Министерство образования и науки Российской Федерации
Российская Академия Естественных Наук
ГОУ ВПО «Марийский государственный университет»
ГОУ ВПО «Марийский государственный педагогический институт имени Н.К. Крупской»
ГОУ ВПО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»
Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере
Фонд «Международный инкубатор технологий» (г. Москва)
Автономная некоммерческая организация «Военно-спортивный фонд» (г. Москва)
Программный комитет XI Всероссийской школы-семинара «Волны-2007»
Программный комитет X Международных чтений по квантовой оптике *IWQO'2007*
Малое предприятие ОРОЛ

МАТЕРИАЛЫ

ВТОРОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ «НАУКА И ИННОВАЦИИ – 2007»

ISS «SI-2007»

5-11 ИЮЛЯ 2007 г

Йошкар-Ола 2007

Научно-исследовательская лаборатория Резонансной информатики и эхо-спектроскопии – организатор международной научной школы «Наука и инновации» (штатные сотрудники и исполнители НИР, выполняемых в лаборатории) в день 25-ти летнего юбилея лаборатории:

в первом ряду: студенты Свечников В.Н. и Свечников А.К.;

во втором ряду: д.м.н., профессор Азин А.Л., с.н.с. Чемоданов С.Б. (ответственный исполнитель НИР, выполнявшейся по Решению ВПК СССР), д.ф.-м.н., профессор Попов И.И. (научный руководитель лаборатории), д.б.н., профессор Абрамов Н.В., с.н.с. Окишев В.А., д.т.н., профессор Буев А.Р.;

в третьем ряду: аспирант (победитель программы У.М.Н.И.К.) Нигматуллина В.Т., студентка Балдина Т.Л., аспирантка Рыбакова О.Е., инженеры Рыбакова А.Е. и Попова Н.И.;

в четвертом ряду: с.н.с. Шарапов Э.М., д.ф.-м.н., профессор Кокурин М.Ю., к.б.н., профессор Зелди И.П., д.б.н., профессор Глотов Н.В., д.б.н., профессор Самарцев В.Н., к.п.н., профессор Гильмутдинов Т.С., к.т.н., с.н.с. Гладышев А.М.

По уважительным причинам при фотографировании отсутствовали:

д.ф.-м.н., профессор Самарцев В.В. (научный консультант лаборатории), д.б.н., к.м.н., профессор Козлов В.А., д.ф.-м.н., профессор Леухин А.Н. (первый аспирант), д.с-х.н, профессор Марьин Г.С., к.ф.-м.н., с.н.с. Бикбов И.С., ст. инженер Чулков В.А., начальник сектора ИВЦ Попова Г.Л., к.т.н., доцент Иванов В.К., вед. спец. Козлов А.Ф., ст. преп. Карпов В.Ж., к.т.н., нач. сектора ИЯИ РАН Шатохин В.П., аспиранты: Попенов А.Н., Газизов К.Ш., Пузеев Д.В., Камышева Л.И. (победительница программы У.М.Н.И.К.), Гладышева Е.И., инженер Отмахов Г.Ф., инженер Корнилова Л.Г., менеджер Вафин Р.Н.

Сборник "Наука и инновации - 2007" доступен для скачивания по адресу:
http://www.marsu.ru/innovacii/index.shtml

Министерство образования и науки Российской Федерации
Российская Академия Естественных Наук
ГОУ ВПО «Марийский государственный университет»
ГОУ ВПО «Марийский государственный педагогический институт имени Н.К. Крупской»
ГОУ ВПО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»
Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере
Фонд «Международный инкубатор технологий» (г. Москва)
Автономная некоммерческая организация «Военно-спортивный фонд» (г. Москва)
Программный комитет XI Всероссийской школы-семинара «Волны-2007»
Программный комитет X Международных чтений по квантовой оптике *IWQO'2007*
Малое предприятие ОРОЛ

МАТЕРИАЛЫ ВТОРОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

«НАУКА И ИННОВАЦИИ – 2007»
ISS «SI-2007»

5-11 ИЮЛЯ 2007 г

Йошкар-Ола 2007

УДК 001.895:(53+57+316+61)
ББК Ч21к94+В3+Е0+С+Р
М341

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ ISS «SI-2007»
И. И. Попов (Россия, Йошкар-Ола) – председатель
А.П. Сухоруков (Россия, Москва) – сопредседатель
В.В. Самарцев (Россия, Казань) – сопредседатель
В.Г. Зинов (Россия, Москва) – сопредседатель
В.А. Козлов (Россия, Чебоксары) – ученый секретарь
А.Л. Азин (Россия, Йошкар-Ола)
В.Н. Гаврилов (Россия, Москва)
Т.С. Гильмутдинов (Россия, Йошкар-Ола)
Ю.Б. Грунин (Россия, Йошкар-Ола)
Н. Жезен (Швейцария, Женева)
И.П. Зелди (Россия, Йошкар-Ола)
В.К. Канюка (Россия, Москва)
А.Н. Кудрявцев (Россия, Москва)
В.С. Кузьмин (Республика Беларусь, Минск)
С.А. Моисеев (Россия, Казань)
Д.В. Николаев (Россия, Москва)
Д.И. Трубецков (Россия, Саратов)
Э.М. Шарапов (Россия, Йошкар-Ола)
В.Г. Яшин (Россия, Москва)

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ ISS «SI-2007»
В.И. Макаров (Россия, Йошкар-Ола) – председатель
В.Н. Гаврилов (Россия, Москва) – сопредседатель
И. И. Попов (Россия, Йошкар-Ола) – сопредседатель
В.А. Козлов (Россия, Чебоксары) – ученый секретарь
Л.Н. Еремеева (Россия, Йошкар-Ола)
И.П. Зелди (Россия, Йошкар-Ола)
Л.А. Краснов (Россия, Йошкар-Ола)
В.Т. Нигматуллина (Россия, Йошкар-Ола)
Г.А. Ситников (Россия, Йошкар-Ола)
С.В. Стариков (Россия, Йошкар-Ола)
Э.М. Шарапов (Россия, Йошкар-Ола)

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:
д-р физ.-мат. наук **И.И. Попов** (председатель редакционного совета)
д-р биол.наук, канд. мед. наук **В.А. Козлов** (зам. председателя редакционного совета)
д-р физ.-мат. наук **А.П. Сухоруков**, д-р физ.-мат. наук **В.В. Самарцев**,
д-р эконом. наук **В.Г. Зинов,** канд. техн. наук **В.Г. Яшин**

М341 Материалы Второй международной научной школы «Наука и инновации – 2007» ISS «SI-2007» / Под ред. И.И. Попова, В.А. Козлова, А.П. Сухорукова, В.В. Самарцева, В.Г. Зинова, В.Г. Яшина. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2007. – 182 с.

ISBN 978-5-94808-352-0

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.».

УДК 001.895:(53+57+316+61)
ББК Ч21к94+В3+Е0+С+Р

ISBN 978-5-94808-352-0 © Марийский государственный университет, 2007.

СОДЕРЖАНИЕ

I. ЛЕКТОРИЙ «НАУЧНОЕ МИРОВОЗЗРЕНИЕ ДЛЯ ИННОВАЦИЙ»

Попов И.И.
Вторая международная научная школа «Наука и инновации 2007»: содержание и перспективы 5

«ИННОВАТИКА»

Зинов В.Г., Яшин В.Г.
Как учить инновационных менеджеров 8
Попов И.И., Гладышева Е.И., Рыбакова О.Е.
Возможные формы ведения и пути развития инновационной деятельности в вузе 20

«ФИЗИКА РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ЕЕ ИННОВАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ»

Сухоруков А.П.
Фотоника и инновации 29
Самарцев В.В., Калачев А.А.
Мультипольное кластерное сверхизлучение и возможность его реализации в оптике – на нанообъектах и в гамма-диапазоне – на ядрах 33
Самарцев В.В.
Фемтосекундное фотонное эхо, перспективы создания фемтосекундных высокотемпературных эхо-процессоров и возможный рынок их пользователей 39
Moiseev S.A., Arslanov N.M.
Selective multi-modes quantum memory based on the photon echo 50
Газизов К.Ш., Попов И.И., Нигматуллина В.Т., Попова Г.Л.
Амплитудно-временные и поляризационные свойства фотонного эха и их практическая значимость 58
Нигматуллина В.Т., Попов И.И., Попова Г.Л.
Вычислительные режимы работы гиперкомплексного оптического эхо-процессора и контроль в нем давления резонансного газа 68

«ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ИННОВАЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ»

Азин А.Л., Шебашева Е.В.
Радиотермометрический подход к исследованию уровня гидратации ткани головного мозга 77
Васильев А.В., Хрущева Ю.В., Николаев Д.В., Чедия Е.С., Пушкин С.В., Руднев С.Г., Гаврик М.В.
Преимущества метода одночастотного биоимпедансного при анализе состава тела.. 82
Камышева Л.И., Зелди И.П.
Молекулярные механизмы компенсаторной роли 2, 3-бифосфоглицерата при гипоксии головного мозга..... 92
Козлов В.А., Матьков К.Г., Лыщиков А.Н.
Инновационная привлекательность синтеза гидантоиновых производных из мочевины и α-кетоглутарата 98

Николаев Д.В., Руднев С.Г., Мартиросов Э.Г., Суйкова Т.А.
Исследование величины фазового угла как метод увеличения эффективности биоимпедансного анализа состава тела 104
Руднев С.Г., Казакова О.А., Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В.
Возрастная динамика фазового угла как индикатор функционального состояния организма (по данным одночастотного биоимпедансного анализа) 113
Смирнов А.В., Николаев Д.В.
Базовые основы биоимпедансной спектрометрии 117
Гильмутдинов Т.С.
Физиологическая характеристика видов полиатлона, как фактор формирования морфофункциональной структуры многоборца и построения тренировочного процесса 125

II. КЛУБ ПРОФЕССОРСКОЙ МЫСЛИ

Попов И.И., Козлов В.А., Нигматуллина В.Т., Гладышев А.М.
Диэлектрическое эхо и модель его формирования в 0,84% растворе NaCI 129
Шарапов Э.М., Козлов В.А., Попов И.И., Апаева Н.Н., Свечников А.К., Балдина Т.Л.
Возможные пути решения проблемы энзимомикозного истощения зерновых 134
Попов И.И., Козлов В.А., Гильмутдинов Т.С., Гаврилов В.Н., Уваров В.А.
Актуальность формирования оздоровительной индустрии и пути ее практической реализации 138

III. ДОКЛАДЫ ПО ПРОГРАММЕ "У.М.Н.И.К"
«Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере»

Белогусев В.Н., Егоров А.В.
Системы распределенного впрыска перегретого спиртового топлива 143
Каримуллин К.Р.
Система дистанционной диагностики на основе некогерентного фотонного эха 147
Корнилова Л.Г., Леухин А.Н.
Разработка алгоритма и создание программного продукта для выделения границ онкологических новообразований на основе обработки теплографических изображений 151
Москаленко О.И., Короновский А.А., Попов П.В., Храмова А.Е.
Метод скрытой передачи информации, обладающий устойчивостью к шумам 154
Нигматуллина В.Т., Попов И.И., Козлов В.А.
Диэлектрическое эхо как метод ранней диагностики онкологических заболеваний человека 158
Сергеев В.Н., Егоров А.В.
Гибридная энергетическая установка транспортного средства 159

ПОЗДРАВЛЯЕМ НИЛ РИЭС С 25-ЛЕТНИМ ЮБИЛЕЕМ 163

ТРЕТЬЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА
«НАУКА И ИННОВАЦИИ – 2008» (Первое информационное сообщение) 181

I. ЛЕКТОРИЙ «НАУЧНОЕ МИРОВОЗЗРЕНИЕ ДЛЯ ИННОВАЦИЙ»

ВТОРАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА «НАУКА И ИННОВАЦИИ 2007»: СОДЕРЖАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

И.И. Попов
Председатель программного и организационного комитетов д.ф.-м.н., профессор
ГОУ ВПО «Марийский государственный университет»,
(424001, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1)
E-Mail: popov@marsu.ru

Вторая международная научная школа «Наука и инновации 2007» является научным мероприятием, включающим три вида заседаний: лекторий «Научное мировоззрение для инноваций, межвузовский междисциплинарный инновационно-ориентированный научный семинар «Клуб профессорской мысли» (далее, Клуб профессорской мысли), заседание жюри по отбору победителей программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (далее, программа «У.М.Н.И.К.»). В рамках лектория «Научное мировоззрение для инноваций, работало три семинара: инноватика, физика резонансных явлений и ее инновационные аспекты, живые системы и их инновационная привлекательность. Заседания второго и третьего семинаров проводились в двух секциях, посвященным, соответственно, фундаментальным и прикладным научным исследованиям. Мероприятие проходило в контексте обсуждения заслушиваемых инновационно-ориентированных научных заделов в области физики, биологии, медицины, оздоровительной индустрии и инноватики. На этих заседаниях решались задачи:

- обсуждение и признание новых научных результатов;
- выявление новых научных знаний, востребованных сферой жизнеобеспечения;
- формирование моды на научные исследования в области знаний, перспективных с точки зрения востребованности потребительским рынком;
- постановки задач на проведение НИР, результаты которых формируют новые рыночные ниши, научно-методические подходы и оригинальные практические решения, необходимые для инновационной деятельности;
- инновационного образования ученых, специализирующихся в различных областях науки.

Клуб профессорской мысли представляет собой комплекс заседаний профессоров-экспертов в различных областях знаний и техники, ассистентов докладчиков (участников создания предлагаемого инновационного продукта) и приглашенных специалистов по теме докладываемого материала. На заседании Клуба профессорской мысли происходило заслушивание сообщения докладчиков (авторов идеи прикладного использования результатов НИР), претендующих на «чемпионскую» коммерциализуемую идею. На заседаниях заслушивались также перспективные сообщения молодых ученых. В процессе этих заседаний решались задачи:

- технологический аудит инновационно-развивающейся науки с целью генерации новых «чемпионских» коммерциализуемых идей;
- выявление возможных рыночных ниш и методов, необходимых для развития имеющегося научного задела и его будущей коммерциализации;
- выработка рекомендации по участию авторов в том или ином конкурсе финансируемых научных или инновационных проектов;

- целенаправленная мобилизация потенциала молодых ученых, работающих над получением научно-инновационных грантов и их выполнением.

На заседаниях жюри Школы как научного мероприятия, аккредитованного за номером 267 Фондом (федеральным) содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «У.М.Н.И.К.» (http://www.fasie.ru/index.php?rid=120) отбирались авторы научных идей, имеющих обоснованную перспективу ее применения для коммерциализации и продвижения на потребительский рынок. Заслушано 8 докладов, наиболее соответствующих критериям программы «У.М.Н.И.К.», отобранных из числа более чем 100 сообщений молодых ученых, сделанных на научных конференциях, проводимых на базе университетов и институтов, организаторов данной Школы. Победителями признаны четыре претендента, сделавшие сообщения по следующим темам:

- Разработка диагностического комплекса для оценки полноты кровеобеспечения головного мозга и контроля фармакологической коррекции процесса – Л.И. Камышева (г. Йошкар-Ола, МарГУ);
- Система дистанционной диагностики на основе некогерентного фотонного эха – К.Р. Каримуллин (г. Казань, Казанский физико-технический институт КНЦ РАН);
- Разработка метода скрытой передачи информации, обладающего устойчивостью к шумам – О.И. Москаленко (г. Саратов, Саратовский государственный университет);
- Диэлектрическое эхо как метод ранней диагностики онкологических заболеваний человека – В.Т. Нигматуллина (г. Йошкар-Ола, МарГУ).

С авторами этих сообщений Фонд (федеральный) содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере через малое предприятие ООО «Орол» (уполномоченное МарГУ) заключил государственный контракт № 5346 р/7763 от « 16 » августа 2007 на общую сумму 800 тыс. руб. сроком на 1 год с правом пролонгации исследований на 2 год с тем же объемом финансирования.

Концептуальной установкой Школы является гармонизация личности и общества при конкурентоспособной экономике. При этом результаты экономического развития должны достигаться через творческую активность общества с результатами, вводимыми в экономический оборот учеными. Главным направление работы Школы является социальная направленность разрабатываемых и реализуемых инновационных проектов, связанных с созданием оздоровительной индустрии населения.

Стратегическая цель Школы – поиск новых «чемпионских» коммерциализуемых научных идей, определение путей создания средств и выбор форм коммерциализации этих идей.

Основные задачи Школы:

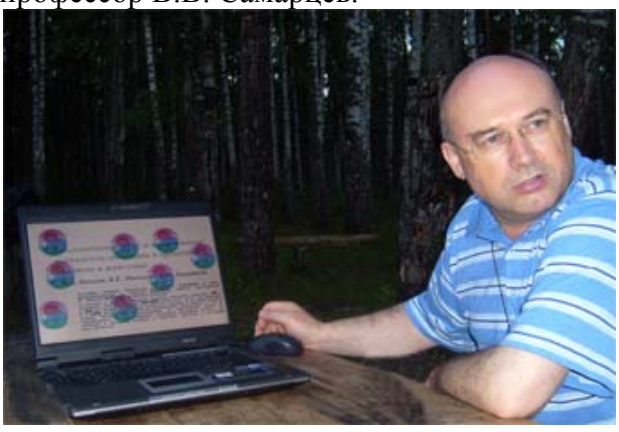
- формирование научного мировоззрения, приводящего к научным открытиям, создающего моду на научные исследования в различных областях знаний, приводящие к коммерциализуемым результатам;
- генерация новых «чемпионских» коммерциализуемых научных идей на основе получаемых открытий;
- создание и развитие инновационных продуктов, новых технологий и технологического оборудования для его производства при реализации «чемпионских» коммерциализуемых научных идей;
- поиск новых форм коммерциализации новых знаний на ранних этапах инновационного процесса;
- поиск оригинальных форм повышения качества подготовки кадров для инновационной деятельности в российских условиях;

- формирование научных заделов для привлечения инвестиций под реализацию инновационных проектов, связанных с созданием высокотехнологичных производств на базе «чемпионских» коммерциализуемых научных идей;
- привлечение научных разработок отечественных и зарубежных ученых и финансовых средств частного и государственного капитала в российский инновационно-технологический бизнес;
- отбор молодых ученых, ставших победителями по программе «У.М.Н.И.К.».

Перспективы развития школы связаны с дальнейшей систематизацией ее деятельности. Что будет выражаться в зарождении фундаментальных социально-направленных и инновационно-ориентированных научных идей (поддерживаемых деятельностью РФФИ, РГНФ и Фонда «Дельфис»). Значительное внимание в деятельности Школы должно быть уделено многоуровневой системе подготовки инновационных кадров, направляемой ФИТБ Академии народного хозяйства при Правительстве РФ. Проводимые школы будут решать задачи подготовки кадров для инновационной деятельности от менеджеров, через инновационно мыслящих отраслевых специалистов до рабочих высокотехнологичных производств.

