного $t_1$, а состояние, следующее за переходом, как состояния объекта (процесса) после действия. В терминологии СП первые принято называть предусловиями действия, а вторые – постусловиями.

Маркер, который принято в простых сетях Петри изображать как кружок, является фишкой, которая перемещается после действия из одной позиции в другую.

Маркеры можно интерпретировать как ресурсы системы (объекта или процесса), которые могут изменяться в результате действий во времени и переходить из одного местоположения в другое в пространстве.

Применительно к моделированию химических реакций переходы СП можно интерпретировать как реакции, позиции, предшествующие переходам, т.е. те из которых дуги ведут в

переход, интерпретировать как предусловия наличия необходимых для реакций веществ, при наличии в них необходимого количества маркеров, каждый из которых интерпретируется как одно из исходных для реакции веществ, а позиции, следующие за переходом, как постусловия реакции, а маркеры в них как конечный продукт.

В качестве иллюстрации возможностей сетей Петри по моделированию реакций органической химии предлагаем модель анаэробного гликолиза.

Гликолиз, как известно, представляет собой последовательность реакций, в результате которых одна молекула глюкозы расщепляется на две молекулы пировиноградной кислоты [2, с. 47]. Эти реакции в клетках протекают не в митохондриях, а в цитоплазме, и для них не требуется присутствия кислорода.

Процесс можно разделить на два этапа: на первом происходит превращение глюкозы в фруктозо-1,6-бисфосфат, на втором – расщепление фруктозо-1,6-бисфосфата на два трехуглеродных сахара, которые затем превращается в пировиноградную кислоту [2, с.47].

Если при этом в клетке имеется кислород, то пировиноградная кислота переходит в митохондрии для полного окисления до $CO_2$ и воды, и такой гликолиз называется аэробным. Если же кислорода нет, то она превращается либо в этанол (дрожжевых бактерий), либо в молочную кислоту (в животных клетках и у молочнокислых бактерий) и такой гликолиз называется анаэробным. Общая схема анаэробного гликолиза приведена на рис. 2.

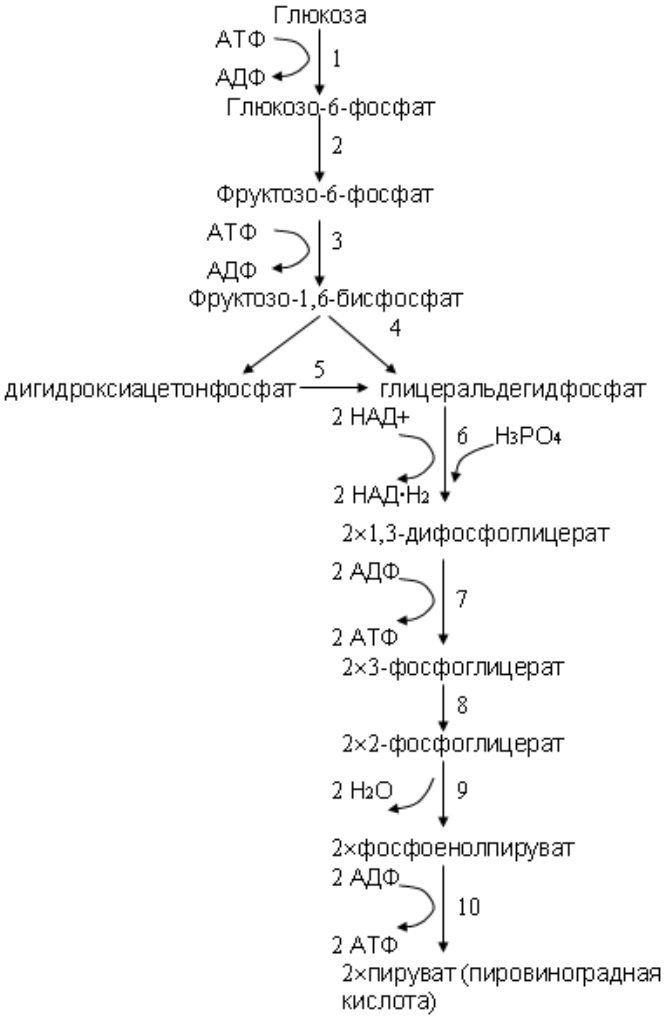



**Рис. 2.** Схема анаэробного гликолиза

Для представления веществ, участвующих в реакциях анаэробного гликолиза, указанных на рис. 2, в СП применим следующие символьные обозначения представляющих их маркеров (таблица 1).

**Таблица 1.**

Символьные обозначения маркеров, представляющих вещества

| Название вещества | Обозначение маркеров |
|---|---|
| Глюкоза | Gluc |
| Аденозинтрифосфат | Ad · 3 $PO_3H_2$ |
| Аденозиндифосфат | Ad · 2 $PO_3H_2$ |
| Глюкозо-6-фосфат | Gluc · 6 $PO_3H_2$ |
| Фруктозо-6-фосфат | Fruc · 6 $PO_3H_2$ |
| Фруктозо-1,6-бисфосфат | Fruc · 1,6 b$PO_3H_2$ |
| Никотинамидадениннуклеотид | NAAN |
| Дигидроксиацетонфосфат | $2H_2$ · Ac · OH · $PO_3H_2$ |
| Глицеральдегидофосфат | Glyc · Ald · $PO_3H_2$ |
| 1,3-дифосфоглицерат | 1,3×2 $PO_3H_2$ · Glyc |
| 3-фосфоглицерат | 3 $PO_3H_2$ · Glyc |
| 2-фосфоглицерат | 2 $PO_3H_2$ · Glyc |
| Фосфоенолпируват | $PO_3H_2$ · Pyr |
| Пировиноградная кислота | Pyr |

Модели 10 реакций анаэробного гликолиза со схемы на рис. 2 на СП будут выглядеть следующим образом (рис. 3-12):

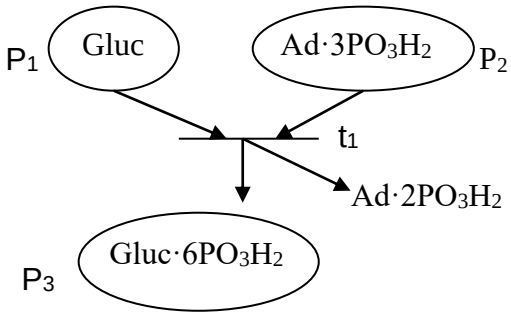



Рис. 3. Реакция 1

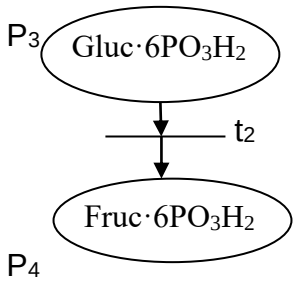



Рис. 4. Реакция 2

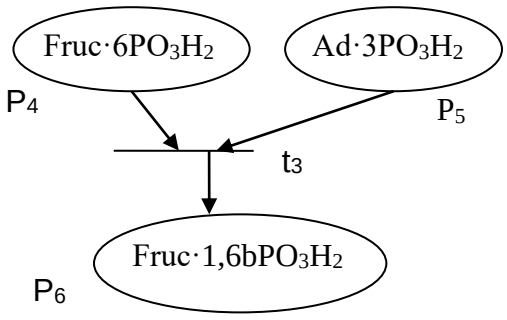



Рис. 5. Реакция 3

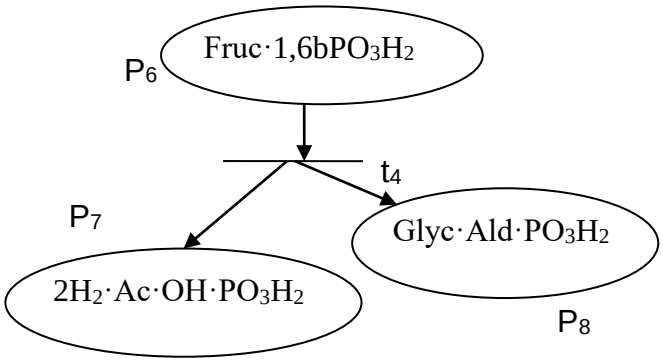



Рис. 6. Реакция 4

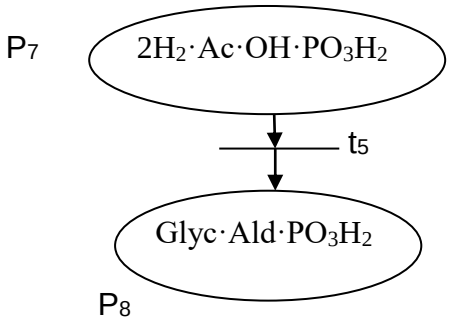



Рис. 7. Реакция 5

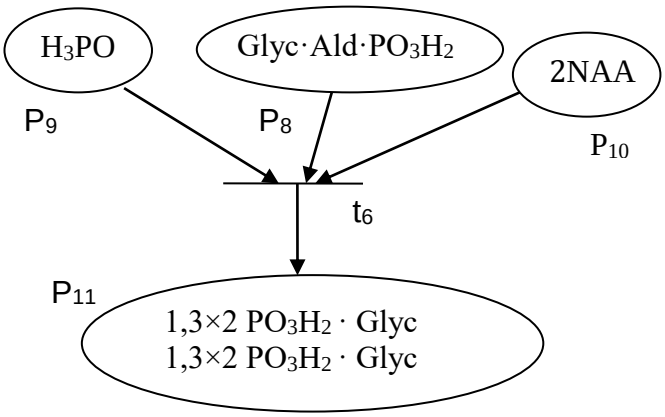



Рис. 8. Реакция 6

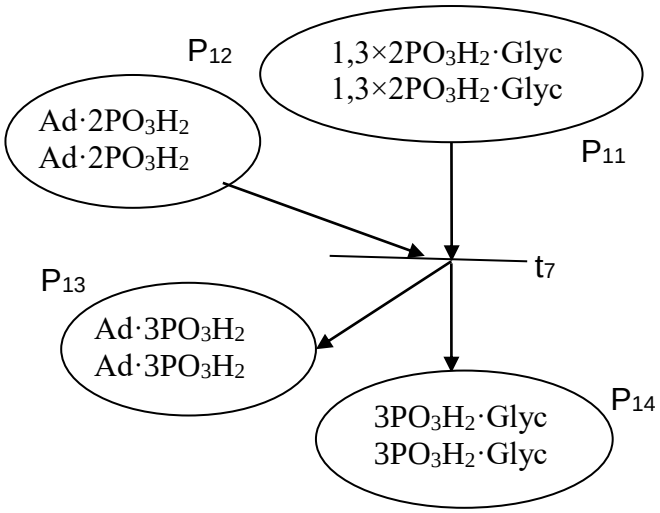



Рис. 9. Реакция 7

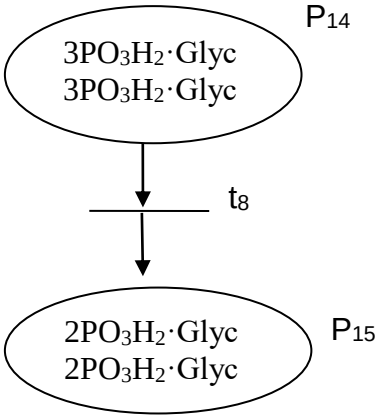



Рис. 10. Реакция 8

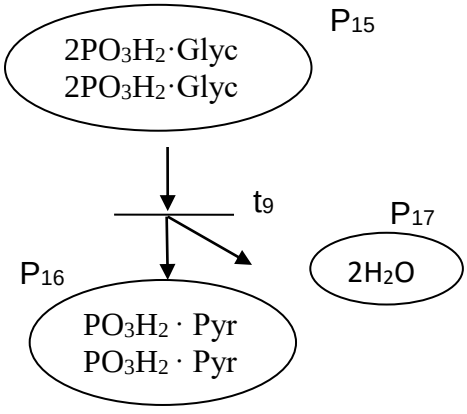



Рис. 11. Реакция 9

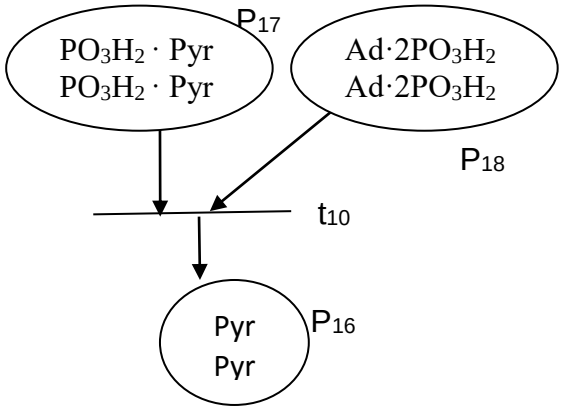



Рис. 12. Реакция 10

**Выводы**

Построенная сетевая модель анаэробного гликолиза может быть введена в ЭВМ с помощью целого ряда программ, поддерживающих сети Петри, и проанализирована на такие свойства как живость (работоспособность схемы в целом), достижимость (корректное выполнение всех реакций), баланс маркеров (сохранение масс вещества).
Иными словами, возможность сетей Петри позволяют установить однозначные соответствия между химической терминологией и терминологией сетей Петри как математического аппарата моделирования. Компьютерная поддержка аппарата сетей Петри позволяет автоматизировать анализ моделируемых реакций, что актуально при их сложности и пересекаемости между собой, а также при их множественности.