Во время проведения семинара

Слева направо: председатель программного и организационного комитета школы, д.ф.-м.н. профессор И.И. Попов, сопредседатели д.ф.-м.н., академик РАЕН, Почетный профессор МГУ им. М.В. Ломоносова А.П. Сухоруков, д.ф.-м.н., академик РАЕН, профессор В.В. Самарцев.



Вечернее заседание на озере Мушан Ер, докладчик, д.б.н., к.м.н., профессор В.А. Козлов

Заслушивание сообщения, академики РАЕН: Ю.Б. Грунин, В.В. Самарцев, А.П. Сухоруков

«ИННОВАТИКА»

КАК УЧИТЬ ИННОВАЦИОННЫХ МЕНЕДЖЕРОВ

В.Г. Зинов[1], В.Г. Яшин[2]

[1]Факультет инновационно-технологического бизнеса Академии народного хозяйства при Правительстве РФ, г. Москва
[2]НИАЦ-кадры, Москва

Значительные средства, выделяемые из государственного бюджета на науку, пока не дают соответствующих экономических результатов. Уровень выполняемых российскими учеными научных исследований признан в мире, но доход в бюджет, в основном, приносит продажа извлекаемых природных ресурсов.

Анализ практики коммерциализации научных разработок показывает, что основная причина их неэффективного использования в отсутствии профессионального менеджмента, в недостаточном кадровом обеспечении всех звеньев управления инновационной деятельностью. Это относится в равной степени, как к промышленным предприятиям, так и к научно-техническим и инфраструктурным организациям.

Перевод экономики страны на инновационный путь развития, всемерное расширение инновационной деятельности рассматривается Правительством РФ как приоритетное и стратегическое направление внутренней политики.

Президент РФ В.В. Путин в последнее время неоднократно говорил о кровной необходимости перевода Российской экономики на инновационный путь развития:

«Мы уже приступили к осуществлению конкретных шагов по изменению структуры нашей экономики, об этом ранее много говорили, приданию ей инновационного качества…. В условиях жесткой международной конкуренции экономическое развитие страны должно определяться главным образом ее научными и технологическими преимуществами…. И, не нарушая достигнутой финансовой устойчивости, нам надо сделать серьезный шаг к стимулированию роста инвестиций в производственную инфраструктуру и в развитие инноваций….».

Перевод экономики на инновационный путь развития должны осуществить люди – специально обученные руководители и менеджеры, способные заниматься инновационной деятельностью.

Факультет инновационно-технологического бизнеса Академии народного хозяйства при Правительстве РФ уже 12 лет занимается подготовкой руководителей и менеджеров для инновационного бизнеса.

При составлении региональных программ инновационного развития очень важно определить, сколько необходимо подготовить инновационных менеджеров и чему учить различные категории руководителей и специалистов. А это, в свою очередь, зависит от восприимчивости экономики региона, от уровня инновационного развития региона, от региональных потребностей в кадрах для инновационной деятельности. Очевидно, что и программы обучения для регионов с различным уровнем инновационного развития будут отличаться. Для одного региона с низким уровнем инновационного развития это должны быть ознакомительные программы, в которых изучаются основы ведения инновационного бизнеса. Программы, которые кроме обучающего эффекта должны мотивировать предпринимателей заниматься инновационным бизнесом. Для региона с высоким уровнем инновационного развития, в котором политиками, экономистами и предпринимателями в условиях жесткой конкуренции уже осознана необхо-

димость повседневной инновационной деятельности, необходимы проектно-ориентированные учебные программы, развивающие компетенции инновационного руководителя и менеджера. Программы, которые помогут решить актуальную задачу инновационного развития бизнеса слушателя или помогут в реализации конкретного инновационного проекта, реализуемого слушателем или его организацией.

Таким образом, если подходить к проблеме подготовки кадров для инновационной деятельности со всей тщательностью, то перед формированием региональных программ подготовки инновационных управленцев необходимо провести специальное исследование, в котором на кабинетном этапе оценить уровень инновационного развития по данным органов статистики, затем оценить потребности региона в кадрах с помощью кабинетного и полевого исследования. И, наконец, с помощью полевого исследования, уточнить уровень инновационного развития региона, уточнить потребности в кадрах для инновационной деятельности, определить состав, содержание, продолжительность и план реализации программ дополнительного профессионального обучения инновационных предпринимателей.

В настоящее время оценивание уровня инновационного развития регионов осуществляется по собираемым органами государственной статистики данным. Некоторые из статистических данных, предоставляемых органами государственной статистики не всегда достоверны. К таким показателям можно отнести, например, данные по затратам предприятий на инновации, которые собирает федеральная служба государственной статистики. Эти данные, на первый взгляд, являются индикатором инновационного развития региона, но ввиду того, что предприятия, по оценке некоторых экспертов, в одном случае, не всегда могут правильно оценить затраты на инновации или, в другом случае, не стремятся предоставить достоверные данные по этому вопросу, этот показатель не может быть использован. Ни один показатель, в чистом виде, из собираемых в настоящее органами статистики, ни может быть применен для оценки инновационного развития региона. Одни ввиду их взаимозависимости, другие – ввиду либо их недостаточной адекватности целевым установкам, либо недостаточности для комплексной оценки. Таким образом, необходимы комплексные модели, учитывающие (с разных точек зрения) соответствующие показатели статистики, их взаимную корреляцию, а также результаты социологических полевых исследований, выявляющих глубинные процессы, происходящие в экономике региона.

В настоящее время Факультет инновационно-технологического бизнеса Академии народного хозяйства при Правительстве РФ при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований проводит исследование «Методическое и модельно-алгоритмическое обеспечение оценки уровня инновационного развития и инновационного потенциала регионов РФ».

В рамках этого исследования будут получены следующие научные результаты:

1. Методика сбора и оценки информации, необходимой для оценивания уровня инновационного развития. 2. Методы классификации информации о показателях инновационного развития региона РФ, установление их взаимной зависимости, учета взаимозависимостей показателей. 3. Модели определения начальных значений показателей оценки уровня инновационного развития региона РФ. 4. Алгоритмы расчета начальных значений показателей оценки уровня инновационного развития региона РФ. 5.Модели уточнения начальных значений показателя оценки уровня инновационного развития региона РФ с использованием специально заказанных в органах статистики показателей и с помощью полевых исследований в регионах. 6. Модели постоянного уточнения показателей уровня инновационного развития по результатам вновь получаемых данных из органов статистики и по результатам вновь проводимых исследований. 7. Обобщенный адаптивный по отношению к конкретному региону алгоритм оценки

уровня инновационного развития региона РФ. 8. Модели определения уровня инновационного развития муниципальных образований и крупных предприятий. 9. Проведение полевых исследований с целью уточнения показателей и проверки достоверности разработанных моделей. 10. Оценка соответствия разработанных моделей реальности.

Разрабатываемая методология позволит:

органам государственной власти федерального и регионального уровней в оперативном режиме контролировать изменения в структуре экономики регионов для принятия решений об управляющих воздействиях на различные системы поддержки инновационной деятельности и реагировать на потребности инновационно ориентированных хозяйствующих субъектов;

хозяйствующим субъектам принимать решение об инвестициях в инновационный сектор регионов;

на базе, получаемой с помощью разработанных методик информации о потребностях инновационного сектора экономики региона (муниципального образования) субъектам образовательной деятельности – принимать решение об объеме рынка образовательных услуг в сфере инновационной деятельности.

В рамках проведенных ранее исследований был получен алгоритм построения рейтинга инновационного развития регионов РФ.

При составлении рейтинга проведён анализ показателей инновационного развития субъектов РФ, выполненный в следующей последовательности:

1) Выбор показателей инновационного развития субъектов РФ (17 показателей). Это такие показатели, как: количество патентов в субъекте РФ, количество организаций, выполняющих исследования и разработки в субъекте РФ и др.

2) Определение абсолютных значений данных показателей по каждому из субъектов.

3) Расчет относительных показателей инновационного развития субъектов (относительно численности населения, относительно числа действующих предприятий и т.д.).

4) Выявление корреляции между различными рядами относительных показателей путем расчета коэффициентов корреляции. Расчет агрегированных коэффициентов корреляции для каждого из показателей, по которому обнаружена систематическая и обусловленная связь с любым другим показателем (или несколькими показателями).

5) Определение максимальных значений относительных показателей инновационного развития по каждому из показателей. Принятие данных максимальных значений за базисные значения по соответствующим показателям (17 базисных показателей).

6) Пересчет относительных показателей в индексные показатели инновационного развития путем деления значений относительных показателей на соответствующие базисные значения.

7) Ранжирование индексных показателей инновационного развития с учетом их релевантности, актуальности и предполагаемой достоверности (присвоение ранга каждому из 17 показателей: значения рангов находятся в диапазоне от 1 до 10, чем выше ранг, тем больше данный показатель влияет на агрегированный показатель).

8) Коррекция рангов показателей инновационного развития, вызванная наличием корреляции между значениями некоторых относительных показателей. Коррекция рангов произведена путем перемножения рангов показателей на соответствующие агрегированные коэффициенты корреляции.

9) Расчет значимости (веса) каждого из 17 показателей инновационного развития (путем деления ранга соответствующего показателя на сумму рангов всех показателей). Сумма весов всех показателей равна единице.

10) Значения агрегированных удельных[1] показателей инновационного развития субъектов рассчитаны путем суммирования произведений индексных показателей (п.6) на значения скорректированных весов показателей (п. 9) по каждому региону.

11) Формирование рейтинга удельного инновационного развития регионов было проведено путем сортировки субъектов РФ по убыванию значений агрегированных удельных показателей инновационного развития.

Ранее были проведены полевые исследования в Санкт-Петербурге, Пензенской и Кемеровской областях.

На базе полученных данных из трех регионов, а также данных, предоставленных органами государственного управления Томской области, был построен рейтинг удельного инновационного развития регионов РФ. Определены количественные показатели и структура потребности в специалистах для инновационной деятельности указанных регионов, а также построены аппроксимационные модели определения потребностей для всех регионов РФ.

При построении моделей использовано допущение, что потребность в специалистах (выраженная в относительных единицах) линейно зависит от агрегированного показателя уровня инновационного развития региона. Функция потребности в специалистах выражена в относительных единицах – в количестве специалистов на душу регионального населения (чел./душу населения). Рассмотрен также вариант выражения функции потребности в относительных единицах – количестве специалистов, приходящихся на организацию. В этом случае возникает проблема – не существует точных данных по количеству **реально** действующих организаций ни в одном из регионов. Статистические данные в очень сильной степени искажают те компании, которые принято называть фирмами – «однодневками». По оценкам специалистов, в т.ч. и государственных чиновников, доля таких организаций в общем количестве организаций в регионе широко варьируется в зависимости от рассматриваемого региона и в некоторых из них может достигать 50%. В таких условиях выражать потребность в специалистах в количестве человек на организацию не очень корректно[2].Данные по численности населения более достоверны, чем по численности организаций в регионах, поэтому единица измерения функции спроса – количество специалистов на душу регионального населения. Зная потребность в специалистах, например, в г. Санкт-Петербург (минимальную, среднюю и максимальные оценки) и Пензенской области и их показатели инновационного развития, можно построить модели зависимости потребности в специалистах от агрегированного удельного показателя уровня инновационного развития региона.

Были построены модели – отдельно на основе данных по Санкт-Петербургу и отдельно на основе данных по Пензенской области, отдельно по Кемеровской. Во всех случаях использовалось допущение, что при равенстве агрегированного показателя уровня инновационного развития региона нулю спрос на специалистов также равен нулю.

На диаграмме 1 приведена линейная модель спроса, построенная на основании результатов исследования спроса в Санкт-Петербурге.

Поскольку существует три оценки потребности в специалистах – минимальная, средняя и максимальная, то и моделей тоже три.

---

[1] Относительно количества населения.

[2] В пример можно привести данные по количеству предприятий в г. Санкт-Петербурге, взятые из различных источников. По данным государственной статистики, в 2004 г. в Санкт-Петербурге насчитывалось около 295 тыс. организаций, по данным справочника «Весь Петербург», использованным при проведении исследования – 47 тыс. организаций, по данным справочника «Желтые Страницы Санкт-Петербург» – около 100 тыс. организаций. По нашему мнению, наиболее приближенными к действительности являются данные государственной статистики, умноженные на коэффициент 0,5, поскольку по оценкам петербургских налоговиков, только 50% зарегистрированных организаций реально существуют и сдают отчеты.

Можно заметить, что при использовании для построения модели результатов исследования в Пензенской области потребность, соответствующая какому-либо определенному значению агрегированного показателя инновационного развития региона, будет близка к потребности, рассчитанной для того же значения агрегированного показателя, но по «максимальной» Санкт-Петербургской модели (кривые этих моделей практически совпадают).

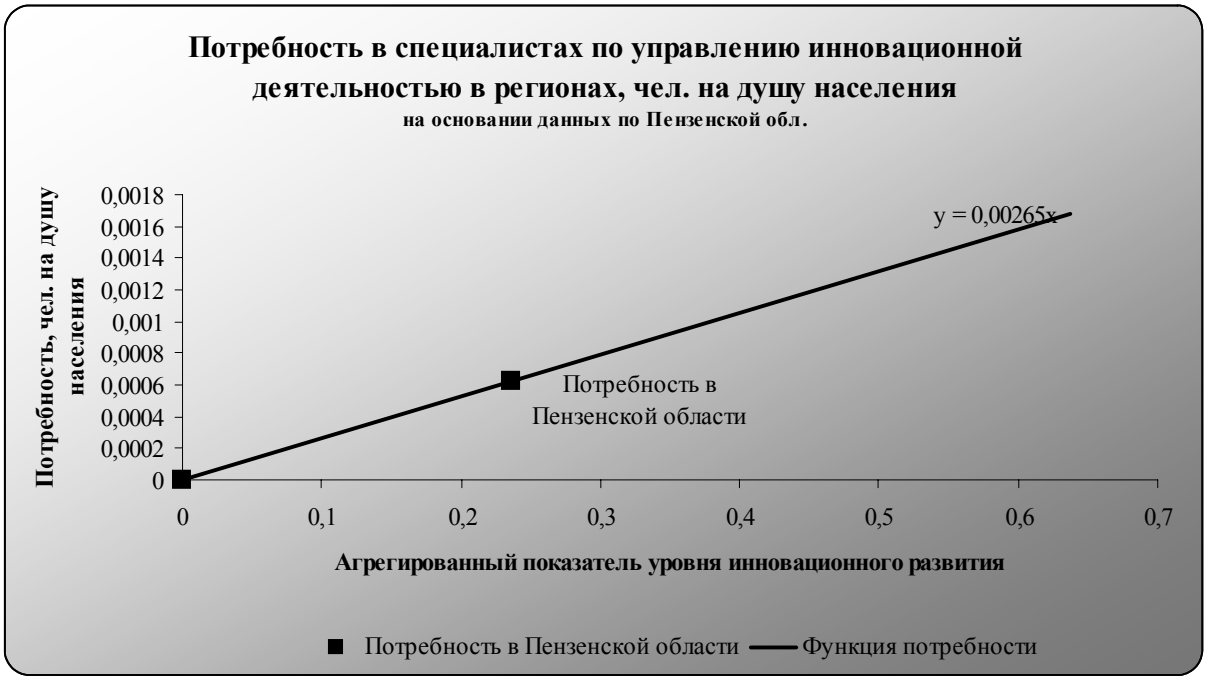
Таким образом, можно определить потребность в других регионах РФ. Для этого достаточно по агрегированному показателю уровня инновационного развития (рассчитанному по данным органов статистики) сначала определить к какой модели ближе находится данный регион, а, затем, по этому же показателю, определить потребность на душу населения. И, наконец, умножить потребность на душу населения на число жителей региона.

Такую же процедуру можно осуществить по средним показателям (осредненным по трем регионам). Модель, основанная на данных как исследования по Санкт-Петербургу («средняя» Санкт-Петербургская модель), так и по Пензенской области, приведена на диаграмме 4. Данная модель представляется нам наиболее близкой к действительности (это же подтверждает величина достоверности аппроксимации этой модели $R^2 = 0{,}954$, т.е. R^2 стремится к 1). В соответствии с этими моделями, например, была рассчитана (аппроксимация в соответствии с линейными моделями) потребность в республике Мари-Эл (табл. 1). В таблице кроме данных по республике приведены также регионы, в которых проведены или проводятся в данное время исследования. Проведя аппроксимацию по разным базовым регионам, в которых уже проведено исследование ранее, можно подсчитать, что в республике Мари-Эл необходимо подготовить от 174 до 452 менеджеров инновационной деятельности или, при средней оценке, графическая модель которой приведена на диаграмме 3, потребность составляет 373 человека.

Диаграмма 1 – «Санкт-Петербургская» модель (графическая)

Модель, основанная на данных исследования по Пензенской области, приведена на диаграмме 2.

Диаграмма 2 – «Пензенская» модель (графическая)



Если же все модели свести на одну диаграмму для наглядности, то мы получим результат, приведенный на диаграмме 3.