**Список литературы**

1. Желтов П.В. Модели и методы обработки символьной информации на сетях Петри / П.В. Желтов. Чебоксары: Издательство Чувашского университета, 2012. – 108 с.
2. Грин Н. Биология. В 3-х т. Т.2. Пер. с англ./ Н. Грин, У. Стаут, Д.Тейлор. – М.: Мир, 1990. – 327 с.
3. Желтов П.В. J-сети как инструментарий для моделирования многоагентных систем Вестник Чувашского университета. – 2011. – № 3. – С. 132–136.
4. Желтов П.В. J-сети. Компьютерные технологии и моделирование: сб. науч. тр. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2011. – Вып. 7. – 100 с.
5. Желтов П.В., Желтов В.П., Желтова Л.В., Кузнецова Н.А. Алгоритмы на сетях Петри. – Чебоксары, 2008. – 146 с.
6. Желтов П.В. Аналитическое представление сетей Петри. Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2009. – № 4. – С. 66–68.
7. Желтов П.В. Гомеостатические модели на сетях Петри и их поведенческие свойства. Компьютерные технологии и моделирование: сб. науч. тр. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2009. – Вып. 5. – С. 49–59.
8. П. В. Желтов. Моделирование многоагентных систем сетями Петри: монография. – Чебоксары, 2008. – 112 с.

# ФОРМИРОВАНИЕ ЛИЧНОСТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ

**Н. Г. Парамонова, А. И. Григорьева**

*Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева*
*428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 38*
*E-mail: rektorat@chgpu.cap.ru*

Изучена проблема формирования и оценки личностных результатов школьников, выявлены направления их формирования в процессе обучения химии.

Studied the problem of formation and evaluation of the personal results students identified the direction of their formation in the process of learning chemistry.

**1. Введение.** С 2015–2016 учебного года учреждения системы основного общего образования переходят на стандарты второго поколения – ФГОС. Школа должна готовить своих учеников к будущей жизни. Поэтому сегодня важно не столько дать ученику как можно больший багаж знаний, сколько обеспечить его общекультурное, личностное и познавательное развитие. Актуальной является ориентация на результаты образования, где развитие личности обучающегося на основе усвоения универсальных учебных действий (УУД) составляет цель и основной результат образования.

В соответствии с требованиями ФГОС обучение любой дисциплине должно формировать не только предметные, метапредметные, но и личностные результаты учеников. Современное образование становится все более личностно-ориентированным. Происходит слияние педагогических и психологических целей обучения и воспитания. Новый федеральный образовательный стандарт общего образования впервые основывается на отечественных психолого-педагогических идеях, а именно на системно-деятельностном подходе, обеспечивающем построение образовательного процесса с учетом индивидуальных, возрастных, психологических, физиологических особенностей и здоровья обучающихся.

Личностные результаты – сформировавшаяся в образовательном процессе система ценностных отношений обучающихся к себе, другим участникам образовательного процесса, самому образовательному процессу и его результатам.

Содержание школьного курса химии представлено четырьмя видами:
1) системой научных знаний;
2) системой умений (специальных, интеллектуальных, общеучебных);
3) опытом творческой деятельности, накопленным человечеством в данной области науки;
4) опытом отношения к окружающей действительности, правильной ценностной ориентации.
Четвертый вид содержания подразумевает формирование личностных качеств. На основе эмоционально-волевой сферы личности, ее отношения к изучаемому, знания перерастают в убеждения, формируется мировоззрение.

Цель исследования – изучение проблемы формирования личностных результатов в процессе обучения химии.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи:
1. Провести анализ проблемы формирования личностных результатов школьников.
2. Выявить взаимосвязь между развивающим обучением и формированием личностных качеств.
3. Выявить направления формирования личностных результатов в процессе обучения химии.
4. Проверить экспериментально некоторые направления формирования личностных результатов обучения.

Изучив историю и теорию вопроса установили, что идея развития личностных качеств в процессе обучения школьным предметам в той или иной форме присутствует в документах, касающихся реформирования школьного химического образования. В концепции школьного химического образования эта идея отражена в принципе гуманизации [2]. Идея гуманизации в курсе химии призвана раскрыть перед учениками роль химии в создании общечеловеческих ценностей, использования ее достижений на благо человека. Эта идея созвучна требованиям ФГОС по формированию личностных качеств.

Формированию личностных результатов в большей степени способствует реализация развивающих и воспитательных целей обучения. В отечественной школе всегда ставилась задача воспитания учащихся в процессе обучения: нравственное, трудовое, эстетическое, экологическое воспитание. Это способствует становлению ученика как личности. На формирование личностных результатов образования большое влияние оказывает личность учителя. Тому находится много подтверждений в отечественной науке и педагогике.

Проблема реализации требований ФГОС в плане формирования личностных результатов находит отражение в работах методистов, педагогов: Н.А. Заграничной, П.А. Оржековского, М.М. Шалашовой, И.Н. Титовой, А.В. Хуторского, М.М. Поташника, М.В. Левита и др.

Вклад учебного предмета «Химия» как в становление личности обучаемых, так и в достижение отдельных личностных результатов обусловлен содержанием знаниевого компонента курса, видами деятельности, которые осваивают учащиеся (учебно-познавательная, экспериментальная, исследовательская), методикой изучения предмета, принятой в современной школьной практике. Эти факторы предопределяют возможные направления воспитательной работы учителя химии. Н. А. Заграничная выделяет несколько направлений воспитательной работы при обучении химии:

- ✓ формирование мировосприятия и мировоззрения учащихся на основе развития познавательных возможностей личности;
- ✓ формирование мотивационно-ценностного поведения;
- ✓ воспитание гражданственности, патриотизма;
- ✓ воспитание экологической культуры, культуры здорового и безопасного образа жизни;
- ✓ воспитание ценностного отношения к прекрасному, формирование основ эстетической культуры;
- ✓ процессуально-деятельностное направление [1].

Под «личностными результатами» отечественная психология понимает психические новообразования, то есть качественные особенности психики, которые впервые появляются в данный возрастной период и определяют сознание ребенка, его отношение к среде, к внутренней и внешней жизни. К окончанию школьного обучения такими новообразованиями становятся личностное и профессиональное самоопределение, то есть сформированное мировоззрение, обретение личностной идентичности, готовность и способность к саморазвитию, самовоспитанию и самообразованию на протяжении всей жизни, самостоятельное и независимое определение жизненных целей и выбор будущей профессии [6].

Рассмотрим понятие «личностные результаты» в редакции ФГОС.

«Стандарт устанавливает требования к результатам освоения обучающимися основной образовательной программы основного общего образования: личностным, включающим готовность и способность обучающихся к саморазвитию и личностному самоопределению, сформированность их мотивации к обучению и целенаправленной познавательной деятельности, системы значимых социальных и межличностных отношений, ценностно-смысловых установок, отражающих личностные и гражданские позиции в деятельности, социальные компетенции, правосознание, способность ставить цели и строить жизненные планы, способность к осознанию российской идентичности в поликультурном социуме [5, с. 4].

Широкий отклик на страницах дидактических, научно-методических, психолого-педагогических изданий нашли идеи ФГОС о формировании личностных и метапредметных результатов образования.

В новых стандартах предлагается разделить планируемые результаты обучения на личностные, метапредметные и предметные. Оппоненты указывают на то, что такая трактовка предполагает, что метапредметные и предметные результаты не являются личностными [4]. Авторы статьи рассматривают это как противоречие и считают необходимым внести коррективы в ФГОС. Любой образовательный результат ученика является личностным. Такой же точки зрения придерживаются и другие авторы [7].