Диаграмма 3 – Обобщенная модель

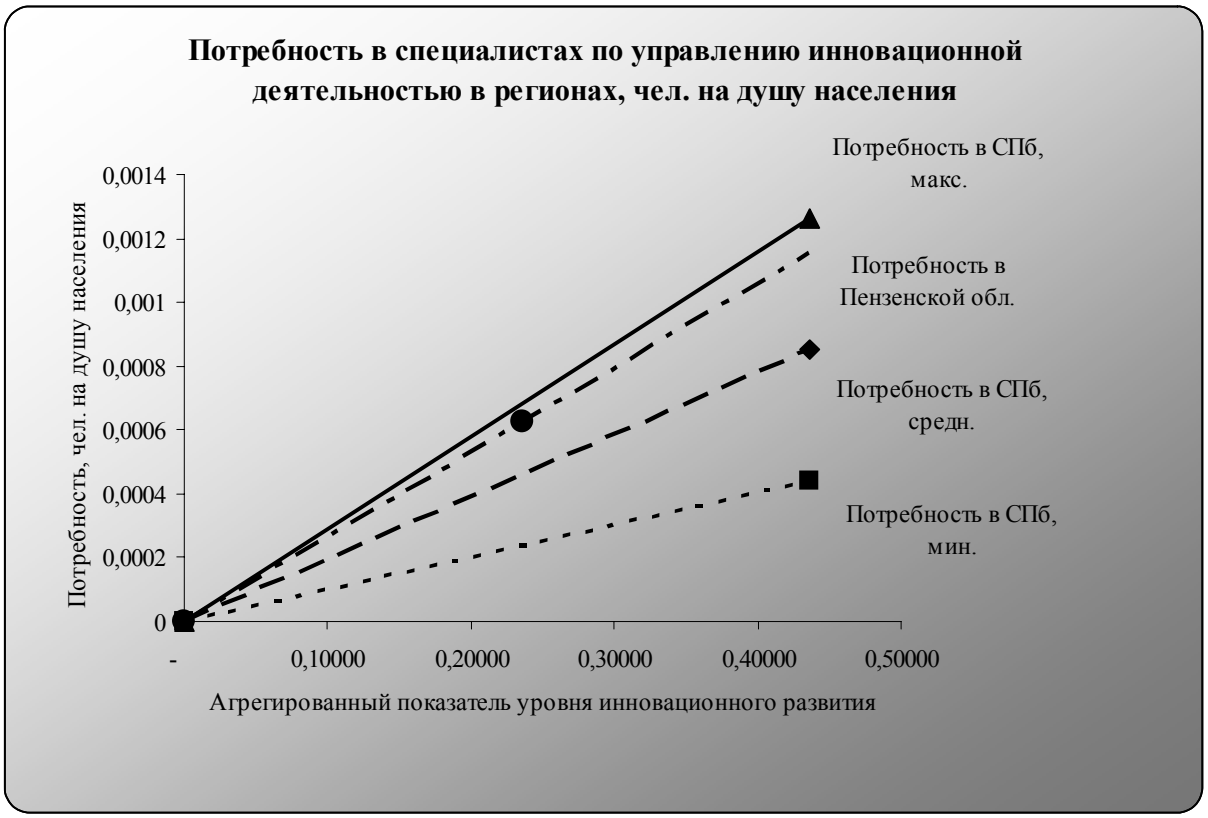
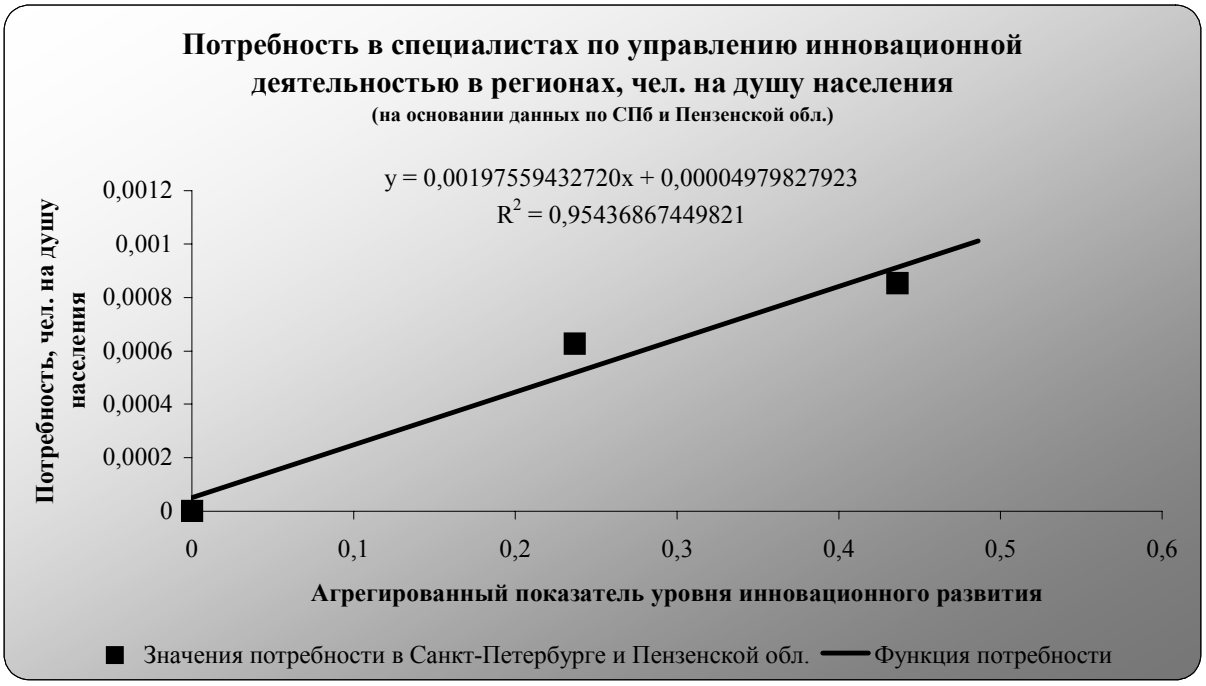


Таблица 1

Потребность республики Мари-Эл в специалистах по инновационной деятельности в сравнении с регионами, где было проведено исследование

№	Субъект РФ	По результатам исследования в г. Санкт-Петербург						По результатам исследования в Пензенской области		По результатам исследования в СПб и Пензенской обл.	
		Оценка потребности, чел. на душу населения, мин.	Оценка потребности, чел. на душу населения, ср.	Оценка потребности, чел. на душу населения, макс.	Оценка потребности в регионе, чел. мин.	Оценка потребности в регионе, чел. ср.	Оценка потребности в регионе, чел. макс.	Оценка потребности, чел на душу населения, чел. на душу населения	Оценка потребности в регионе, чел.	Оценка потребности, чел на душу населения, чел. на душу населения	Оценка потребности в регионе, чел.
1	**Томская область**	4,56E-04	8,77E-04	1,30E-03	473	**910**	1346	1,19E-03	**1231**	9,36E-04	**971**
2	**г. Санкт-Петербург**	4,43E-04	8,53E-04	1,26E-03	2040	**3923**	5806	1,15E-03	**5311**	9,12E-04	**4195**
10	**Калужская область**	3,06E-04	5,89E-04	8,72E-04	314	**603**	892	7,98E-04	**816**	6,46E-04	**660**
27	**Республика Марий Эл**	2,42E-04	4,65E-04	6,88E-04	174	**334**	494	6,30E-04	**452**	5,20E-04	**373**
28	**Пензенская область**	2,41E-04	4,63E-04	6,85E-04	343	**659**	974	6,26E-04	**891**	5,17E-04	**737**
69	**Кемеровская область**	1,65E-04	3,18E-04	4,70E-04	472	**907**	1342	4,30E-04	**1228**	3,71E-04	**1059**
77	**Ставропольский край**	1,45E-04	2,78E-04	4,12E-04	394	**757**	1119	3,77E-04	**1024**	3,31E-04	**900**

Диаграмма 4 – Осредненная по двум регионам модель («Санкт-Петербург – Пензенская область»)



Необходимо отметить, что для более точного определения потребности в специалистах в том или ином регионе, а также для формирования более точной модели зависимости потребности в специалистах от уровня инновационного развития региона необходимо проведение целевых исследований в субъектах РФ путем анкетирования или опроса местных экспертов, организаций и учреждений.

В настоящее время такие исследования были проведены в Ставропольском крае и в Калужской области. Полученные в результате проводимых исследований оценки, хотя и близки к приведенным в табл. 1, однако, позволят уточнить комплексные модели, учитывающие (с разных точек зрения) соответствующие показатели статистики, их взаимную корреляцию, а также результаты социологических полевых исследований, выявляющих глубинные процессы, происходящие в экономике.

Одно из замечательных приложений исследования – это выявление направлений повышения квалификации в области инновационной деятельности, по сути, состав учебных программ дополнительного профессионального образования. На рис. 1 приведены обобщенные результаты исследований по всем предприятиям Ставропольского края. Первое место в рейтинге направлений повышения квалификации для работников и руководителей предприятий Ставрополья занимает такой вид инновационной деятельности как «Оценка и экспертиза коммерческой эффективности новшеств» – 64,3%. Второе место поделили между собой «Маркетинговые исследования, связанные с выводом на рынок новых продуктов» и «Бизнес-планирование процесса создания и продвижения нового продукта на рынок» – 57,1%. Количественные результаты вполне соответствуют содержательным оценкам экспертов.

В процессе исследования в Ставропольском крае был также определен востребованный перечень курсов учебных программ переподготовки и повышения квалифика-

ции специалистов инновационной деятельности. В результате получен общий рейтинг востребованных учебных программ в сфере инновационной деятельности, который представлен ниже на рис. 2.

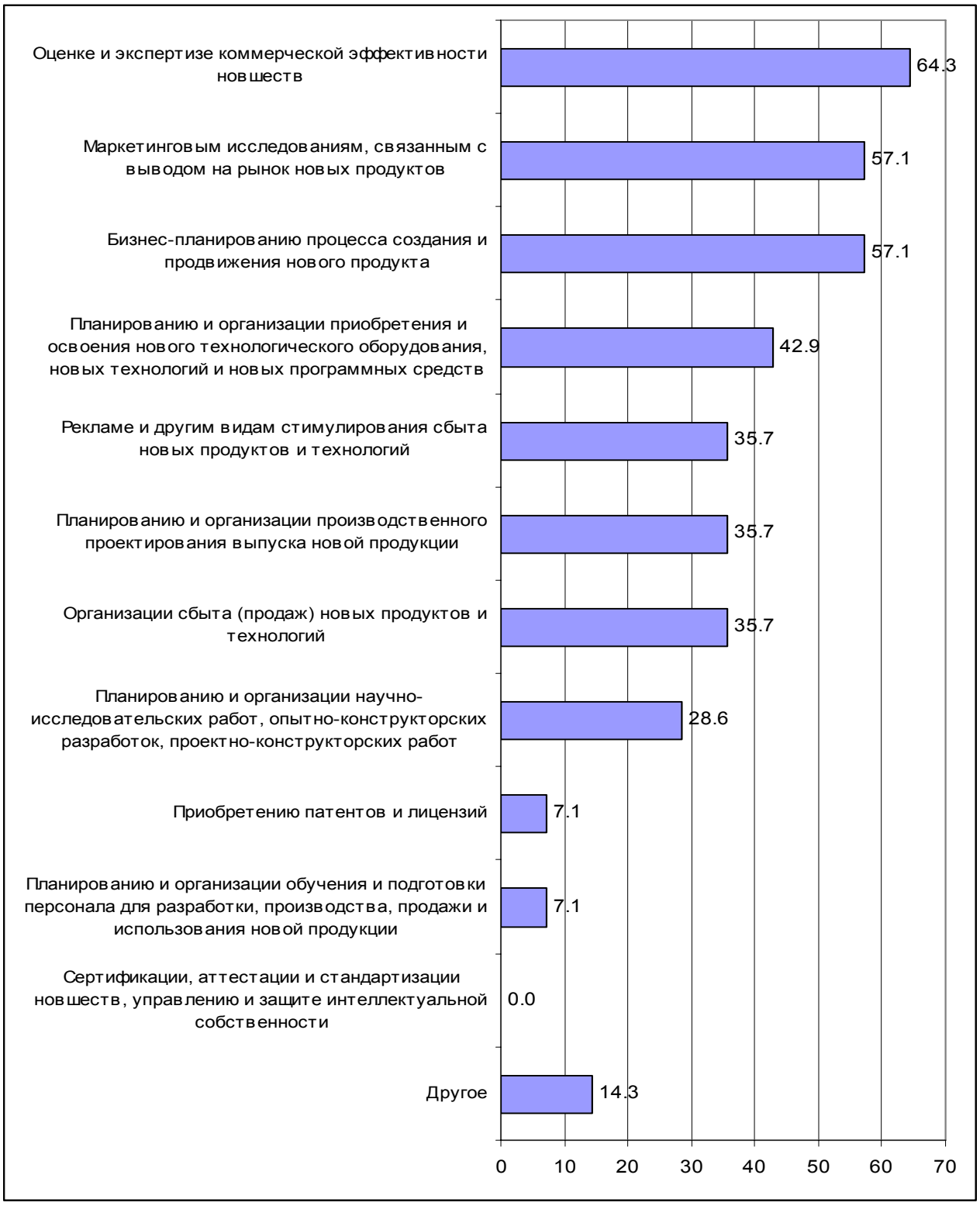


Рис. 1 Общий рейтинг направлений повышения квалификации, % опрошенных (Ставропольский край)

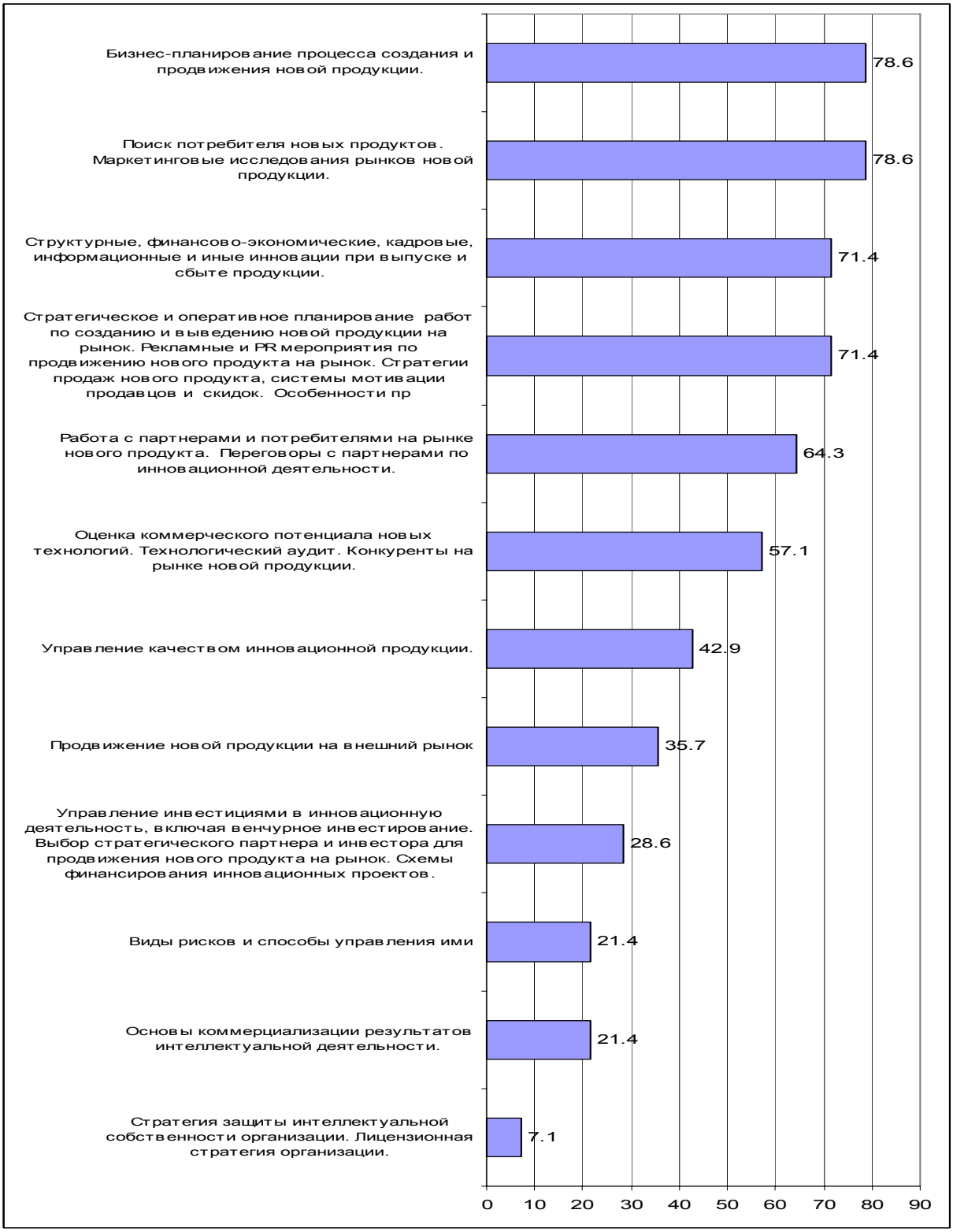


Рис. 2 Общий рейтинг учебных программ, % опрошенных, Ставропольский край

Для демонстрации тезиса о том, что для разных регионов, а также для специалистов по инновационной деятельности различного квалификационного уровня состав и

содержание программ будут различными на рис. 3 приведены сравнительные результаты исследования в наукограде Фрязино.

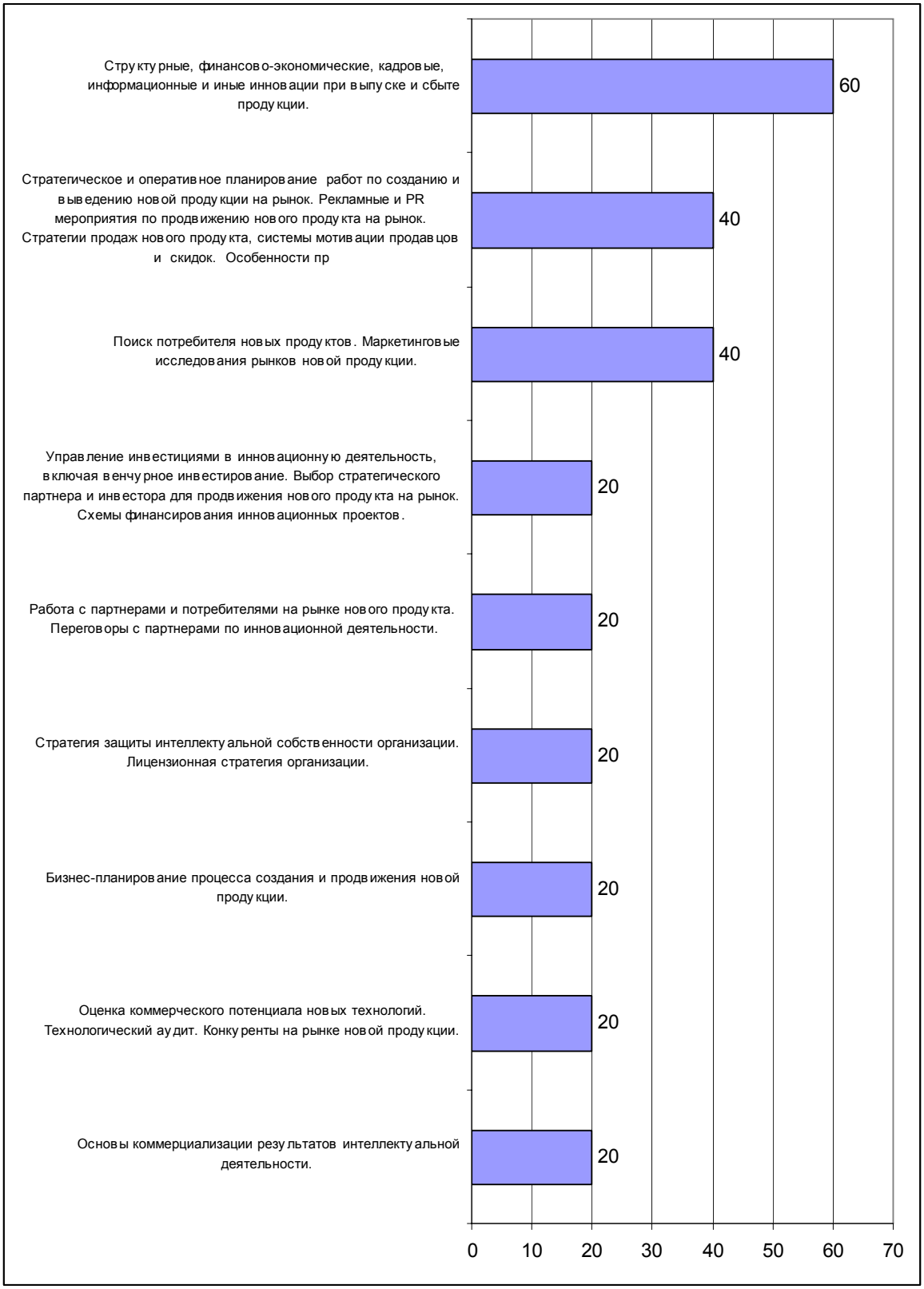


Рис. 3 Содержание учебных программ для руководителей малых предприятий наукограда Фрязино

Можно заметить, что в Ставропольском крае на первое место выходит курс «Бизнес-планирование процесса создания и продвижения новой продукции». В наукограде Фрязино, в городе с более высоким уровнем инновационного развития, эта дисциплина занимает одно из последних мест.