Одной из актуальных проблем является так же оценка личностных результатов. М.М. Поташник и М.В. Левит отмечают, что в ФГОС не приводятся критерии оценки метапредметных и личностных результатов образования [4]. Результаты ОГЭ и ЕГЭ, по мнению авторов, очень условно количественно оценивают результаты образования. Они считают, что обучаемость, обученность, воспитанность, развитие не могут быть оценены количественно. М.М. Шалашова и Л.М. Абрамкина рассматривают этот вопрос в своей статье [8]. Авторы статьи указывают, что в оценивании личностных результатов должны оказывать помощь специалисты психолого-педагогической службы школы. Но психологические тесты, как правило, дают возможность оценивать какую-нибудь одну из психологических функций, и составлены без учета предметной области. Поэтому диагностику личностных результатов нужно проводить с помощью особых заданий. Критериально-ориентированные тесты с использованием предметного содержания разрабатываются методистами и учителями. Авторы статьи предлагают критерии и показатели для оценки личностных результатов учеников (табл. 1).

Проблемы диагностики личностных результатов требует своего решения. Над этим работают педагоги, методисты, учителя. По мнению авторов статьи «Анализ ресурсного обеспечения становления личностных результатов в школьном курсе химии в соответствии с требованиями ФГОС» оцениваться должны не столько личностные результаты, сколько ресурсы, обеспечивающие достижения этих результатов [3]. Личностная часть результатов ФГОС является предметом анализа и оценки массовых социологических исследований. В настоящее время «быть личностью – это значит быть субъектом:

- ✓ собственной жизнедеятельности, осознанно строить свою жизнь во взаимодействии с миром;
- ✓ предметной деятельности (в работах этого направления личность выступает в значении «деятель»);
- ✓ деятельности общения.

В настоящее время в связи с требованиями ФГОС идея сотрудничества в процессе обучения вновь становится актуальной. Под педагогическим сотрудничеством имеется в виду общение между учителем и учащимися, учащимися между собой. Это развивает чувство ответственности, социальную активность, сопричастность каждого к общему делу, развиваются навыки общения. Изучив основы развивающего обучения можно сделать выводы. Личностная сфера учащихся формируется в процессе учебной деятельности. Возникает мотив к учению, формируется умение учиться. Развивающее обучение способствует формированию личностных качеств, предусмотренных ФГОС.

Основная задача исследования состояла в определении направлений формирования личностных результатов в процессе обучения химии. Нами выявлены следующие направления:

- ✓ реализация развивающего обучения средствами предмета химии;
- ✓ использование исторического аспекта;
- ✓ методика группового обучения;
- ✓ организация внеурочной деятельности учащихся;
- ✓ использования воспитательного потенциала, заложенного в содержании и методике учебного предмета химии.

**Таблица 1**

Критерии и показатели оценивания результатов личностного развития обучающихся

| Критерий | Показатели сформированности | | |
|---|---|---|---|
| | низкий | средний | высокий |
| Сформированность системы значимых социальных и межличностных отношений, ценностно-смысловых установок, отражающих личностные и гражданские позиции в деятельности, социальные компетенции, правосознание | | | |
| Способность участвовать в принятии групповых решений | Не принимает точку зрения большинства | Задает вопросы с целью уточнения разных идей, сопоставляя свои идеи с идеями других членов группы, развивает и уточняет идеи | Организует работу группы. Называет области совпадения и расхождения позиций, выявляя суть разногласий, дает сравнительную оценку предложенных идей, обращаясь к цели групповой работы |
| Ответственность | Не выполняет задания | Время от времени забывает вовремя выполнять задания. | Всегда выполняют поставленные перед ними задачи |
| Способность к продуктивной коммуникации и творчеству | Следует заданной процедуре группового обсуждения, не проявляя активности. Перебивает других во время обсуждения. | Самостоятельно договаривается о правилах и вопросах для обсуждения в соответствии с поставленной перед группой задачей. Следит за соблюдением процедуры обсуждения и обобщает решение в конце работы. Внимательно слушает других, редко перебивает, выражая несогласие. | Следит за соблюдением процедуры обсуждения и обобщает промежуточные результаты. Использует приемы выхода из ситуации, когда дискуссия зашла в тупик, или резюмирует причины, по которым группа не смогла добиться результатов. |
| Участие в диалоге, терпимость к чужому мнению | В диалоге с выступающим проявляет неуважение (перебивает, повышает голос). Не участвует в диалоге | Внимательно слушает других. Высказывает свое мнение и спрашивает мнение партнера в рамках диалога. | Устраняет разрывы в коммуникации в рамках диалога. Корректно задает вопросы выступающему |
| Способность к осознанию российской идентичности в поликультурном социуме | | | |
| Способность к рефлексии | Затрудняется в определении сильных и слабых сторон своей деятельности. С трудом раскрывает мотивы своих действий. | Указывает причины успехов и неудач в деятельности. Отмечает трудности, с которыми столкнулся при решении задач, и определяет возможности их преодоления в дальнейшем.. | Проводит полный анализ своей деятельности, раскрывая причины успехов и неудач. Аргументирует возможность использования полученных результатов в других видах деятельности. |
| Способность обучающихся к саморазвитию и самообразованию на основе мотивации к обучению и познанию | | | |
| Активность участия в обсуждении | Занимается другим делом. Не участвует в обсуждении | Активно участвует в обсуждении | Активно участвует в обсуждении, мотивирует других членов группы к принятию участия в дискуссии |

Формирование личностных результатов должно планироваться при изучении всего курса химии. Для этого, по нашему мнению, целесообразно в тематическое планирование включить дополнительную графу. В таблице 2 приведен пример оформления тематического планирования, которое было реализовано в ходе педагогического эксперимента по темам «Подгруппа азота», «Подгруппа углерода».

**Таблица 2**

Тематическое планирование по теме «Подгруппа углерода» с учетом личностных результатов

| Тема урока | Учебный материал | Сферы развития личностных результатов | Формы и методы | Содержание задания |
|---|---|---|---|---|

В ходе исследования использовались два этапа педагогического эксперимента: констатирующий и формирующий. В педагогическом эксперименте принимали участие учащиеся 9

класса МАОУ «СОШ № 61» г. Чебоксары. Педагогический эксперимент проводился по константной методике. Применялась количественная оценка результатов путем вычисления коэффициента усвоения по формуле $K = \frac{\sum_{i=1} a_i}{p \cdot N}$, где а – число правильно выполненных операций, р – число существенных операций, необходимых для выполнения задания (правильных ответов), N – число тестируемых. В ходе педагогического эксперимента реализовывались предложенные направления формирования личностных результатов на уроках и при проведении внеклассного мероприятия.

По результатам проведенного теоретического и экспериментального исследования можно сделать следующие выводы:

1. Проблема формирования личностных результатов в процессе обучения является актуальной в связи с введением новых государственных стандартов (ФГОС).
2. Развитие личности (личностных качеств) в процессе обучения всегда являлось актуальной задачей, которая решалась в ходе реализации развивающей и воспитывающей функций обучения.
3. Выявлено, что формирование личностных результатов педагоги, методисты, психологи связывают с мотивацией обучения, ресурсным обеспечением, созданием эмоционально комфортной среды.
4. Личностные результаты не могут быть отделены от предметных и метапредметных.
5. Одной из важных проблем является диагностика достижения личностных результатов; оценка должна быть качественная, а не количественная, предложен вариант критериев и показателей, но разработка средств, методов, инструментария диагностики остается актуальной задачей.
6. Выявлены следующие направления формирования личностных результатов в процессе обучения химии: реализация развивающего обучения средствами предмета химии; использование исторического аспекта; методика группового обучения; организация внеурочной деятельности учащихся; использование воспитательного потенциала, заложенного в содержании и методики учебного предмета химии. Некоторые из направлений были проверены в ходе педагогического эксперимента.
7. В рамках выпускной квалификационной работы, поставленные задачи выполнены. Но проблема формирования личностных результатов в процессе обучения является многоплановой задачей. И должна решаться с привлечением специалистов (ученых, методистов, педагогов), на уровне специализированных организаций и учреждений образования.

**Список литературы**

[1] Н.А. Заграничная. Направления воспитательной работы при обучении химии / Н.А. Заграничная // Химия в школе. – 2015. – № 5. – С. 14–17.
[2] Концепция школьного химического образования // Химия в школе. – 1993. – № 6. – С. 2–8.
[3] Г.Г. Лысова. Анализ ресурсного обеспечения становления личностных результатов в школьном курсе химии. В соответствии с требованиями ФГОС / Г.Г. Лысова, М.Ф. Широва, Н.Л. Галеева // Химия. Первое сентября. – 2014. – № 9. – С. 3–9.
[4] М.М. Поташник. Предметные, метапредметные и личностные результаты – оценка невозможного / М.М. Поташник, М.В. Левит // Народное образование. – 2014. – № 8. – С. 121–126.
[5] Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования. – Москва : Просвещение, 2011. – 48 с.
[6] Фундаментальное ядро содержания общего образования / под ред. В.В. Козлова, А.М. Кондакова. – 2-е изд. – Москва : Просвещение, 2010.
[7] А.В. Хуторской. Нынешние стандарты нужно менять, наполнять их метапредметным содержаниям образования / А.В. Хуторской // Народное образование. – 2012. – № 4. – С. 36–49.
[8] М.М. Шалашова. Как оценивать личностные результаты учащихся / М.М. Шалашова, Л.М. Абрамкина // Химия в школе. – 2013. – № 3. – С. 9–14.

## ЮБИЛЕИ



**К.М. Салихов – 80 лет!**



**Е.А. Виноградов – 75 лет**



**И.И. Попов – 65 лет**

**В 2016 году справляют свой юбилей постоянные участники Международной научной школы «Наука и инновации»:**

**80-летие – Салихов Кев Минуллинович**, академик РАН и АНТ, профессор, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий специалист в области изучения динамики спиновых систем в парамагнетиках, томографии, нанолитографии, научный руководитель Казанского физико-технического института им. Е. К. Завойского: лауреат Ленинской премии в области науки и техники (1986), лауреат Государственной премии Республики Татарстан в области науки и техники, международной премии фонда им.Александра фон Гумбольдта (Германия), международной премии им. Е.К. Завойского, лауреат Брукеровской премии Королевского химического общества Великобритании (2012), заслуженный деятель науки Российской Федерации (1995)[1], обладатель золотой медали Международного общества ЭПР, ордена «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2007), ордена «Знак Почёта», звания «Знаменитый ученый научного центра РИКЕН» (Япония).

**75-летие – Виноградов Евгений** Андреевич, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор, директор ИСАН (1989 г.-2016), зав. отделом спектроскопии твердого тела ИСАН, член Президиума Троицкого научного центра РАН (1997), член Бюро Отделения физических наук РАН, действительный член Европейской Академии Наук, заведующий кафедрой «Нанооптика и спектроскопия» ФПФЭ МФТИ, член бюро советов РАН: «Оптика и лазерная физика» и «Спектроскопия атомов и молекул», член редколлегий журналов: Turkish Journal of Physics; Semiconductor Physics, Materials and Devices Journal.

**65-летие – Попов Иван Иванович**, д.ф.-м.н., профессор, руководитель Школы «Наука и инновации», автор ряда пионерских экспериментов по фотонному эхо в газе и тонких полупроводниковых пленках. Председатель совета директоров НПК-Экоблеск, профессор ПГТУ.

**ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРОВ с праздником!**

**Желаем здоровья, благополучия, большого человеческого счастья, творческого долголетия, успехов в научной и инновационной деятельности, благодарности учеников и любви ближних, продолжать еще много лет нести людям духовную чистоту и добротолюбие!**

**Участники Школы «Наука и инновации»**

## ЮБИЛЕИ

# УЖЕ ПРОШЛО ПЯТЬДЕСЯТ ЛЕТ, КАК МЫ ЗАКОНЧИЛИ УНИВЕРСИТЕТ

**В.В. Самарцев**

17 июня 2016 года выпускники физического факультета КГУ (ныне, Казанского Федерального университета) собрались отметить 50-летие окончание университета. Я привожу здесь фотографию участников встречи с надеждой, что она может заинтересовать любителей древностей. Среди участников встречи некоторые читатели, может быть, узнают В.С. Ковлера (посл. ряд, пятый слева) – нашего организатора и вдохновителя, кандидатов наук – В.В. Михайлова и В.А. Поливанова (посл. ряд, пятый и шестой справа), сотрудника кафедры оптики и нанофотоники КГУ – В.Д. Щербакова (посл. ряд, третий справа) и стоящую рядом со мной, справа, – З.М. Кавееву – мою сокурсницу и ставшую под моим научным руководством кандидатом физ.-мат. наук. На этой фотографии мне не достает недавно скончавшихся моих друзей: Альберта Семеновича. Трайбера и Каземира Ивановича Мансура. Я окончил в 1966 году Казанский государственный университет, кафедру теории относительности и гравитации, возглавляемую в 70-е годы прошлого века выдающимся советским ученым – Петровым Алексеем зиновьевичем, автором всемирно-известной классификации Эйнштейна, исходя из свойств тензора Риччи [1]. Мы с благодарностью вспоминаем преподавателей кафедры профессоров А.П. Шуликовского, В.Р. Кайгородова, А.В. Аминову (Гусеву) и доцентов В.И. Голикова, А.М. Анчикова, В.И. Башкова, С.П. Гаврилова. Я с упоением вспоминаю годы обучения на физфаке КГУ и хочу завершить это короткое сообщение стихами:

Все ещё помним:
Эйнштейновых пространств классификацию,
И квантовую гравитацию,
И «кротовые норы»,
Приковывающие наши взоры;
Мы помним все, чего наш ум отметил,
Чему учились мы, не жалея сил,
Нас академик Петров заметил
И, в гроб сходя, благословил!



**Литература:**

А.З. Петров Пространства Эйнштейна. Физматгиз: Москва, 1961, 463 с.