Для уточнения потребности в специалистах по инновационной деятельности, количественных и содержательных показателей программ профессиональной переподготовки и повышения квалификации руководителей и специалистов для инновационной деятельности необходимо проведение целевых исследований в каждом из заинтересованных субъекте РФ. В этих целях Академия народного хозяйства при Правительстве РФ приглашает регионы к сотрудничеству.

Полевые задачи исследования будут реализованы с помощью следующих социологических методик:

— экспертный опрос специалистов в области инновационной деятельности;

— исследование среди крупных производственных предприятий (не менее 10% от общей численности крупных производственных предприятий) методом личного формализованного интервью с генеральными директорами, их заместителями по развитию, директорами по персоналу и ведущими специалистами этих предприятий;

— исследование среди малых предприятий методом телефонного интервью с руководителями, принимающими решение о кадровой политике предприятия (не менее 5% малых производственных предприятий);

— исследование организаций инновационной инфраструктуры (не менее 20% организаций) методом личного формализованного интервью с генеральными директорами, их заместителями по развитию и ведущими специалистами;

— исследование научных и научно-технических организации (не менее 10 % организаций).

Имеющаяся практика взаимодействия с регионами свидетельствует, что в зависимости от размера региона и уровня его развития, при эффективном использовании местных кадров и административного ресурса, стоимость такого полевого исследования для региона может составлять от 300 000 до 600 000 тысяч рублей.

В результате исследований, кроме результатов, связанных с генерацией управленческих решений по активизации инновационного развития регионов, заинтересованные органы и предприятия смогут получить:

— предложения по разработке региональных программ (концепций) подготовки кадров для инновационной деятельности (Академия народного хозяйства имеет опыт написания такой Концепции для Московской области).

— методику разработки программ дополнительного профессионального образования и подготовки специалистов для инновационной деятельности в регионе (апробирована в Ставропольском крае и наукограде Фрязино).

Кроме того, проводимый в рамках исследования опрос, а также сопровождаемые исследование в регионе PR-мероприятия, носят формирующий характер, т.е. формируют общественное мнение о необходимости заниматься инновационной деятельностью.

Работа поддержана грантом РФФИ № 07-06-12003

ВОЗМОЖНЫЕ ФОРМЫ ВЕДЕНИЯ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ

И.И. Попов[1], Е.И. Гладышева[1], О.Е. Рыбакова[2]

1- ГОУ ВПО «Марийский государственный университет»
(424001, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1)
E-Mail: popov@marsu.ru
2 – Марийский филиал ОАО «АК БАРС» БАНК
(424000, г. Йошкар-Ола, ул. Успенская, д. 11)

1. Введение

Конкурентоспособность экономики любого государства или субъекта Российской федерации на современном этапе определяется уровнем развития инновационно-технологической деятельности. Первичным звеном этой деятельности является создание инновационных продуктов для развития малого и среднего высокотехнологического бизнеса. Большая роль в этом процессе принадлежит высшим учебным заведения, особенно – университетам. Под инновационной деятельностью в данной работе следует понимать процесс создания и введения в экономический оборот интеллектуальной собственности, являющейся результатом выполнения НИР или творческой деятельности. При этом инновационная политика строится на пересечении интересов научно-технической политики и интересов сферы капитала. В свою очередь научно-техническая политика строится на пересечении интересов сферы жизнеобеспечения и интересов сферы науки. Постановка проблемы об экономических и правовых основах инновационной деятельности вуза хорошо изложена в статье [1]. В данной работе сообщается о путях и методах развития инновационной деятельности в университете. При этом в работе использовались рекомендации и взгляды авторов сборника статей [2].

2. Этапы развития инновационной деятельности в вузе

Основными условиями ведения вузом успешной инновационной деятельности являются:

- Создание инновационно-ориентированного научного задела и формирование на его основе коммерциализуемой идеи. Формирование портфеля коммерциализуемых идей.
- Подготовка кадров для инновационной деятельности, обеспечивающих в вузе формирование коммерциализуемых идей и продвижение их на потребительский рынок.
- Обеспечение финансирования работ на ранних (предпроектных) этапах инновационного процесса и привлечение инвестиций на этапах зарождения и развития малого инновационного бизнеса.
- Высококвалифицированный инновационный менеджмент, как при создании, так и при функционировании малого инновационного бизнеса с участием вуза.

За основу данной работы взяты предложения, разрабатывавшиеся применительно к ГОУ ВПО «Марийский государственный университет» (далее, МарГУ). Развитие инновационной деятельности в вузе начинается с проведения общеобразовательных курсов по практическим рекомендациям ведения инновационной деятельности для сотрудников университета и подготовки профессиональных кадров для этих целей в соответствии с основными положениями проекта стандарта менеджеров инновационной деятельности [3]. Представленные в работе [3] материалы, раскрывают содержание профессиональной деятельности, квалификационные требования и программы подготовки

менеджеров, экспертов, консультантов инновационной деятельности, работающих в научно-технической и промышленной сферах. Сборник сформирован в рамках разработки Многоуровневой системы подготовки специалистов для инновационной деятельности.

Следующим этапом является технологический аудит [2] научной деятельности подразделений университета. Суть его сводится к нахождению области рыночного приложения научных заделов, потенциальных возможностей подразделения университета и членов их коллектива с последующей коррекцией направленности НИР. Дальнейшим этапом является получение инновационно-ориентированного научного задела, формирование коммерциализуемой идеи и формализация результатов НИР в виде объектов интеллектуальной собственности [2]. Здесь имеется в виду одна важная особенность отношения к научной деятельности. Если публичная научная деятельность преследует цели получения новых знаний и новых практически значимых решений, часто связанных с решением крупной государственной проблемы или проблемы касающейся в целом общества, то инновационно-ориентированная НИР имеет другие цели. А именно, она преследует цель обеспечения многократно получаемой экономической выгоды. Для этого необходимо результаты НИР формализовать в виде интеллектуальной собственности, которую необходимо встроить в экономический оборот. При этом имеется в виду не только решение правовых вопросов собственника, но и эволюция первоначальной научной разработки в инновационный продукт, востребованный потребительским рынком, в технологии его получения и применения. При формализации результатов НИР требуется исходить из необходимости защиты будущего бизнеса, сохранения его конкурентоспособности и обеспечения привлекательности продуктов бизнеса. Для защиты бизнеса необходимо определенные аспекты полученных результатов НИР следует оформить в виде патентов или др. документов, защищающих права разработчика на государственном или международном уровне. Конкурентоспособность бизнеса обеспечивается путем оформления некоторых результатов НИР и производственно-технологических приемов в виде «НОУ-ХАУ» [2], которое не защищает права разработчика, но позволяет вводить в экономический оборот результаты НИР. И третий вид результатов НИР, связанных с доказательством их полезности и привлекательности для потребителя, публикуется в открытой научной печати и используется в рекламной деятельности.

После получения инновационно-ориентированного научного задела и создания предлагаемого рыночного инновационного продукта начинается его производственно-технологическое освоение и вывод на потребительский рынок [2]. При этом важно обеспечить конкурентоспособное качество продукта, надежность его заявленных характеристик, высокую технологичность и производительность, наименьшую себестоимость, наличие признаков, повышающих потребительский спрос и рыночную цену. Все это требует приобретение или изготовление специального оборудования и приборов. Важно все эти этапы сопровождать формированием квалифицированной и надежной команды ведущих специалистов. Последний этап может выполняться как в условиях вуза, так и малого предприятия, созданного с его участием или с участием его сотрудников.

3. Возможные организационно-правовые формы участия вуза в инновационной деятельности

На этапе создания инновационно-ориентированных научных заделов все кафедры и подразделения вуза, работая над выполнением инициативных НИР или финансируемых за счет российского или регионального бюджетов, по мере получения

результатов согласовывают их вид формализации со специалистами вуза в области инновационной деятельности. При необходимости, по специальным процедурам, определенным функционированием при МарГУ Межвузовского междисциплинарного инновационно-ориентированного научного семинара «Клуб профессорской мысли» (далее, Клуб профессорской мысли), реализуется одна из форм технологического аудита деятельности коллектива, представившего оригинальный научный результат, имеющий потенциальные возможности для его коммерциализации. Данный подход является одной из форм проведения технологического аудита кафедр МарГУ (он отличается от стандартных подходов, описанных в [2]). В число участников этого семинара входят докладчики (авторы идеи прикладного использования результатов НИР), эксперты-профессора различного профиля, ассистенты докладчиков (исполнители процесса создания предлагаемого инновационного продукта) и приглашенные специалисты по теме докладываемого материала. Результатом обсуждения сделанного на семинаре сообщения являлось выявление возможных рыночных ниш, методы, средства и практические методики, необходимые для развития имеющегося научного задела, а так же рекомендации по участию авторов в том или ином конкурсе финансируемых проектов. Также, в результате заседаний Клуба профессорской мысли формировалась эффективная постановки задачи для дальнейшей инновационно-ориентированной НИР и следующей за ней инновационной деятельности.

В итоге зимнего или летнего заседания Клуба профессорской мысли находились коммерциализуемые идеи, основанные на новом рыночном приложении предложенных научных результатов. Для дальнейшего целенаправленного инновационного развития НИР формировалась команда инициаторов создания коммерциализуемого инновационного продукта. Организационно эта команда объединялась через создание вновь предложенной организационно-правой формой, вытекающей из действующего законодательства, – холдинговой временной творческой компании (далее, ХВТК). Второй формой развития инновационно-ориентированных НИР служила программа «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (далее, программа «У.М.Н.И.К.») Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. Этап функционирования ХВТК в инновационной деятельности университета связан с поиском новых научных коммерциализуемых идей, подбором исполнителей и выполнением инновационно-ориентированных НИОКР. ХВТК [4] в этом случае представляет собой оформленное коллективным договором объединение ресурсов и усилий физических и юридических лиц на создание коммерциализуемых научных результатов с целью получения доли прибыли от введения их в экономический оборот. Договор о создании ХВТК заключается на базе вуза или на базе рекомендованного им малого инновационного предприятия (МИП). Этот договор представляет собой коллективное соглашение физических и юридических лиц с управляющей компанией (подразделением юридического лица), назначенной университетом (или с уполномоченным им МИП). Это коллективное соглашение опирается на договоры подряда с физическими лицами и договоры о научно-техническом сотрудничестве с юридическими лицами, заключенные с университетом (или с назначенным им МИП), представленным управляющей компанией по реализации предложенной инновационной идеи. В процессе создания и деятельности ХВТК решаются задачи создания коммерциализуемого научного продукта, подбора кадров и подготовки инновационного проекта для будущего МИП. Механизм привлечения экономических ресурсов на ранних этапах

инновационной деятельности на основе ХВТК показан на рис. 1. По завершению поставленных перед ХВТК задач она может реорганизоваться в МИП, связанное специально разработанными договорными отношениями с университетом.

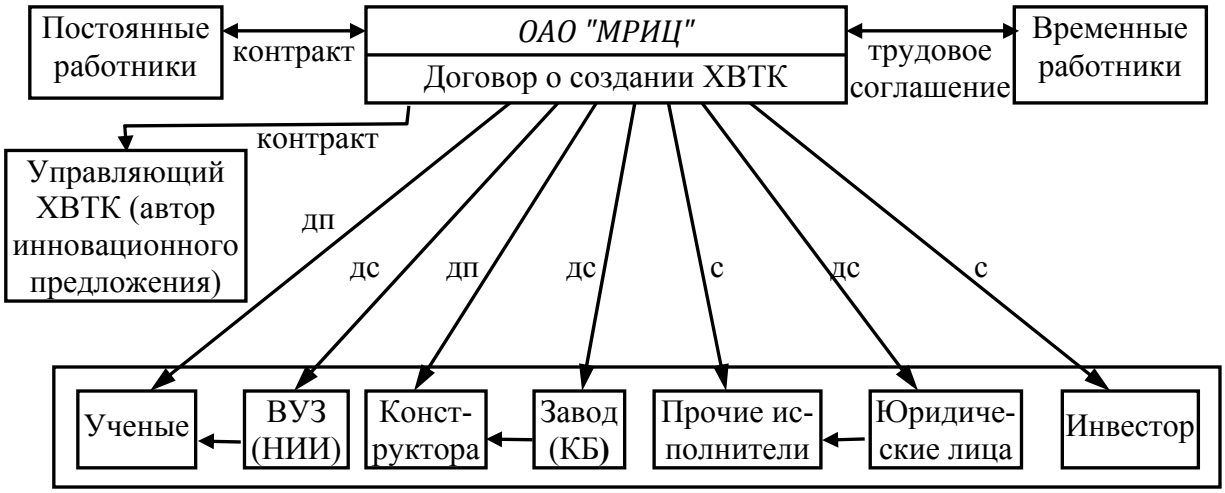


Рис. 1. Механизм привлечения экономических ресурсов на предпроизводственных этапах инновационной деятельности на основе холдинговой временной творческой компании: дп – договор подряда; дс – договор о сотрудничестве; с – соглашение.

В качестве реализованного примера деятельности ХВТК может служить ХВТК «Орол». Коммерциализуемая идея заключалась в продлении срока сохранности влажного зерна с одновременным повышением качества зерна и производимой муки за счет применения препарата «Орол», содержащего ингибирующий комплекс, состоящий из органических небелковых природных ингибиторов и фитогормона – абсцизовой кислоты. В качестве головной организации выступал ОАО «Марийский региональный инновационный центр», г. Йошкар-Ола (ОАО «МРИЦ»), уполномоченный МарГУ. ОАО «МРИЦ» заключил договоры о сотрудничестве с юридическими лицами и договора подряда с физическими лицами, в которых проговаривались условия выполнения физическими лицами на своем основном рабочем месте (в условиях юридического лица – участника ХВТК) заданий по плану НИОКР, выполняемой коллективом ХВТК. Также в этих договорах оговаривались обязательства и права сторон по заключению коллективного договора о создании ХВТК. Также базовое для ХВТК юридическое лицо (ОАО «МРИЦ») заключило контракт с управляющим ХВТК (в нашем примере это был автор коммерциализуемой идеи – аспирант кафедры защиты растений МарГУ, в последствии, заявитель патентов). ОАО «МРИЦ» заключило контракты с юридическими лицами, постоянно участвующими в выполнении работ по НИОКР, реализуемым ХВТК, и трудовые соглашения с исполнителями разовых работ. На этапе написания и подготовки инновационного проекта к участию в конкурсе к ХВТК присоединился инвестор. Инвестор, включившийся в создание коммерциализуемого научного результата, выступил и в качестве инвестора программы «СТАРТ 2007». Созданное в рамках выполнения инновационного проекта, получившего поддержку по программе «СТАРТ 2007», МИП ООО «Орол» заключило государственный контракт № 4875р/7291 от 26.03.2007 с Фондом (федеральным) содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. ООО «Орол» также заключило с МарГУ хоздоговор как с

соисполнителем данного государственного контракта на выполнение части работ, предусмотренных календарным планом.

Созданное в результате деятельности ХВТК МИП ООО «Орол» выполняло функции не только носителя инновационного бизнеса, но и учебно-наглядного инновационного предприятия (УНИП), работающего в реальном секторе экономики, являющегося производственной базой для предоставления условий получения производственных навыков студентами и аспирантами университета.

4. Инновационная подготовка специалистов, выпускаемых университетом

Для повышения эффективности процесса создания кафедрами инновационных продуктов в вузе было поставлено преподавание по специализированному курсу «Основы научно-инновационной деятельности» для сотрудников, аспирантов и студентов старших курсов. Дополнительно к этому курсу проявившим интерес к инновационной деятельности слушателям выше названного спец. курса и ведущим в научно-инновационной деятельности представителям профессорско-преподавательского состава и учебно-вспомогательного персонала были даны дополнительные знания в рамках заседания двух ежегодных международных научных школ «Наука и инновации».

Ведущие ученые в областях знаний, актуальных с точки зрения коммерциализации науки, прочитали ряд докладов о последних достижениях мировой науки в области физики, биологии, медицины, оздоровительной индустрии и инновационной деятельности. Далее слушатели получили тренинг по технологическому аудиту нескольких научно-исследовательских коллективов в рамках заседания Клуба профессорской мысли. Им были продемонстрированы практические тренинги по оказанию коммерциализуемых услуг по диагностике состояния водно-солевого и тканевого состава организма человека после предварительного прочтения теоретических лекций. В заключении участники Школы были свидетелями публичной защиты перед членами жюри Программы «У.М.Н.И.К.» коммерциализуемых идей, предлагаемых молодыми учеными в возрасте до 28 лет. Авторы четырех идей были признаны достойными присуждения им грантов Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, размером 400 тыс. руб. на 2 года (по 200 тыс. руб. в год). С победителями этого конкурса Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере через ООО «Орол» (уполномоченный на это организатором аккредитованного по программе «У.М.Н.И.К.» мероприятия, МарГУ согласно договору о научно-техническому сотрудничеству) заключил государственный контракт № 5346 р/7763 от «16» августа 2007 г. в сумме 800 тыс. руб. на первый год исследований с правом пролонгации на второй год при успешном выполнении технического задания первого года. Заметим, что успешные выступления студентов и аспирантов на других научных конференциях, проводимых вузами-организаторами данной Школы, являлись основанием для их отбора из общего числа выступлений молодых ученых для включения в число докладчиков, выступавших с сообщениями по презентации своих коммерциализуемых научных идей перед членами жюри, заседавшего по программе «У.М.Н.И.К.».

По мере увеличения инновационных предложений от специалистов и кафедр различного профиля кроме создания университетской службы по работе с ними перед МарГУ встала задача открытия специальности менеджеров инновационной деятельности по направлению подготовки специалистов «Инноватика». В этом случае на этапе реалиизации магистерских программ в области инноватики к работе бакалавров инноватики имеют возможность подключаться бакалавры или студенты старших курсов, обучающиеся по другим специальностям. В рамках подготовки специалистов

по магистерским программам для разработки и реализации инновационных продуктов в данной методологии обучения предусмотрена возможность создания под каждую из них своей ХВТК. Проблема обучения специалистов с высшим образованием в условиях динамично меняющейся экономики связана со сложностью обеспечения уровня преподаваемых знаний, адекватного требованиям вновь создаваемых предприятий, использующих передовые технологии и формы взаимодействия на рынке. Тем более актуальными становятся задачи практического обучения специалистов постоянно совершенствующимся знаниям и навыкам на базе ХВТК и созданных на основе них УНИП, работающих в реальном секторе экономики.

Предлагаемая в данной работе система практической подготовки специалистов на базе УНИП обеспечивает обучение студентов в форме практических занятий, использующих их диалог с УНИП, и виде проводимых на УНИП производственных и преддипломной практик. Повышение квалификации молодых специалистов становится возможным в виде краткосрочных и среднесрочных стажировок на УНИП.