# СО ШКОЛОЙ ПО ЖИЗНИ

**К.Р. Каримуллин, А.Ф. Каримуллина, Л.К. Каримуллина, А.К. Каримуллин**

e-mail: kamil@isan.troitsk.ru



**Рис. 1.** 2007 год. А.Ф. Валеева и К.Р. Каримуллин.

Так сложилось, что история нашей семьи тесно переплелась со школой «Наука и инновации». Впервые мы приняли участие на школе в 2007 году почти сразу после того как познакомились. В том году на территории санатория «Кленовая гора» (Республика Марий Эл) состоялась вторая международная школа «Наука и инновации – 2007», где я выступал с презентацией научного проекта по программе У.М.Н.И.К. (участник молодежного научно-инновационного конкурса). По-видимому, поддержка моей спутницы (рис. 1), а также доброжелательное отношение жюри позволили получить высокие баллы в конкурсе, и мой проект поддержали. Двухгодичный грант оказался серьезным подспорьем для молодой семьи, и мы начали задумываться о свадьбе. С той поры школа «Наука и инновации» стала нашим традиционным семейным мероприятием. Во время проведения третьей школы летом 2008 года мы сыграли свадьбу (рис. 2). Эта школа запомнилась вечерними свадебными заседаниями, где нас поздравляли и давали напутствия старшие коллеги.



**Рисунок 2.** 2008 год. Одна из свадебных фотографий.

На пятой школе в 2010 году мы участвовали уже практически втроем, а в ноябре у нас родилась дочь. С 2011 года Ляйсан Камилевна Каримуллина стала постоянной участницей школы (рис. 3).



**Рисунок 3.** 2011 год. Семья Каримуллиных на озере Морской глаз.

В 2013 году во время проведения восьмой школы родные, друзья и коллеги поздравили меня с тридцатилетием. Наиболее ярким впечатлением стала ночная прогулка на лодке где мы пели «Течет река Волга», причем я сидел на веслах, А.В. Наумов аккомпанировал на баяне, а И.И. Попов и Ю.Б. Грунин исполняли партию басов (рис. 4).

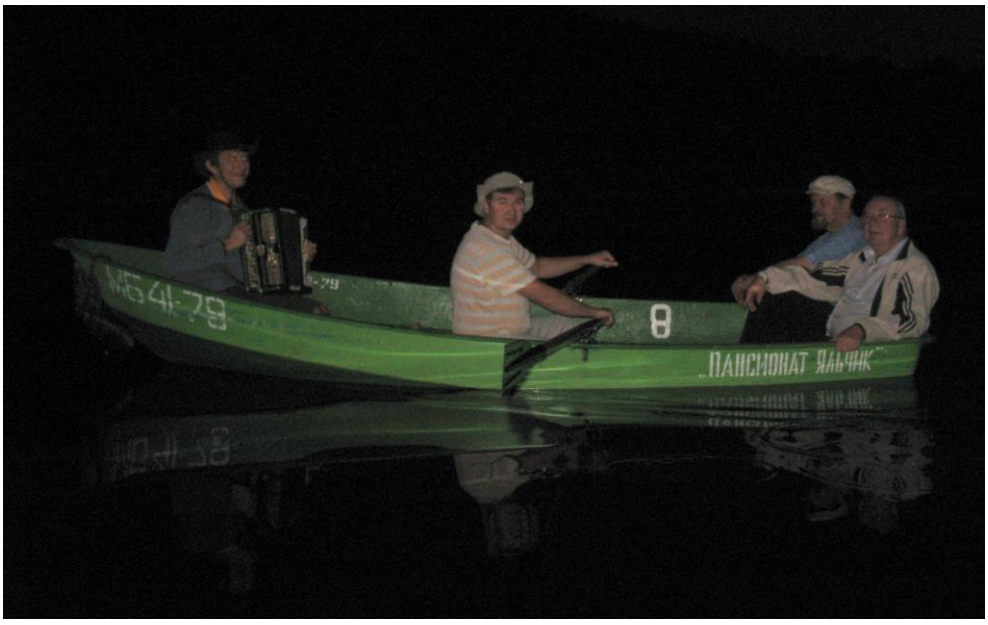



**Рисунок 4.** 2013 год. Ночная прогулка на озере Яльчик. А.В. Наумов (слева), К.Р. Каримуллин (посередине), Ю.Б. Грунин и И.И. Попов (справа).

В 2014 году произошло еще одно радостное событие в жизни нашей семьи, которое мы разделили с участниками школы. 27 июня 2014 года родился наш сын – Алан Камилевич Каримуллин, который с десятидневного возраста включился в работу школы (см. рис. 5).




**Рисунок 5.** 2014 год. Семейное фото в пансионате Яльчик.



**Рисунок 6.** 2016 год. Каримуллины на озере Морской глаз.

Мы благодарим организаторов и всех участников школы «Наука и инновации» за атмосферу праздника и теплые чувства, которыми они щедро одаривают нас все эти годы.

**ФОТОХРОНИКА ШКОЛЫ**



Участники открытия Школы «Наука и инновации 2016»




Открывает заседания Школы почетный лектор Школы профессор В.В. Самарцев



Почетный лектор академик РАН К.М. Салихов во время чтения лекции по спиновым технологиям




Чл. корр.РАН, профессор Е.А. Виноградов читает лекцию по авторской теории физики поляритонов



Почетный лектор Школы генеральный директор НПЦ Медасс Д.В. Николаев во время лекции о состоянии здоровья россиян




Профессор И.С. Осадько читает лекцию О роли фононов в резонансных явлениях в полупроводниковых средах




Почетный лектор Школы профессор В.А. Голенищев-Кутузов читает лекцию о физических основах диагностики электроэнергетических объектов




Труды Самарской школы физиков представляет доцент С.П. Котова



Представитель Донбасса профессор В.С. Абрамов сообщает, что Донбасс не только умеет себя защищать, но и активно развивает науку по физике фрактальных закономерностей в квантовых точках




Руководитель научной группы ИСАН к.ф.-м.н. К.Н. Болдырев - о наноалмазах




Ю.В. Банный (Москва) делится опытов ведения инновационного бизнеса и сообщает о завершении эры антибиотиков




К.м.н. С.П. Щелыканова сообщает о роли биоимпедансных измерений в оценке распространенности факторов сердечно-сосудистого риска




О.А. Старунова анализирует эффективность работы российских центров здоровья



Победитель конкурса инновационных разработок профессор А.В. Наумов и его наставник чл.-корр. РАН, Профессор Е.А. Виноградов



Директор КФТИ КазНЦ РАН профессор А.А. Калачев и его коллега по квантовой информатике доцент С.П. Котова



Во время заседания Школы



Диалог мэтров науки



Почетные лектора Школы Р.Ф. Полищук, Д.В. Николаев и В.А. Голенищев-Кутузов в состоянии гармонии