Для реализации своих учебно-методических задач на базе УНИП высшее учебное заведение (университет) выступает инициатором его создания. Во-первых, вуз предоставляет для разработчиков инновационных проектов УНИП предложения с коммерциализуемыми научными заделами в виде интеллектуальной собственности, вводимой в экономический оборот через вновь создаваемые УНИП. Имеется в виду, что на основе предлагаемой вузом интеллектуальной собственности разрабатываются инновационные проекты. Далее для их реализации привлекаются финансовые средства государственных инновационных программ или частных инвесторов. При развитии этого процесса под каждый проект создается свое УНИП. Во-вторых, с целью формирования учебно-производственной базы для учебного процесса на этапе становления УНИП вуз в рамках договорного соглашения выделяет производственные площади и представляет консалтинговые услуги, необходимые для реализации этого соглашения.

Сотрудничество вуза и УНИП строится на взаимовыгодной основе.

Интересы вуза при взаимодействии с УНИП заключаются:

- в решении задач практического закрепления знаний у студентов в процессе рассмотрения отдельных тем по преподаваемым дисциплинам на базе информации, поступающей в реальном масштабе времени с УНИП, работающего в реальном секторе экономики;
- в закреплении полученных знаний и выработке практических навыков у студентов, проходящих практику в УНИП;
- в подготовке рабочих мест для будущих выпускников;
- в получении внебюджетных финансовых средств от предоставления для УНИП лицензии на свою интеллектуальную собственность, размер которых определяется долей дохода УНИП, оговоренной лицензионным соглашением;
- в формировании потребительского рынка для своих научных разработок;
- в получении заказов на платные научно-технические услуги в форме хоздоговоров;
- в привлечении в вуз на преподавательскую работу практиков с производства УНИП на условиях совместительства.

Интересы УНИП включают следующее:

- снятие финансовых рисков создателей УНИП на этапе становления предприятия до начала продаж за счет взаимозачета платы за услуги вуза и полученные от него эксклюзивные лицензии на интеллектуальную собственность стоимостью представленных вузу услуг по договорному соглашению;

- поддержание уровня конкурентоспособности выпускаемой продукции за счет постоянного обновления вузом свое интеллектуальной собственности;
- использование инициативы старшекурсников-практикантов вуза для совершенствования своей деятельности;
- решение вопросов подготовки и переподготовки кадров для предприятия.

Взаимодействие вуза и УНИП включает следующие этапы:

1) организацию при вузе ХВТК под научные коммерциализуемые идеи с целью создания задела для инновационного проекта;

2) разработку инновационного проекта;

3) привлечение государственных и внебюджетных инвестиций;

4) подготовку кадров для инновационной деятельности;

5) подготовку и согласование форматов входного и выходного протоколов УНИП и перечня информации о внешней среде деятельности УНИП для передачи учебно-наглядной информации (УНИ), обслуживающей учебный процесс вуза;

6) разработку учебно-методических материалов по практическому обучению студентов на базе информации, предоставляемой УНИП, как для практических занятий, так и проведения производственных и преддипломной практик;

7) организацию работы практикантов в УНИП по анализу результатов деятельности предприятия и заполнению выходных протоколов УНИ, по анализу качества УНИ, поступающей по входным протоколам, и по формированию массивов информации о внешней среде УНИП;

8) разработку программного продукта и учебно-методических материалов для практических занятий студентов;

9) привлечение студентов и работников УНИП к реализации новых коммерциализуемых идей, разработке интеллектуальных продуктов и инновационных проектов и к сотрудничеству со смежными УНИП.

Структурная схема организации практического обучения студентов на базе УНИП ООО «Орол» приведена на рис. 2. Вуз предоставляет УНИП, действующему согласно программе развития ООО «Орол», платные научно-технические услуги согласно хозяйственному договору, интеллектуальную собственность, консалтинговые услуги по договору о сотрудничестве на условиях их оплаты после получения средств по государственному контракту или выручки от финансово-хозяйственной деятельности. При этом УНИП оказывает содействие университету в проведении практического обучения студентов и аспирантов. В силу высокой рискованности инновационного бизнеса, данные услуги, оказанные вузу со стороны УНИП по проведению практического обучения студентов, являются одной из форм компенсации вклада вуза в становление УНИП. На УНИП проходят практику как студенты экономических и экономико-правовых специальностей, так и отраслевых, профиль подготовки специалистов по которым совпадает с профилем деятельности УНИП (в данном случае студенты Агротехнологического института по специальности «защита растений»). В процессе прохождения практик на УНИП студенты экономических и экономико-правовых специальностей готовят и принимают информацию по входным и выходным протоколам УНИП и о внешней среде УНИП. Получаемые в процессе прохождения практики навыки учитываются при их приеме на данные УНИП после окончания вуза. Выполнение практических занятий происходит на рабочем месте студента в компьютерном классе или научно исследовательской лаборатории университета. Работу студента обслуживает программный продукт компьютера, который принимает текущую информацию от УНИП и внешней сре-

де УНИП и позволяет студенту сделать действия, предусмотренные учебно-методическим пособием, составленным под конкретное практическое задание, выбираемое из рабочей программы преподаваемой дисциплины, предусмотренной учебным планом подготовки специалистов.

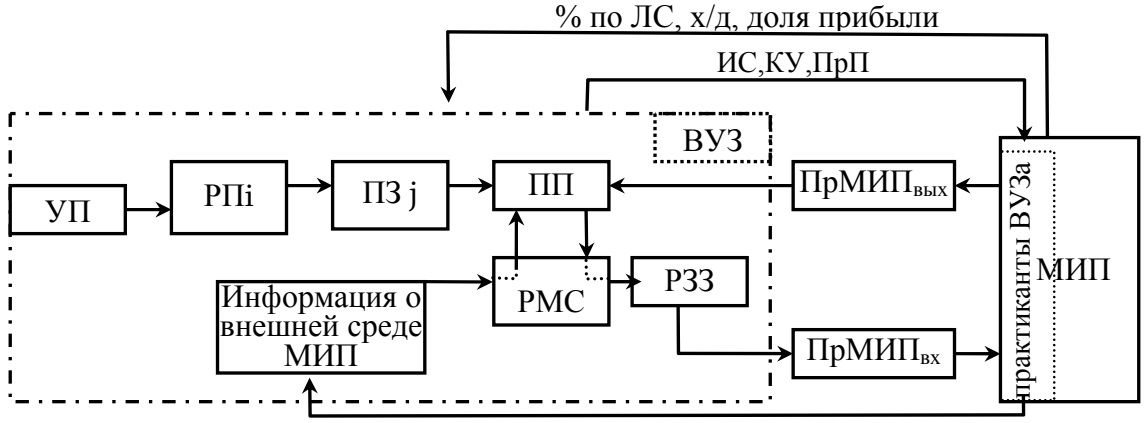


Рис. 2. Структурная схема системы практических занятий по экономическим и экономико-правовым дисциплинам: УП – учебный план по специальности; РПi - рабочая программа по i-ой дисциплине, (i=1…n), n – количество преподаваемых дисциплин выше указанного профиля, предусмотренных учебным планом специальности; ПЗj – тема j-го практического занятия, (j=1…m), m – количество практических занятий по выбранной дисциплине; ПП –программный продукт; РМС –рабочее место студента (компьютер); РЗЗ – результаты зачетного задания; ПрМИП$_{вх}$ – входной протокол МИП (дешифратор информации); ПрМИП$_{вых}$ – выходной протокол МИП (шифратор информации); МИП – малые инновационные предприятия, созданные с участием ВУЗа; ЛС – лицензионное соглашение; х/д – хозяйственный договор; ИС – интеллектуальная собственность; КУ – консалтинговые услуги; ПрП – производственные площади.

В качестве примера практического занятия можно привести расчет стоимости интеллектуальной собственности перед ее постановкой на учет в УНИП в качестве нематериальных активов. По выходному протоколу поступает информация о сложившемся уровне цен, структуре себестоимости на выпускаемую силами УНИП продукцию и об объемах продаж. Информация о внешней среде УНИП отражает законодательное сопровождение рассматриваемого вопроса, бухгалтерскую и налоговую компоненты (виды и ставки налогов, начисление амортизации). Задача студента в данном случае состоит в том, чтобы в результате сопоставления всех предложенных данных дать заключение о стоимости оцениваемого объекта интеллектуальной собственности, наиболее отвечающей цели максимизации прибыли предприятия. Результаты работы обучающегося студента поступают согласно входному протоколу в УНИП и обрабатываются там студентами-практикантами.

5. Финансирование НИР и управление интеллектуальной собственностью на ранних этапах инновационного процесса

Важным является финансирование создания инновационно-ориентированных научных заделов. Эффективным в этом направлении оказывается создание ХВТК. Кроме того, что вклад участников ХВТК оценивался коэффициентом участия в создании конечного продукта, тем из них, кто вкладывал личные финансовые средства, выдавались векселя внутреннего пользования, гарантировавшие возврат средств после реализации

конечного продукта деятельности ХВТК, а так же предоставляющие им некоторые преимущества при создании малого предприятия на базе результатов деятельности ХВТК. Также источником финансирования на этапе создания научных заделов являлись гранты государственных и негосударственных фондов (РФФИ, РГНФ, ФСР МФП в НТС, фонда «Династия» и др.). Особенно эффективной оказалась поддержка фсрмфп в нтс по программам «У.М.Н.И.К.-2007» и «СТАРТ-2007». Отбор финансируемых проектов по программе «У.М.Н.И.К.» осуществлялся в рамках работы второй международной научной школы «Наука и инновации 2007». Вопросы управления интеллектуальной собственностью [2] решались через оформление совместных патентов на изобретения рф частными лицами и малым предприятием на правах заявителей (обладателей патентов). Для подключения университетских патентов на изобретение к инновационной деятельности использовалась форма уступки на договорных условиях университетом права владения патентом в пользу авторов патента, являющихся субъектами инновационного процесса, предложенная Л.С. Орбачевским (МВТУ им. Баумана) [2].

6. Выводы

В данной работе предложены оригинальные формы создания инновационно-ориентированных научных заделов и получения коммерциализуемых научных идей. Также показаны пути решения организационно-правовых и финансовых задач на этапах зарождения и формализации инноваций в виде рыночного продукта. Приведены подходы к подготовке кадров для инновационной деятельности. Все эти предложения наряду с традиционными формами ведения инновационной деятельности позволяют вузу без наличия собственного опыта и соответствующего кадрового потенциала успешно реализовывать свою инновационную деятельность. При этом наиболее экономически мотивированным становятся научная работа и учебный процесс на всех факультетах университета. В этом случае естественнонаучные, гуманитарные и отраслевые факультеты являются поставщиками коммерциализуемых идей, а факультеты инноватики, экономики и юриспруденции обеспечивают вывод этих идей на потребительский рынок и создание сети взаимодействующих с вузом малых инновационных предприятий.

Литература

[1] Аганов А.В., Малинина Ю.В., Услышев М.Ю., *Ученые записки КГУ, физ.-мат.науки,* Т.149, кн.1 (2007) 146 с.

[2] Бабаскин С.Я., Зинов В.Г. *Модели коммерциализации результатов исследований*, АНХ при Правительстве РФ, факультет инновационно-технологического бизнеса, Москва (2004).

[3] Менеджеры инновационной деятельности и научно-технической и промышленной сферах / Под ред. Н.В. Арзамасцева, В.Г. Зинова, РИНКЦЭ, Москва (2001).

[4] Гладышева Е.И., Попов И.И., Шакирова А.С. Сборник статей российско-американской научно-практической конференции «Субъект Федерации на рубеже веков». – Москва (1998) С. 13.

«ФИЗИКА РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ЕЕ ИННОВАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ»

ФОТОНИКА И ИННОВАЦИИ

А.П. Сухоруков

Физический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

В этой статье дан конспект лекции, в которой излагаются основные понятия фотоники и очерчен круг ее приложений, прежде всего в информационных технологиях. В электронике носителями информации служат электроны. Электронная индустрия служит основой большинства наших сегодняшних технологий, но электроника достигла почти предела скорости. Поэтому потребовались системы, основанные на использовании оптических процессов. Использование фотонов вместо электронов, как носителей информации, открывает переход к более быстрой и более эффективной передаче и обработке данных. Замена электронов на фотоны привело к созданию новой области исследований в науке и технике – фотонике. Оптика и фотоника – область, которая в наши дни возбуждает живой интерес к новым приложениям, большинство из которых рождается из оптоэлектроники. Действительно, современные оптические технологии и научные исследования стремятся заменить электронные компоненты оптическими компонентами, предлагая длинный ряд революционных подходов. Они могли бы обеспечить бóльшую память и значительно увеличить скорость обработки данных. Как пример, назовем недавнее приложение в фотонике эффектов магнитооптики, давно известной в науке. Фотоника использует высокие технологии, с помощью которых свет генерируется, направляется, контролируется и обрабатывается. Они объединяют лазеры, электро-оптические модуляторы, оптическое формирование пучков, детекторы, оптические переключатели, фильтры, волноводы, суперпризмы, биосенсоры и др. Фотоника включает оптическую связь (например, волоконную оптику, лазеры, инфракрасные каналы), получение оптических изображений (спутники-шпионы, погодные спутники, ночное видение, голография, домашние экраны, видеокамеры), хранение оптической информации, оптические вычисления, оптические детекторы (супермаркеты, медицинская оптика, неразрушающий контроль материалов), лазеры (лазерная сварка, лазерная хирургия, лазерное шоу, лазерный дальномер), спектроскопию (химическое и биологическое детектирование, детекторы для анти-террора), квантовую оптику (квантовую телепортацию, квантовую криптографию, однофотонную оптику) и т.д.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ФОТОНИКИ

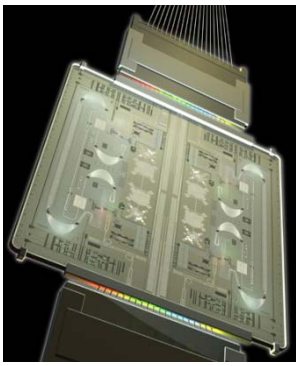
Свет – единственное физическое явление, которое охватывает всю историю физики; свет находится в центре важнейших событий развития цивилизаций. В древней Греции за 400 до н.э. Аристофан описывает отражение солнечных лучей. Аристотель (384-332 до н.э.) утверждал, что зрение обязано попаданию в глаз частиц, испускаемых наблюдаемым объектом. В 1604 г. Кеплер описал свет как поток, уходящий на бесконечность вдоль прямых линий, называемых лучами. В конце 19-ого столетия Джеймс Максвелл разработал классическую теорию света, из которой следовало, что свет распространяется в виде поперечных электромагнитных волн с постоянной скоростью в вакууме, равной 300 000 км в секунду. В 1921 г. Эйнштейн показал, что свет состоит из

фотонов, или квантов света. В 1953-1954 г.г. Чарльз Таунс, Николай Басов и Александр Прохоров разработали первые мазеры, которые усиливали микроволны с помощью индуцированного излучения. Позднее они распространили эту идею на оптический диапазон.

Затем наступает эра лазерной физики. В 1960 г. Теодор Мэйнман создает первый лазер. В 1962 г. Эмметт Лейт и Юрис Упатниекс с помощью лазера осуществили классическую схему записи голограмм. В 1964 г. Басов, Прохоров и Таунс получили Нобелевскую премию по физике «За основополагающую работу в области квантовой электроники, позволившую создать генераторы и усилители, основанные на принципе мазера и лазера». Первый промышленный образец волоконной оптики сконструировал Роберт Д. Морер с коллегами в 1970 г. В том же году Лео Исаки изобрел лазерный диод. В 1985 г. сотрудники университета в Саутгемптоне впервые продемонстрировали оптическое усиление в стандартном стекловолокне после введения в кварц атомов эрбия. Эли Яблонович в 1987 году предложил идею фотонных кристаллов – периодических структур, обладающих полосами непропускания на определенных длинах волн.

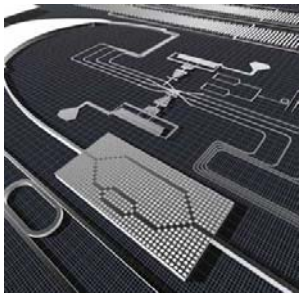
ПРИМЕРЫ СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ФОТОНИКЕ

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ФОТОННАЯ ЦЕПЬ



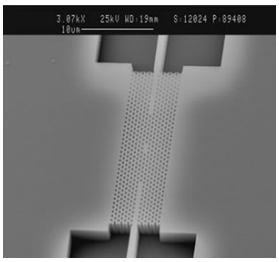
Приведем современную разработку оптического логического устройства. Импульсы света, состоящие из фотонов, направляются через различные наноразмерные оптические устройства. Эти активные или пассивные проводящие свет устройства – фотонные запрещенные щели, светоделители, интерферометры, оптические линии задержки, резонаторы, оптические де- и мультиплексоры – являются ключевыми элементами будущих поколений оптических процессоров, которые будут использоваться, чтобы улучшить сегодняшнее поколение традиционных электронных цепей.

ДИСКРЕТНЫЕ ВОЛНОВОДЫ И РЕШЕТКИ



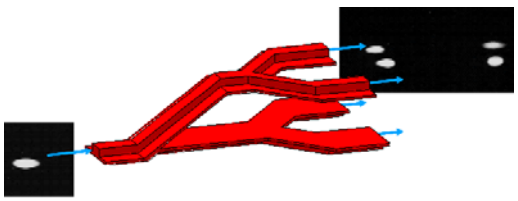
Матрица, или решетка волноводов состоит из ряда изогнутых оптических светопроводящих волноводов. Этот тип устройства может или работать как демультиплексор, так и как мультиплексор длин волн оптического излучения.

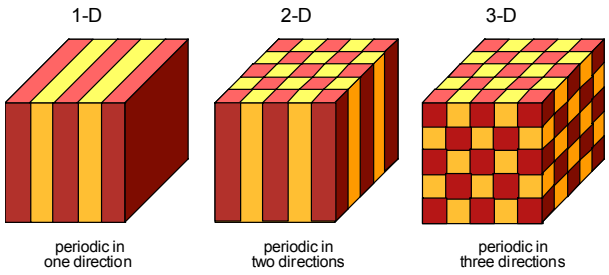
ФОТОННЫЙ КРИСТАЛЛ, изготовленный из соединения SiO2/Si3N4/SiO2/Si. Имеет периодическое строение и соединяет два элемента. В фотонный кристалл введены дефекты. Характерный размер ячейки фотонного кристалла составляет несколько микрон и сравним с длиной волны.



ТРЕХМЕРНАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЦЕПЬ ИЗ ПОЛИМЕРА

Это образец трехмерной интегральной оптики, использующей полимеры. Он делит оптическую мощность на четыре канала в плоскостях и между плоскостями интеграции. Покрытие не показано для простоты. Длина волны $\lambda = 1310$ нм.



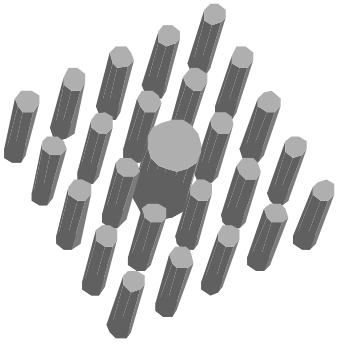


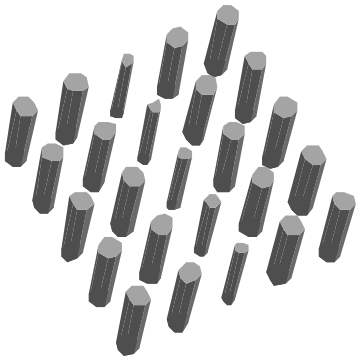
Периодичность в одном, двух и трех направлениях

ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ

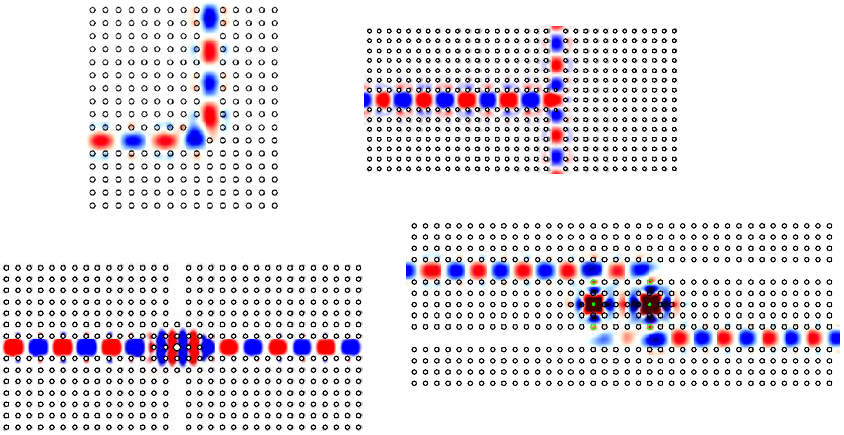
Фотонные кристаллы являются одним из подклассов фотонных структур, которые относятся к инновационной области в нанонауках и нанотехнологиях. Фотонные кристаллы обладают фотонными щелями – областями длин волн, для которых запрещено распространение света. Эти щели аналогичны полупроводниковым щелям для электронов. Возможность создания таких метаматериалов обеспечивает эффективный метод конструирования фотонных щелей для управления светом. Например, свет можно повернуть на угол 90°, свет может быть от поверхностей с фотонными щелями, в принципе, под любым углом. В области оптической щели фотонный кристалл ведет себя как «изолятор» – не пропускает свет.

ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ С ДЕФЕКТАМИ

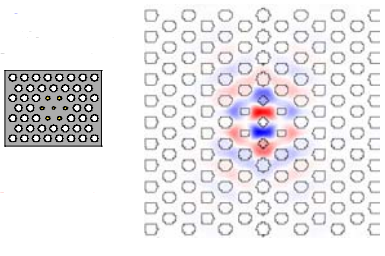




Умышленно созданные “дефекты” дают полезные эффекты для управления светом. Замена одной ячейки на дефект с другим показателем преломления, в том числе и воздух, формирует микрорезонатор. Внедренный линейный “дефект” образует микроволновод (аналог “проволоки”). В фотонных кристаллах с помощью дефектов дефектами можно конструировать траектории (каналы) для оптических волн, несущих информацию.



Каналы можно изгибать под прямым углом, разветвлять на два канала (Т-образный переход) – верхний ряд; также можно делать в них буфер, создавать связь между параллельными каналами для переключения оптических сигналов – нижний ряд.



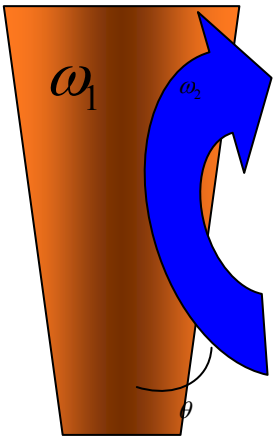
Для расчета свойств фотонных кристаллов созданы многочисленные программы. В качестве примера приведем распределение электромагнитного поля в микрорезонаторе, созданном из 7 дефектов в фотонном кристалле. Так как частота оптических колебаний лежит в полосе непрозрачности фотонного кристалла, то излучение отражается от «стенок» и локализуется вокруг дефектов.

ФОТОНИКА НЕЛИНЕЙНЫХ СРЕД

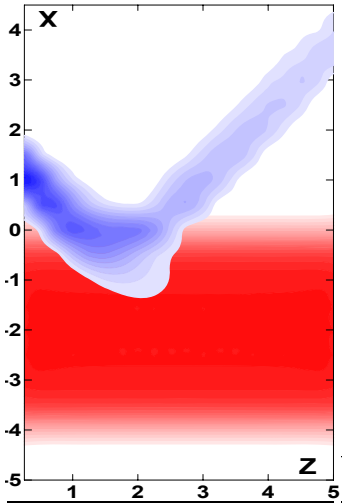
В нелинейных средах появляется возможность управлять свойствами дефектов, а следовательно, изменять дефектную структуру. В нелинейных средах под действием интенсивного излучения возникают индуцированные неоднородности показателя преломления, на которых можно реализовать переключение оптических волн в реальном масштабе времени с терагерцовой скоростью.

Приведу несколько примеров инновационной деятельности молодых специалистов в лаборатории «Физика нелинейных волн и фотоника» при физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. Работы ведутся по проблеме «Создание высокоскоростных оптических переключателей для информационных систем». Предлагается новая тип оптического переключения, основанного на эффекте полного внутреннего отражения оптических пучков в дефокусирующей нелинейной среде.

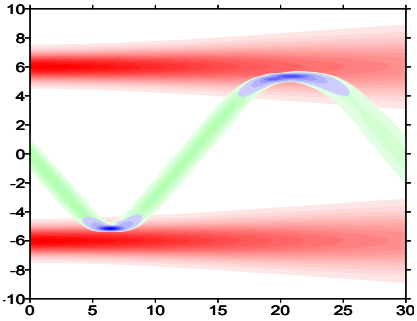
ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ



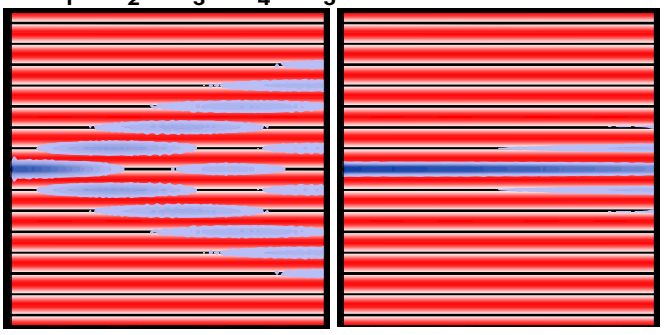
Мощный оптический пучок формирует эффективную неоднородность показателя преломления, которая является своеобразным зеркалом в среде. При определенных начальных условиях второй сигнальный пучок отражается от созданной накачкой неоднородности – осуществляется пространственное переключение сигнала. В качестве нелинейных сред можно использовать фоторефрактивные кристаллы, среды с тепловой нелинейностью, кубичные и квадратично-нелинейные среды. Преимущества нового метода состоят в уменьшении на порядки необходимой мощности пучков, фазовой нечувствительности, перестраиваемость по глубине модуляции показателя преломления.



На рисунке показан эффект нелинейного переключения сигнального пучка при отражении от опорного пучка в фоторефрактивном кристалле. Угол скольжения равен 0,5°; интенсивность поля опорной волны равна 10 мкВт см$^{-2}$.



В следующем примере отражение происходит в квадратично-нелинейном кристалле ниобате лития при трехволновом несинхронном взаимодействии. Так как в среде распространяются два опорных пучка, то сигнальный пучок отражается последовательно то от одного пучка, то от другого. В результате образуется параметрический волновод. Ширины пучков порядка 100μ, протяженность среды равна 1 см.



Наконец, приведем пример управления дискретной дифракцией в индуцированной периодической решетке. Слева показана картина дискретной дифракции, которая приводит

к мультиплексированию каналов передачи данных, справа – при увеличении интенсивности опорной волны возрастает глубина модуляции индуцированной решетки и центральный канал превращается в волновод. Это показывает принцип динамической перестройки индуцированных решеток.

ЛИДИРУЮЩАЯ РОЛЬ ФОТОНИКИ В XXI ВЕКЕ

Фотоника – одна из наиболее важных ключевых технологий 21-го столетия. Она оказывает влияние на все стороны нашей жизни. Промышленная фотоника играет жизненно важную роль в сохранении лидирующих позиций в таких областях, как информатика и связь, источники света, безопасность, наука о жизни и здоровье. Фотоника является двигателем технологических инноваций и служит огромным рычагом для создания продуктов, которые многократно увеличивают ценность исходных компонент и технологий фотоники. Благодаря внедрению фотонных технологий мы уже получаем выигрыш от сближения индустриального общества с информационным обществом и динамику роста вследствие их взаимодействия. Более того, с фотоникой мы встречаемся каждый день: сканеры штрих-кодов в супермаркетах, плееры, атмосферные исследования (спектроскопия) и т.д.

О важности развития фотоники говорит создание Национального центра по оптике и фотонике в США. Существует большой запрос на специалистов по фотонике (десятки тысяч ученых и инженеров). Потребности высоких технологий поставили задачу подготовку специалистов в области фотоники. Один или два курса по фотонике помогут подготовить дипломированных специалистов для работы в широком диапазоне профессий. В типовую программу обучения по специализации в области фотоники входят Фурье оптика (голограммы, обработка изображений и линзы), оптика кристаллов (двулучепреломление, электрооптика и акустооптика), волоконная оптика и современные телекоммуникации, нелинейная оптика (трех- и четырехволновое смешение, пико- фемтосекундные лазеры), полупроводниковая оптика (п/п наноструктуры и детекторы), статистическая оптика (квантовая статистика фотонов, спектроскопия, рассеяние света).

МУЛЬТИПОЛЬНОЕ КЛАСТЕРНОЕ СВЕРХИЗЛУЧЕНИЕ И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ В ОПТИКЕ – НА НАНООБЪЕКТАХ И В ГАММА-ДИАПАЗОНЕ – НА ЯДРАХ

В.В. Самарцев, А.А. Калачёв

Казанский физико-технический институт КНЦ РАН, г. Казань
e-mail: samartsev@kfti.knc.ru

Теоретически исследуются особенности суперфлуоресценции в системах-кластерах, состоящих из небольшого числа близкорасположенных частиц, когда существенную роль начинает играть обменное и/или электростатическое взаимодействие между частицами, и в процессе суперфлуоресценции в системе возникает макроскопический мультипольный момент. Установлено, что интенсивность квадрупольного сверхизлучения пропорциональна третьей степени от числа активных частиц. Обсуждаются возможные схемы создания кластеров и перспективы наблюдения в них суперфлуоресценции в оптическом и гамма-диапазонах.

1. ВВЕДЕНИЕ

Оптическое сверхизлучение (СИ), явление коллективного спонтанного испускания фотонов системой первоначально возбужденных частиц, было теоретически предсказано Р. Дике в 1954 году [1]. Он показал, что система N инвертированных атомов может спонтанно перейти в основное состояние за время, обратно пропорциональное числу атомов, излучая при этом когерентный световой импульс, интенсивность которого пропорциональна N^2. В своей основополагающей работе Дике отметил, что сверхизлучательное состояние можно создать двумя способами. В одном случае атомная система, находящаяся в основном состоянии, переводится в сверхизлучательное состояние с помощью когерентного $\pi/2$-импульса. Во втором случае атомная система, находящаяся в возбужденном состоянии, самопроизвольно переходит в сверхизлучательное состояние благодаря самонаведению корреляций между электрическими дипольными моментами оптических переходов атомов через общее для них поле излучения. Второй вариант коллективного спонтанного излучения был в дальнейшем назван суперфлуоресценцией [2].

Суперфлуоресценцию (СФ) можно рассматривать как частный случай сверхизлучения, когда среднее значение дипольного момента каждого атома равно нулю, как в начальный момент времени, так и в процессе коллективного спонтанного излучения, поскольку фаза начального состояния (а, следовательно, и сверхизлучательного) является неопределенной величиной. Многочисленные экспериментальные и теоретические исследования (см. обзоры [3-7]) посвящены именно явлению СФ, как яркому примеру процесса самоорганизации квантовой системы. Сигнал СФ высвечивается через время задержки $t_0 \sim \tau_c \ln N$ и имеет длительность $\sim 2\tau_c$, где τ_c -- время самонаведения корреляций в среде (или сверхизлучательное время жизни). Для того, чтобы согласование фаз излучателей, достигнутое в процессе формирования СФ, не исчезало за счет разрушающего действия релаксации, необходимо, чтобы время самонаведения корреляций было короче времен энергетической (T_1) и фазовой (T_2) необратимых релаксаций, а при наличии неоднородного уширения, чтобы еще $\tau_c < T_2^*$, где T_2^* -- время поперечной обратимой релаксации. При этом важно, чтобы самонаведение корреляций происходило во всем объеме, занимаемом атомами, то есть необходимо, чтобы $L/c < \tau_c$, где L -- линейные размеры среды, c -- фазовая скорость света. При выполнении указанных условий в системе образуется макроскопический осциллирующий дипольный момент, интенсивность излучения которого пропорциональна N^2.

Авторами работы [8] еще в 1973 году была высказана идея о том, что кроме дипольного возможно также мультипольное сверхизлучение. В частности, было показано, что интенсивность квадрупольного сверхизлучения на удвоенной частоте оптического перехода оказывается пропорциональной N^4, где N -- число излучателей. Полученный результат можно интерпретировать следующим образом. Рассматриваемые коллективные состояния возникают при «слипании» элементарных мультиполей в мультиполи более крупных размеров. В идеальном случае из N осциллирующих электрических диполей с моментом $P_j = el_j$ можно построить осциллирующий диполь с моментом $P = e\sum_j l_j = Nel_j$, что приводит к интенсивности дипольного сверхизлучения, пропорциональной N^2. В случае осциллирующих квадруполей имеем $Q_j = el_j^2$ и

$Q = e\left(\sum_{j=1}^{N} l_j\right)^2$, так что интенсивность квадрупольного сверхизлучения оказывается пропорциональной N^4. Подобная концентрационная зависимость должна иметь место при сверхизлучении ансамбля обменных пар, т.е. кластеров, образующихся с помощью обменного взаимодействия парамагнитных ионов. При образовании троек, четверок и т.д. ионов формируется мультипольное сверхизлучение с интенсивностью, пропорциональной N^6, N^8 и т.д.

Настоящая работа посвящена детальному исследованию особенностей мультипольной СФ в рамках модели, предложенной в работе [8] и развитой затем в работах [9, 10]. Результаты численного моделирования процесса СФ показывают, что интенсивность квадрупольной суперфлуоресценции оказывается пропорциональной не N^4, а N^3, где N -- число излучателей, образующих кластер.

2. ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ДИКЕ

Рассмотрим систему из N одинаковых частиц (атомов, молекул, ядер и т.д.), взаимодействующих друг с другом как через общее поле испускаемых фотонов, так и с помощью сил обменного и/или электростатического характера, благодаря которым возможны, в частности, эффекты кооперативного поглощения или испускания фотонов двумя частицами [11]. Такую систему частиц будем называть кластером. Поскольку размер кластера существенно меньше длины волны излучения, для описания процесса сверхизлучения в такой системе можно воспользоваться моделью Дике, добавив в исходный гамильтониан члены, учитывающие кооперативные эффекты. Таким образом, в представлении взаимодействия и в приближении вращающейся волны имеем следующий гамильтониан

$$H = \sum_n \sum_{\mathbf{k}s} g_{\mathbf{k}s}^{(n)} a_{\mathbf{k}s} \left(R^+\right)^n e^{i(n\omega_0 - \omega)t} + \text{э.с.}, \qquad (1)$$

где $a_{\mathbf{k}s}$ -- оператор уничтожения фотона в моде, характеризуемой волновым вектором $\mathbf{k}$ и поляризацией s (на частоте $\omega = |\mathbf{k}|/c$); R^+ -- коллективный оператор перехода частиц на частоте ω_0; $g_{\mathbf{k}s}^{(n)}$ -- константы связи частиц с полем, соответствующие переходам на частотах $n\omega_0$ ($n = 1, 2, \ldots, N$). Эти константы могут описывать переходы различной мультипольности.

С учетом (1), основное кинетическое уравнение для оператора плотности системы кластеров ρ в приближении Борна-Маркова принимает вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}\rho = -\sum_n \beta^{(n)} \left\{ \left(R^+\right)^n \left(R^-\right)^n \rho - 2\left(R^-\right)^n \rho \left(R^+\right)^n + \rho \left(R^+\right)^n \left(R^-\right)^n \right\}, \qquad (2)$$

где $\beta^{(n)} = \sum_{\mathbf{k}s} \pi \left| g^{(n)} \right|^2 \delta\left(n\omega_0 - \omega\right)$ -- скорость спонтанного перехода на частоте $n\omega_0$. Детали вывода подобных уравнений описаны, например, в [12].

Перейдем в базис коллективных состояний Дике $\left|l, m\right\rangle$:

$$\begin{aligned} R_3 \left|l, m\right\rangle &= m \left|l, m\right\rangle, \\ R^+ \left|l, m\right\rangle &= \sqrt{(l-m)(l+m+1)} \left|l, m+1\right\rangle, \\ R^- \left|l, m\right\rangle &= \sqrt{(l-m+1)(l+m)} \left|l, m-1\right\rangle. \end{aligned} \qquad (3)$$

Здесь R_3 -- оператор полуразности населенности возбужденного и основного состояний частиц, собственные значения которого равны $\left|m\right| \le l$; $l = N/2$ -- кооперативное кван-

товое число, характеризующее длину коллективного вектора Блоха. Тогда из (2) следует уравнение для населенностей:

$$\frac{\partial}{\partial t}\rho_{mm} = -\sum_n 2\beta^{(n)}\left\{g(l,m)g(l,m-1)\ldots g(l,m-n+1)\rho_{mm} - g(l,m+1)g(l,m+2)\ldots g(l,m+n)\rho_{m+n,m+n}\right\} \quad (4)$$

где $g(l,m) = (l+m)(l-m+1)$.

С помощью решения $\rho_{mm} = \rho_{mm}(t)$ системы уравнений (4), можно вычислять среднее значение различных произведений коллективных кластерных операторов. В частности, для корреляционных функций получаем следующее выражение:

$$\left\langle \left(R^+\right)^n \left(R^-\right)^n \right\rangle = \sum_m \rho_{mm} g(l,m)g(l,m-1)\ldots g(l,m-n+1)\,.$$

Рассмотрим случай, когда только $\beta^{(1)}, \beta^{(2)} \neq 0$. На рис. 1 представлены временные зависимости функций корреляции $\left\langle R^+R^-\right\rangle = \sum_m \rho_{mm} g(l,m)$ и $\left\langle R^+R^+R^-R^-\right\rangle = \sum_m \rho_{mm} g(l,m)\,g(l,m-1)$ системы N частиц при различных значениях N, полученные в результате численного решения системы уравнений (4) при начальном условии $\rho_{mm} = \delta_{m,l}$ $(l = N/2)$, которое соответствует полному возбуждению кластерной системы. При решении полагалось, что $\beta^{(1)} = 0$, т.е. только фотоны на частоте $2\omega_0$ испускаются парами частиц, что соответствует, например, квадрупольному сверхизлучению.