Кофе-брейк – это время для личного общения



В.А. Голенищев-Кутузов, Н.И. Сушенцов и Ю.С. Андрианов во время заседания Школы



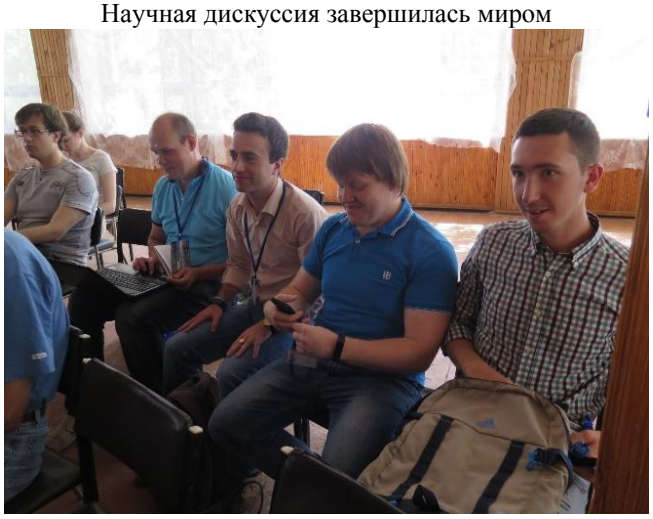
Т.Г. Митрофанова и А.А. Калачев: от них зависит, чьи доклады будут опубликованы в журнале Известия РАН, серия физическая



Научная дискуссия завершилась миром



Надо уметь находить свой счастливый шанс



Вот оно – будущее Казанского физико-технического института



Я победил болезнь, я участвую в работе Школы, я счастлив!




Молодые ученые Казани хорошо вписались в коллектив участников Школы




Профессора, определившие научный уровень Школы



Мужской разговор!



Люди, определившие судьбу Казанского физико-технического института, определяют и будущее Школы «Наука и инновации»



Организаторы Школы профессора А.А. Калачев, В.А. Козлов и И.И. Попов пожинают плоды своего труда



Физик Е.А. Виноградов и биолог-медик В.А. Козлов ведут беседу на своем «птичьем» профессорском языке



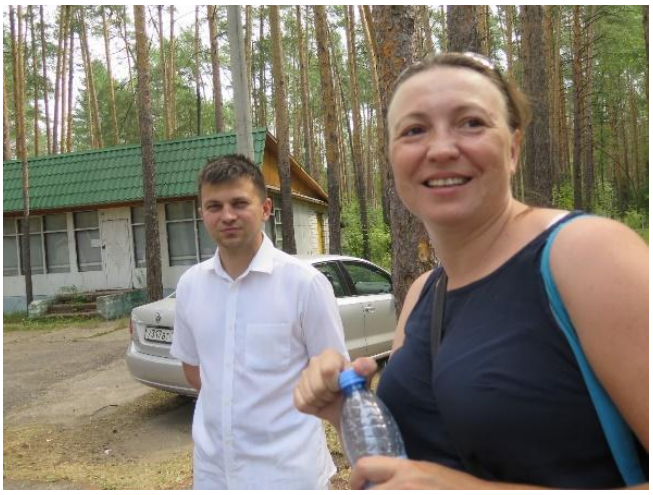
Почетные лекторы Школы профессора В.А. Голенищев-Кутузов и Р.Ф. Полищук уединились для научного общения



Гордость казанской школы физиков профессора В.В. Самарцев и А.И. Фишман счастливы от общения на Школе со своими коллегами




Три поколения ученых: профессор А.Н. Леухин – бывший аспирант И.И. Попова (слева), профессор И.И. Попов – бывший аспирант В.В. Самарцева (справа) и родоначальник этой научной династии профессор В.В. Самарцев



Докторант А.А. Баев и редактор выпуска журнала Изв. РАН, сер.физ. по материалам Школы «Наука и инновации» Т.Г. Митрофанова на пути в зал заседаний



Великие ученые умеют серьезно обсуждать проблемы научного прогресса



Профессор И.С. Осадько умеет доходчиво, как ни кто другой, объяснять научные проблемы физики



Почетный лектор и ученый секретарь Школы всегда найдут общий язык




Профессора Е.А. Виноградов, В.А. Козлов и И.И. Попов едины во своем мнении



Без расставаний было бы встреч:
И.И. Попов и Д.В. Николаев традиционно
в десятый раз радуются встрече на Школе



Председатель локального оргкомитета Е.И. Гладышева
всегда рада своим гостям



Какое счастье побыть в кругу друзей



Профессора И.С. Осадько и А.А. Калачев соревнуются в
научном красноречии перед знатоком научных дискуссий
Т.Г. Митрофановой



Кофе-брейк этот время для близких научных общений



Ведущий кодировщик России профессор
А.Н. Леухин демонстрирует коллегам профессору
А.И. Фишману, и молодым ученым К.Л. Нефедьевой и
А.В. Масленникову как надо находить кратчайший путь к
кофе и печенью



Какая радость - ощущать себя победителем конкурса инновационных разработок среди ученых-фундаментальщиков



Профессора А.И. Фишман и В.А. Голенищев-Кутузов, как никто хорошо знают, что такое Яльчик и чем он богат



Во время заседания Клуба профессорской мысли



Ученый секретарь Школы-семинара «Фундаментальные исследования и инновации: нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия» К.Р. Каримуллин умеет все – шашлыки от него – это просто сказка!



Вот так разгорается дискуссия на Клубе профессорской мысли



Вот оно, долгожданное счастье!



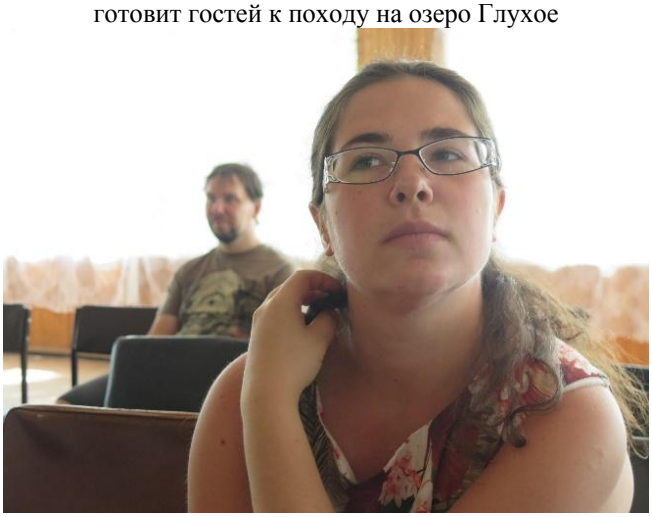
Душа компании на Школеи «Наука и инновации» профессор А.И. Фишман



Председатель локального оргкомитета Школы Е.И. Гладышева готовит гостей к походу на озеро Глухое



Компания «Медасс» на Яльчике как у себя дома



Мимо такой красоты нельзя пройти!



Оказывается красные ягодки на зеленых кустиках растут!



Оттянуться на ягодки – это кайф!



Утомленные ожиданием: Е.И. Гладышева и ее судьбоносный друг А.С. Фофанов



Самый комфортный вид передвижения на озеро Глухое



Я сливаюсь с Природой!



Семейное кушание лесных ягод



Дорога на озеро Глухое



На озере Глухом больше и сложные песчаные спуски



А я могу одолею песчаные спуски озера Глухого!



Знатоки тайны о том, кто разовое купание на озере Глухое дает защиту от болезней на целый год!