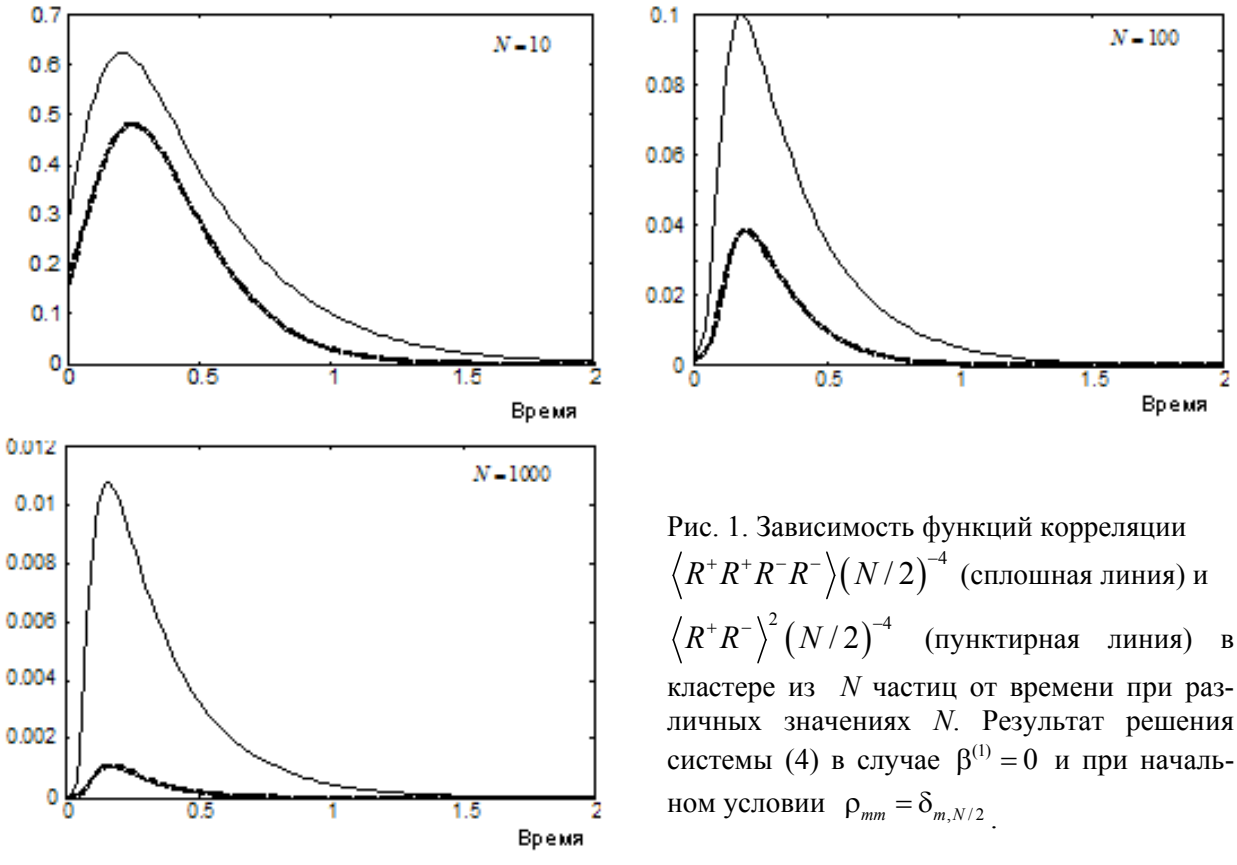


Рис. 1. Зависимость функций корреляции $\left\langle R^+R^+R^-R^-\right\rangle (N/2)^{-4}$ (сплошная линия) и $\left\langle R^+R^-\right\rangle^2 (N/2)^{-4}$ (пунктирная линия) в кластере из N частиц от времени при различных значениях N. Результат решения системы (4) в случае $\beta^{(1)} = 0$ и при начальном условии $\rho_{mm} = \delta_{m,N/2}$.

В этом случае интенсивность СФ пропорциональна величине $\left\langle R^+R^+R^-R^-\right\rangle$. Численные расчеты показывают, что отношение $G=\left\langle R^+R^+R^-R^-\right\rangle\Big/\left\langle R^+R^-\right\rangle^2$ растет с увеличением N, а длительность сигнала СФ пропорциональна величине $\left(\beta^{(2)}N^2\right)^{-1}$. При этом интенсивность сигнала СФ оказывается пропорциональной N^3 (рис. 2). Это объясняется следующим образом. Интенсивность пропорциональна количеству испускаемой энергии и обратно пропорциональна времени высвечивания. Длительность импульса СФ пропорциональна N^{-2} (ибо число возможных пар частиц, которые можно образовать в кластере, пропорционально N^2), а число испущенных фотонов пропорционально $N/2$. Отсюда и получаем, что интенсивность квадрупольного сверхизлучения пропорциональна третьей степени от числа активных частиц. Данные закономерности справедливы и в общем случае $\beta^{(1)}\neq 0$, но при условии, что $\beta^{(1)} \ll \beta^{(2)}N^2$. Тогда соотношение $G>1$ указывает на суперпуассоновскую статистику фотонов, испускаемых на частоте ω_0. В случае $\beta^{(1)} \gg \beta^{(2)}N^2$ будет доминировать сигнал СФ на частоте ω_0, длительность которого пропорциональна величине $\left(\beta^{(1)}N\right)^{-1}$. При этом с увеличением N величина G стремится к 1 и мы получаем обычный сигнал СФ, поле которого находится в когерентном состоянии.

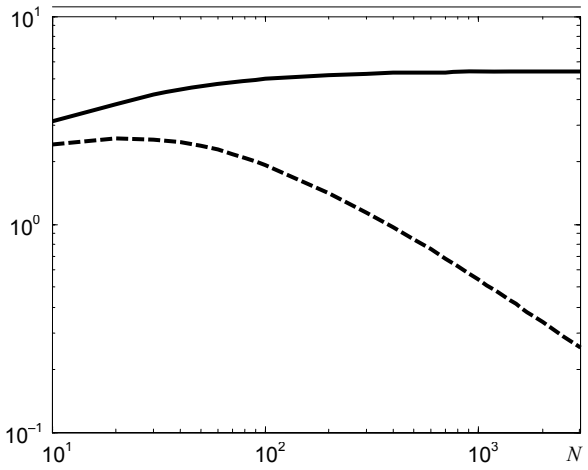


Рис. 2. Пиковые значения корреляционных функций $\left\langle R^+R^+R^-R^-\right\rangle\left(N/2\right)^{-3}$ (сплошная линия) и $\left\langle R^+R^-\right\rangle^2\left(N/2\right)^{-3}$ (пунктирная линия) как функции N. Результат решения системы (4) в случае $\beta^{(1)}=0$ и при начальном условии $\rho_{mm}=\delta_{m,N/2}$.

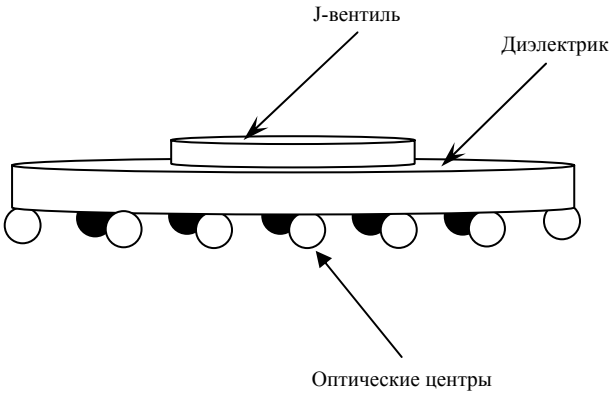


Рис. 3. Схема создания сверхизлучательного кластера в рамках модели Кейна. Оптические центры образуют кольцо, над центром которого расположен J-контакт, управляющий обменным взаимодействием.

3. Заключение

Остановимся на двух примерах использования полученных результатов. Первый связан с оптическим диапазоном. Здесь еще раз следует отметить, что наличие квадратичных слагаемых в гамильтониане (1) соответствует кооперативным процессам поглощения или испускания одного фотона (частотой $2\omega_0$) двумя оптическими центрами. Хорошо известно, что образование пар оптических центров может происходить, например, за счет обменного взаимодействия [12]. Однако суммирование по частицам в выражении (1) означает, что взаимодействие должно быть не только между ближайшими соседями, но и между всеми частицами кластера. С другой стороны, в квантовой информатике уже давно разработан способ управления обменным взаимодействием. Речь идет о модели Кейна полупроводникового квантового компьютера, основу которой составляют так называемые *J*-вентили [13]. Изменение потенциала на *J*-контакте, который располагается между парой кубитов (донорных атомов стабильного изотопа ^{31}P, внедренных в тонкий слой бесспинового изотопа кремния ^{28}Si), влияет на плотность электронного облака между кубитами, определяя, таким образом, константу обменного взаимодействия. Небольшая модификация данной схемы позволяет использовать ее для создания сверхизлучательных кластеров (рис. 3). Суть модификации сводится к циркулярному расположению *N* оптических центров вокруг *J*-контакта, что позволяет, с одной стороны, организовать взаимодействие сразу всех центров между собой, а с другой -- наблюдать сверхизлучение в сосредоточенной системе, размеры которой существенно меньше длины волны излучения. Кроме того, в настоящее время предпринимаются попытки использовать в качестве когерентных оптических излучателей такие кластерные системы как фуллерены. На наш взгляд наблюдение мультипольного СИ в таких системах является весьма перспективным.

Другой пример относится к гамма-диапазону. Здесь перспективным объектом для наблюдения гамма-сверхизлучения являются ядерные сильно-деформированные системы молекулярного типа (ядерные молекулы), возникающие в процессе ядерных реакций (например, ^{12}C+^{12}C, ^{16}O+^{16}O и др.). Ядерными молекулами (см. обзоры [14, 15]) принято называть коллективные состояния ядерной системы, характеризуемые необычно большими спектроскопическими факторами (степенью перекрытия волновых функций) составляющих эту систему фрагментов (ядер или кластеров). Согласно вышеприведенным расчетам, можно ожидать существенного увеличения скорости испускания гамма-квантов в ядерных молекулах по сравнению с составляющими их ядрами, что может оказаться полезным при изучении короткоживущих ядерных коллективных состояний методами ядерной молекулярной спектроскопии. Наконец, следует отметить, что весьма перспективным объектом для формирования мультипольного сверхизлучения являются черные дыры, характеризуемые огромной плотностью ядерной материи и представляющие собой, в сущности, огромную ядерную молекулу. Хорошо известно, что в спектрах гамма-излучения черных дыр всегда присутствуют вторые, третьи и т.д. гармоники основных частот, что можно объяснить образованием ядерных кластеров и испусканием гамма-квантов парами, тройками и т.д. ядер.

Данные исследования были поддержаны грантом Президиума РАН «Квантовая макрофизика».

Литература
1. Dicke R.H.: *Phys. Rev*. **93**, 99-110 (1954)
2. Bonifacio R. Lugiato L.A.: *Phys. Rev.* A **11**, 1507-1521 (1975)
3. Андреев А.В. Емельянов В.И. Ильинский Ю.А.: *УФН* **131**, 653-694 (1980)
4. Gross M. Haroche S.: *Phys. Rep*. **93**, 301-396 (1982)
5. Vrehen Q.H.F. Gibbs H.M.: *Dissipative systems in quantum optics*, pp.111–146. Berlin: Springer-Verlag 1982.
6. Андреев А.В.: *УФН* **160**, 1-46 (1990)
7. Benedict M.G. Ermolaev A.M. Malyshev V.A. Sokolov I.V. Trifonov E.D.: Superradiance: *Multiatomic coherent emission. Bristol-Philadelphia*: IOP Publishing 1996. 326 p.
8. Kopvillem U.Kh. Nagibarov V.R. Samartsev V.V.: *Phys. Lett*. **42A**, 399-400 (1973)
9. Andrianov S.N. Samartsev V.V.: *Laser Physics* **6**, 201-203 (1996)
10. Kalachev A.A. Samartsev V.V. Kharintsev S.S.: *Laser Physics* **15**, 1171 (2005)
11. Dexter D.L.: *Phys. Rev*. **126**, 1962-1967 (1962)
12. Мандель Л. Вольф Э.: *Оптическая когерентность и квантовая оптика*. М.: Физматлит 2000. 896 с.
13. Kane B.E.: *Nature* **393**, 133-137 (1998)
14. Bromley D.A.: *Scientific American* **239**, 42-53 (1978)
15. Betts R.R. Wuosmaa A.H.: *Rep. Prog. Phys*. **60**, 819-861 (1997)

ФЕМТОСЕКУНДНОЕ ФОТОННОЕ ЭХО, ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭХО-ПРОЦЕССОРОВ И ВОЗМОЖНЫЙ РЫНОК ИХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

В.В. Самарцев
Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН, г. Казань
e-mail: samartsev@kfti.knc.ru

Данная статья посвящена обзору экспериментальных и теоретических исследований особенностей формирования фемтосекундного фотонного эха в полимерных пленках, легированных молекулами красителя, при комнатной температуре, анализу возможности использования этих пленок в качестве носителей информации высокотемпературных оптических эхо-процессоров и обсуждению возможного рынка их пользователей.

1. Введение. В этой статье будут изложены результаты фемтосекундных эхо-экспериментов, поставленных в период 2005-2007 годов на пленках поливинилбутирала, легированных молекулами фталлоцианина и находящихся при комнатной температуре [1-7]. Ранее мы уже отмечали недостаток наносекундных эхо-процессоров, состоящий в том, что их носитель информации должен находиться при температуре жидкого гелия для того, чтобы подавить релаксационные процессы с участием тепловых фононов и сохранить фазовую память на временах записи, обработки и считывания информации. И хотя на данном этапе разработок эхо-процессоров уже созданы миниатюрные и удобные оптические криостаты, использование гелия все же создает для пользователя определенные технические трудности. Между тем, существует другой путь решения этой задачи, связанный с переходом в фемтосекундный диапазон дли-

тельностей, позволяющей не использовать в эхо-процессорах оптические гелиевые и азотные криостаты. Поскольку с позиций миниатюризации эхо-процессоров удобны твердотельные носители информации, то исследовавшиеся в [1-7] при комнатной температуре легированные полимерные пленки представлялись перспективными для такой роли. Перспективными носителями информации являются, безусловно, также и полупроводники, а именно, на одном из них (GaAs) был поставлен первый твердотельный двухимпульсный фемтосекундный эхо-эксперимент при комнатной температуре [8]. Беккер с коллегами исследовали кривые спада сигналов первичного фемтосекундного фотонного эха (ПФФЭ) и провели их анализ. Эти кривые спада воспроизведены на рис. 1 и каждая из них соответствует различной плотности электронов проводимости в GaAs.

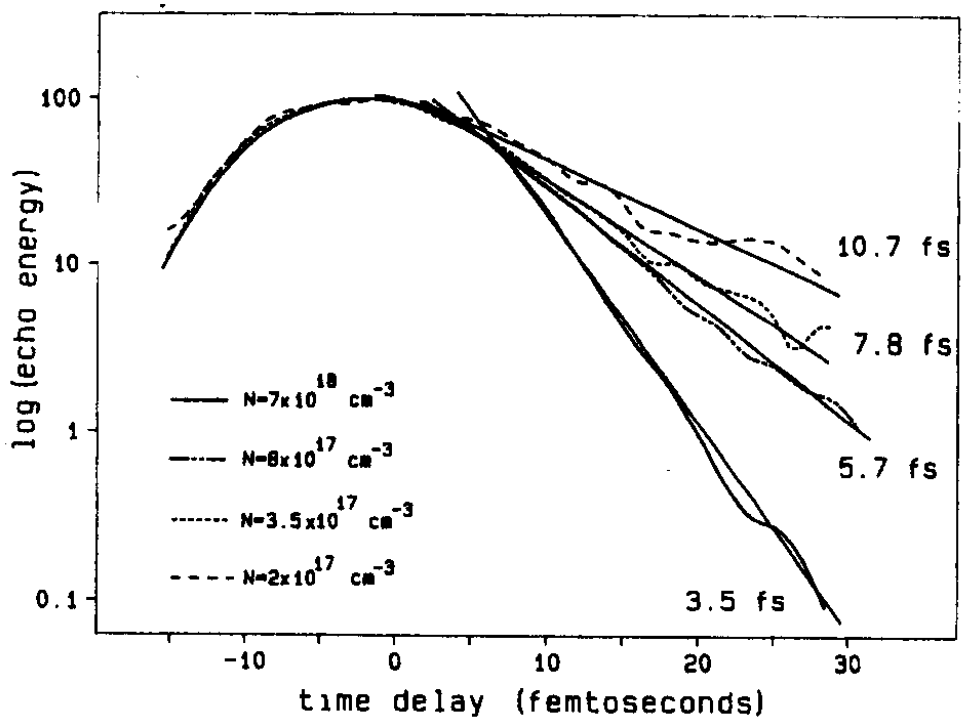


Рис. 1. Кривые спада сигналов ПФФЭ в образце GaAs при комнатной температуре [8]. Справа у каждой кривой указаны значения $T_Э = T_2 / 4$, а слева внизу указана плотность электронов проводимости. Длительность возбуждающих импульсов составляла 6 фс.

Возбуждение этого полупроводника осуществлялось на межзонном переходе ($\lambda \approx 900$нм) импульсами с длительностью 6фс и энергией $\approx$0.1нДж (при размере фокусного пятна 30мкм в диаметре). Плотность носителей составляла 10^{17}-10^{18} см$^{-3}$. Сигнал ПФФЭ детектировался в направлении $\vec{k}_П = 2\vec{k}_2 - \vec{k}_1$ с помощью следящего фотодетектора, защищенного от паразитных сигналов с помощью линзового пространственного фильтра. Анализ кривых спада, проведенный авторами [8], показал, что они носят экспоненциальный характер: $\exp(-\tau / T_Э)$, где $T_Э = T_2 / 4$; T_2- время фазовой дефазировки. В результате были установлены значения T_2 в образцах с разным числом N носителей (т.е. электронов проводимости): T_2=14фс при $N = 7 \cdot 10^{18} см^{-3}$; T_2=23фс при $N = 8 \cdot 10^{17} см^{-3}$; T_2=31фс при $N = 3{,}5 \cdot 10^{17} см^{-3}$; T_2=43фс при $N = 2 \cdot 10^{17} см^{-3}$.

Другой важный эксперимент был поставлен А.К. Ребане с коллегами [9] на пленке поливинилбутираля, легированной молекулами красителя, при высоких температурах (вплоть до 240 К). Именно на этом образце были поставлены фемтосекундные эхо-эксперименты [1-7], о результатах которых пойдет речь ниже.