Самая юная участница Школы показывает маме дорогу вперед



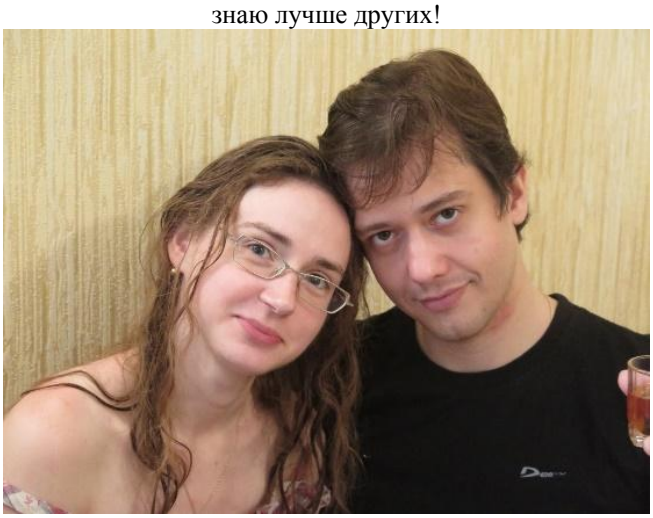
Море после грозы - это прелесть, но нам это море по колен!



Сырые волосики после грозы это к счастью – я то это знаю лучше других!



Для того, чтобы понять – что там в ведре, надо самой попробовать



Какое счастье после грозы оказаться дома!



Фото на память после закрытия Школы «Наука и инновации»

# ПЕРВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

## Наука и инновации
**ISS«SI–2017»**

## Двенадцатая международная научная школа «Наука и инновации — 2017»:

***Золото России — не в рудниках,***
***Золото России — в умах!***



С 3 июля по 9 июля 2017 года в г. Йошкар–Оле на базе Поволжского государственного технологического университета и Марийского института образования проводится Двенадцатая международная научная школа «Наука и инновации – 2017».

### Организаторы Школы
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»
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»
ЧУ «Пансионат Яльчик»

## Йошкар–Ола 2017

**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:*

**XII международный научный семинар «Фундаментальные исследования и инновации»**

**Секция «Инноватика»**
**Секция «Физика резонансных явлений и ее инновационные аспекты»**
**Секция «Физика – материаловедение – технологии – оборудование»**
**Секция «Химия, новые материалы и химические технологии»**
**Секция «Живые системы и биотехнологии»**
**Секция «Скрининговая оценка качества здоровьесберегающей образовательной среды»**
**Секция «Экологические проблемы общества»**
**Секция «Информационные технологии и их инновационный потенциал»**
**Секция «Проблемы гумагитарных технологий»**
**Стендовая секция «Инновационно-ориентированные прикладные научные исследования»**

**Клуб профессорской мысли**

**Всероссийская молодежная научная школа-семинар «Наука и инновации – 2017»**

Научное издание

# МАТЕРИАЛЫ
# ОДИННАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ
# **«НАУКА И ИННОВАЦИИ – 2016»**
# **ISS «SI–2016»**

МАТЕРИАЛЫ
ВОСЬМОГО МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНОГО 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 26.09.2016. Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Тип Таймс.
Усл. печ. л. 33,2. Тираж 300 экз. Заказ № 2442

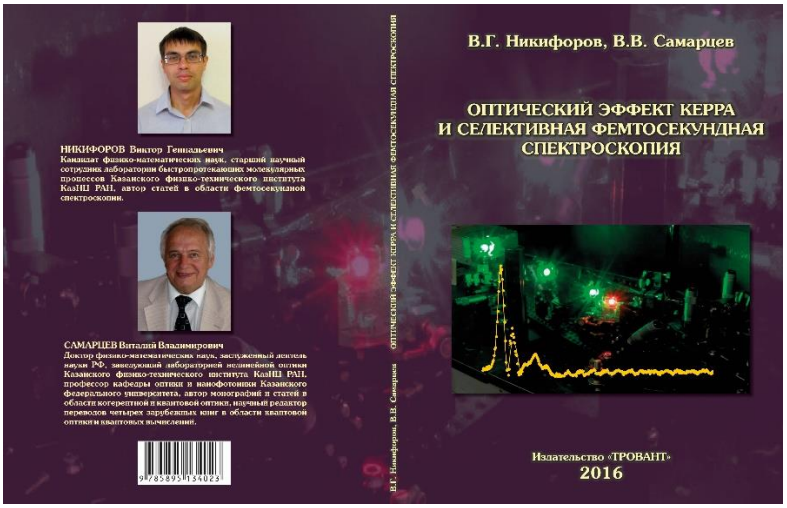
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано в ООО издательско-полиграфическая фирма «СТРИНГ»
424000 Йошкар-Ола, ул. Строителей, 95

ХРОНИКА
НОВАЯ РУССКОЯЗЫЧНАЯ НАУЧНАЯ КНИГА 2016 ГОДА ИЗДАНИЯ
ПО ФЕМТОСЕКУНДНОЙ СЕЛЕКТИВНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
ЖИДКОСТЕЙ И РАСТВОРОВ

Участникам международной научной Школы «Наука и инновация – 2016» сообщаем, что вышла в свет новая научная книга

В.Г. Никифоров и В.В. Самарцев
«Оптический эффект Керра и фемтосекундная селективная спектроскопия»,
М.: Тровант (2016).




Появление данной книги связано с тем, что множество жизненно важных для человека процессов происходит в жидкости, а сами процессы протекают на фемто- и пикосекундных временах. Предложенная читателю фемтосекундная селективная спектроскопия жидкостей и растворов является нерезонансной, когда воздействие электромагнитного поля фемтосекундных лазерных импульсов приводит к колебательным и вращательным движениям молекул, а детектирование их особенностей осуществляется методом сверхбыстрого оптического эффекта Керра (ОЭК) – квадратичного электрооптического эффекта, связанного с возникновением двойного лучепреломления в оптически изотропных веществах. В большинстве экспериментах, описанных в этой книге, используется двухимпульсная накачка, в которой варьируемыми параметрами являются задержка между импульсами, их относительные интенсивности и угол между линейными пояризациями импульсов. Такая накачка создает нестационарную анизотропию среды, которая изменяет поляризацию пробного импульса. На рисунке приведена схема двухимпульсного фемтосекундного возбуждения и последующей регистрации сигнала с информацией о молеулярном движении с помощью сверхбыстрого ОЭК. Поляризационная сверхбыстрая спектроскопия позволяет исследовать не только фемтосекундную динамику молекул жидкостей и растворов, но и является одним из процессов многоволнового смешения, описываемых нелинейной поляризацией среды по действующим полям.
В восьми главах книги описаны в значительной степени не только результаты авторов книги, но и их предшественников (например, [1-3]).

Литература:
1. Mukamel S. Principles of Nonlinear Optical Spectroscopy. New York: Oxford University Press, 1995, p.543.
2. McMorrow D. Separation of nuclear and electronic contribution to femtosecond four-wave mixing date. Opt. Comm., 1991, v.86, p.236-244.
3. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкости. М.: Издательство академии наук СССР, 1945, с.422.