2. Фемтосекундный эхо-спектрометр. Общий вид фемтосекундного эхо-спектрометра коллективного пользования КФТИ КазНЦ РАН приведен на рис. 2. Для возбуждения использовалась лазерная система «Avesta Ltd» (г. Троицк), состоящую из титан-сапфирового лазера (модель «TISSA 100»), накачиваемого аргоновым лазером, и титан-сапфирового усилителя. Выходная мощность титан-сапфирового лазера составляла 600 мВт при мощности накачки 5 Вт. Длительность импульсов на выходе из лазера была равной 38 фс при частоте повторения 100 МГц. Для усиления фемтосекундных импульсов использовался типичный шестипроходной титан-сапфировый усилитель, накачиваемый второй гармоникой YAG:Nd – лазера с энергией в 9 мДж. Эффективность усилителя достигала 10^5, а энергия усиленного импульса была 600 мкДж при длительности в 65 фс. Частота повторения таких импульсов после усиления составляла 50Гц и определялась частотой накачки усилителя. Спектральные характеристики лазерных импульсов и эхо-сигналов контролировались полихроматорами, а их длительность – автокоррелятором.

Рис. 2. Фемтосекундный эхо-спектрометр, использовавшийся в экспериментах [1-6].

Ниже, на рис. 3, представлена блок-схема этого эхо-спектрометра. Наряду с автокоррелятором, использовался еще один режим измерения длительности эхо-сигналов, получивший в работе [10] название метода апконверсии и требующий для своей реализации использования нелинейного кристалла (BBO) для генерации второй гармоники

(2ω) под действием эхо-импульса и задержанного (на время τ') референтного импульса (на частоте ω).

Для получения двух и трех разнесенных во времени фемтосекундных импульсов использовались три линии задержек, из которых они направлялись на одну и ту же область образца, находящегося при комнатной температуре. Под действием разнесенных во времени фемтосекундных импульсов образец (в условиях сохранения фазовой памяти) высвечивал в направлениях $\overrightarrow{k_п}$ и $\overrightarrow{k_с}$ сигналы ПФФЭ и СФФЭ, которые детектировались фотоприемниками. Типичная фотография «следов» на фотопленке, остановленных возбуждающими импульсами , более слабыми сигналами ПФФЭ и СФФЭ, а также сигналами самодифракции, приведена на Рис. 4.

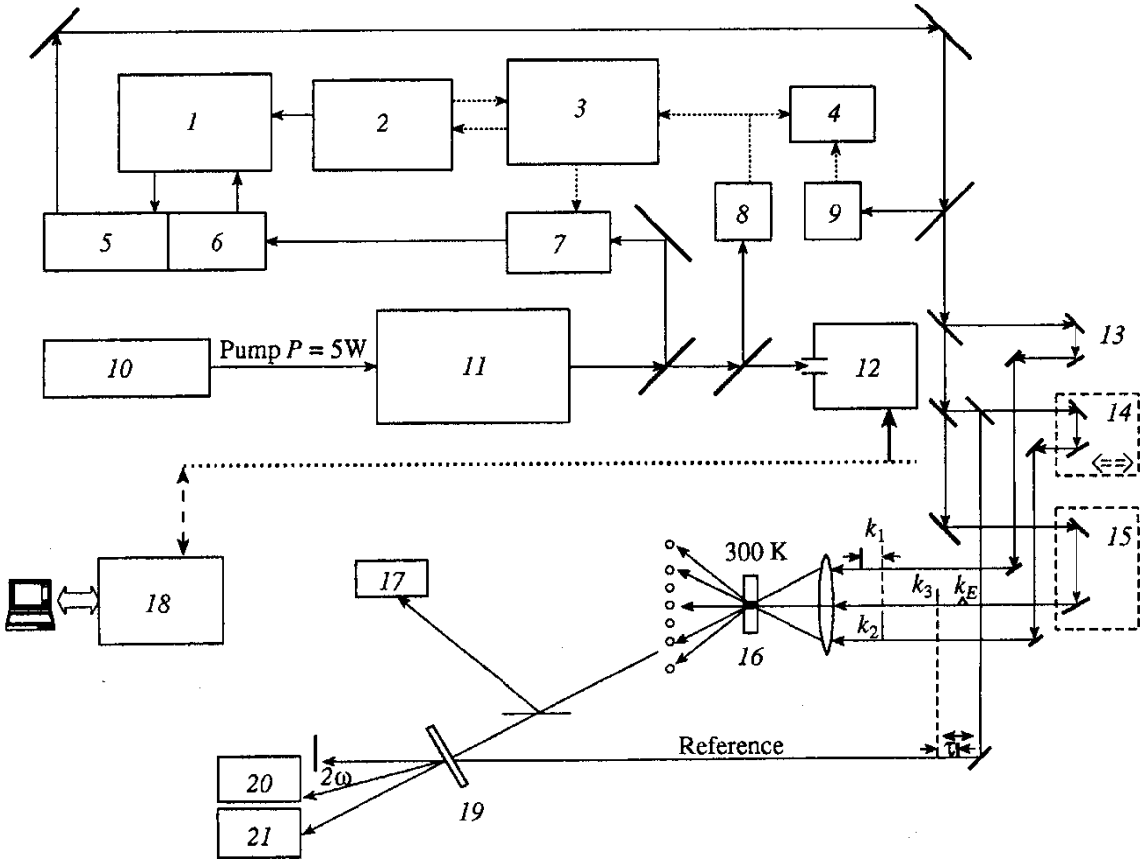


Рис. 3. Экспериментальная установка для исследования фемтосекундных эхо-сигналов в легированных полимерных пленках при комнатной температуре [6]:
1 – титан-сапфировый усилитель; 2 – накачивающий YAG-лазер; 3 – синхронизатор;
4 – осциллограф; 5 – компрессор; 6 – стретчер; 7 – ячейка Поккельса;8, 9 – PIN-диоды;
10 –накачивающий аргоновый лазер; 11- фемтосекундный титан-сапфировый лазер;
12 – полихроматор; 13, 14 и 15 – оптические линии задержек; 16 – образец;
17 – полихроматор; 18 – система сбора и обработки результатов эхо-эксперимента;
19 – нелинейный кристалл (BBO); 20 и 21 – фотоприемники.

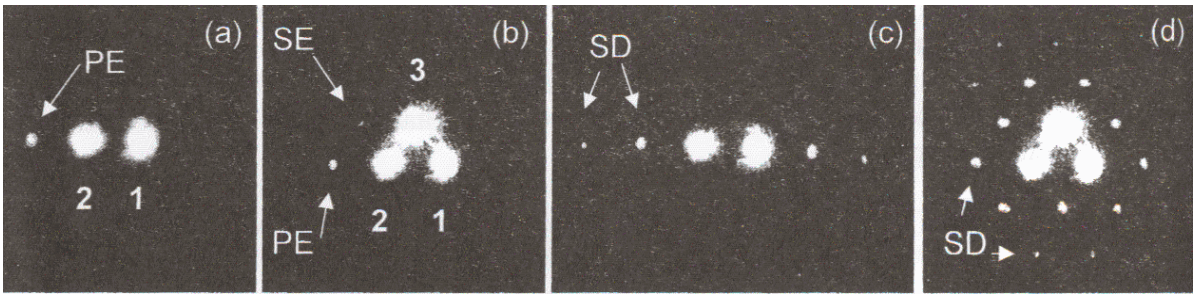


Рис. 4. Фотографии «следов» на фотопленке (или экране) оставленных возбуждающими импульсами (сильные «следы 1, 2, 3» большего диаметра) и фемтосекундными эхо-сигналами: ПФФЭ – слабый «след» справа на фотографии «a» (PE) и верхний слабый «след» снизу (SE) на фотографии «b»; сигналы СФФЭ – верхний слабый «след» справа на фотографии «b» (SE); сигналы самодифракции (SD) различного порядка – слабые «следы» на фотографиях «c» и «d».

3. Экспериментальные результаты. Прежде, чем приступить к обсуждению полученных экспериментальных результатов, остановимся на оптических спектрах поглощения молекул фталоцианина в поливинилбутирале при гелиевой и комнатной температурах. Они приведены на Рис. 5. Неоднородная ширина линии S_0-S_1 – энергетического перехода составляла 22нм (или 370см$^{-1}$) и скрывала как БФЛ, так и ФК. Возбуждение осуществлялось на длине волны 793нм. Концентрация молекул фталоцианина марки HW1009 составляла 10^{-3}-10^{-4} моль/л. Структура этой молекулы приведена на Рис. 6.

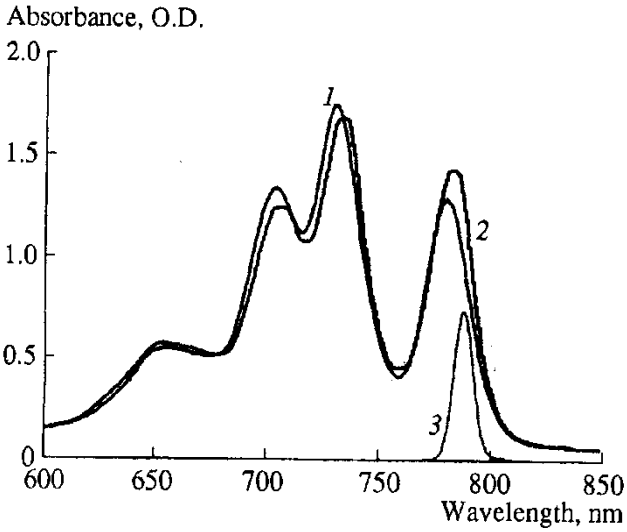


Рис. 5. Оптические спектры поглощения молекул фталоцианина в аморфной матрице поливинилбутираля при комнатной температуре – 1 [6] и при температуре жидкого гелия – 2 [9]. Спектр 3 является спектром возбуждающих импульсов.

Неоднородная ширина линии S_0-S_1 – энергетического перехода составляла 22нм (или 370см$^{-1}$) и скрывала как БФЛ, так и ФК. Возбуждение осуществлялось на длине волны 793нм. Концентрация молекул фталоцианина марки HW1009 составляла 10^{-3}-10^{-4} моль/л. Структура этой молекулы приведена на Рис. 6. Такая сложная структура примесной молекулы заставляет предположить о большом числе ее нормальных колебаний при высоких температурах.

В экспериментах [4, 6] были исследованы кривые спада сигнала ПФФЭ – при азотной и гелиевой температурах и сигнала СФФЭ – при гелиевой температуре образца. Здесь мы приведем кривые спада фемтосекундных эхо-сигналов при комнатной температуре, поскольку при азотной температуре их исследовал Ребане с коллегами [9].

Эти кривые спада в логарифмической шкале изображены на Рис. 7. Позднее мы покажем, что эти спады обязаны случайному взаимодействию молекул фталоцианина с ансамблем квазилокализованных низкочастотных колебательных мод (НЧМ) аморфной матрицы поливнилбутираля.

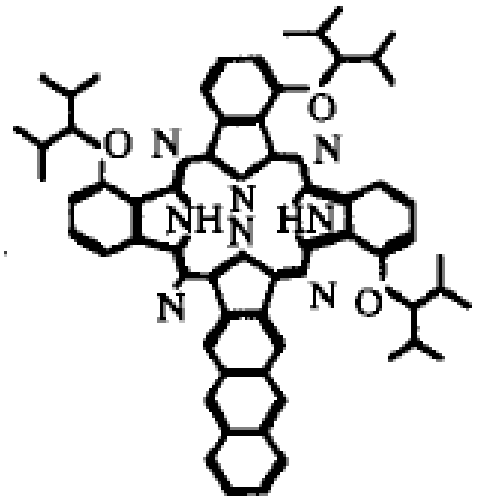


Рис. 6. Структурная формула молекула фталоцианина.

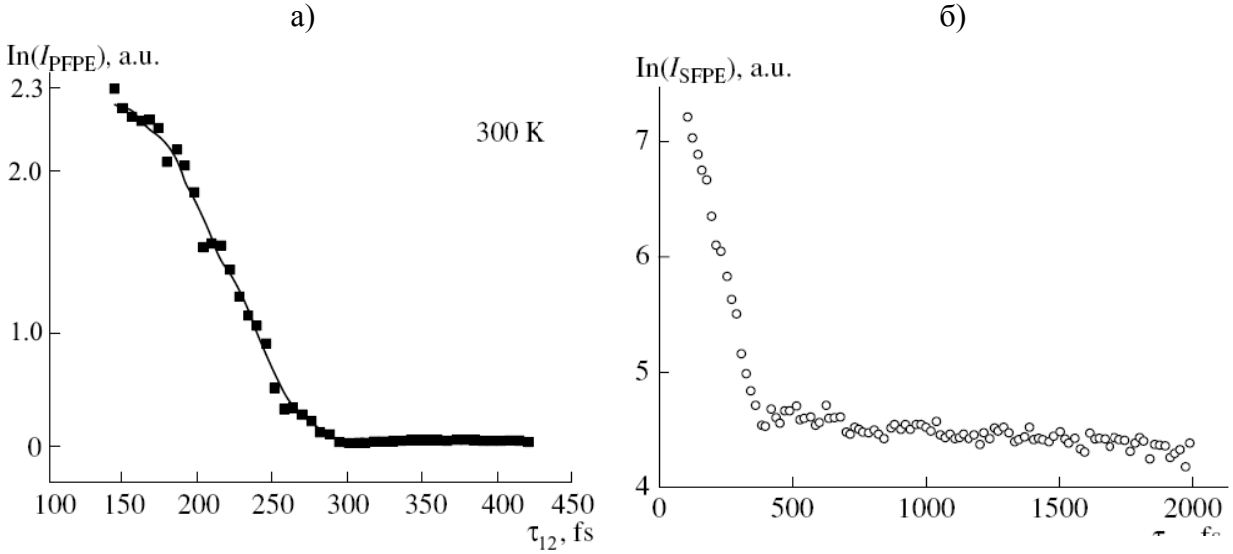


Рис. 7. Кривые спада $I_{ПФФЭ}(\tau_{12})$ и $I_{СФФЭ}(\tau_{23})$ сигналов первичного (а) и стимулированного (б) фемтосекундного фотонного эха [6] в логарифмической шкале в пленке поливинилбутираля, легированной молекулами фталоцианина при T=300K. I – интенсивность соответствующих эхосигналов; τ_{12} – интервал времени между первым и вторым импульсами; τ_{23} – интервал времени между вторым и третьим импульсами. Кривая спада $I_{СФФЭ}(\tau_{23})$ снята при постоянном значении $\tau_{12} = 100фс$.

Эти кривые спада не могут быть корректно описаны с помощью хорошоизвестных экспоненциальных множителей:

$$I_{ПФФЭ} \sim exp\left\{\frac{-4\tau_{12}}{\tau_2}\right\} \quad \text{и} \quad I_{СФФЭ} \sim exp\left\{\frac{-4\tau_{12}}{\tau_2} - \frac{2\tau_{23}}{\tau_1}\right\},$$

где T_1 и T_2 – времена продольной и поперечной необратимых релаксаций. Но все же воспользуемся ими для грубой, ориентировочной оценки параметров T_1 и T_2. Такая оценка при температуре 300К дала значения: $T_1 = 1120$ фс и $T_2 = 200$ фс. Заметим, что время оптической дефазировки T_d определяется формулой: $1/T_d = 1/2T_1 + 1/T_2$. Корректная теория сигналов фемтосекундного фотонного эха, развитая в работе [11] (и монографии [12]), показывает, что в случае слабой электрон-фононной связи временный спад фемтосекундных эхо-сигналов может быть описан следующими диссипационными множителями:

$$I_{ПФФЭ} \propto \exp\left[3\,\mathrm{Re}\, f(\tau_{12},T) - 3f(0,T)\right], \quad (1)$$

$$I_{СФФЭ} \propto \exp\left[2\,\mathrm{Re}\, f(\tau_{12},T) - 2f(0,T)\right], \quad (2)$$

где $f(\tau_{12},T)$ – функция оптической дефазировки, обязанная квадратичному франк-кондоновскому взаимодействию примесных центров с аморфной матрицей; $f(0,T)$ – фактор Пекара-Хуанга, известный нам при температуре 77К, и неизвестный при температуре 300К. Эти диссипационные множители должны описывать на Рис. 7а «быстроспадающие» участки кривых спада. В принципе, точка на кривых спада (при конкретном τ_{12} на Рис. 7а и конкретном τ_{23} на Рис. 7б), где кончается быстрый спад и начинается медленный спад, соответствует нулевому значению функции $f(\tau_{12},T)$. Это дает возможность оценить значение $f(0,T)$ при температуре 300 К. Так, из кривой спада ПФФЭ получаем:

$$3\left[f(0,T) - f(\tau_{12},T)\right] = 4\frac{\Delta\tau_{12}}{T_2}, \quad (3)$$

где $f(\tau_{12},T) = 0$, а $\Delta\tau_{12}$ - разброс значений τ_{12}, на котором произошло падение $f(\tau_{12},T)$ до нуля. При оценке воспользуемся (из Рис. 7а) значениями $\Delta\tau_{12}$=280фс – 130фс = 150 фс; T_2=200фс. Тогда получаем: $f(0,T=300K) \approx 1$. Теперь обратимся к кривой спада СФФЭ (Рис. 7б). В этом случае имеем:

$$2\left[f(0,T) - f(\tau_{12},T)\right] = 4\frac{\tau_{12}}{T_2} + 2\frac{\Delta\tau_{23}}{T_1}, \quad (4)$$

где τ_{12}=100фс, а $\Delta\tau_{23}$ – разброс значений, на котором функция $f(\tau_{12},T)$ упала до нуля. При оценке будем использовать значения: $\Delta\tau_{23}$=400фс – 130фс = 270фс; T_1=1120фс. В итоге имеем: $2\left[f(0,T) - f(\tau_{12},T)\right] = 2{,}48$, откуда следует при $f(\tau_{12},T) = 0$, фактор Пекара-Хуанга $f(0,T=300K) = 1.24$. Таким образом, нам удалось оценить, что при комнатной температуре нашего образца фактор Пекара-Хуанга лежит в пределах: 1-1.24, т.е. электрон-фононная связь существенно возрастает по сравнению с электрон-фононной связью при температуре 77К, где фактор Пекара-Хуанга равен 0.67 (случай слабой электрон-фононной связи).

В работах [4-6] сделано утверждение, что оптическая дефазировка в легированных полимерных образцах с временем $T_d \approx 2\cdot10^{-13}$ с при комнатной температуре, скорее всего, обязана случайному взаимодействию примесных молекул с НЧМ аморфной матрицы полимера. Нет ли независимых (от работ [4-6]) эхо-экспериментов, которые могли бы свидетельствовать о доминирующей роли взаимодействия примесей с НЧМ аморф-

ной матрицы в процессе временного спада сигналов фемтосекундного эха? Такой эксперимент был поставлен А.К. Ребане с коллегами [9] на образце, идентичном используемому в [4-6]. Обратимся к Рис. 8 температурную зависимость однородной ширины $S_0 \to S_1$ спектральной линии, измеренной методом СФФЭ.

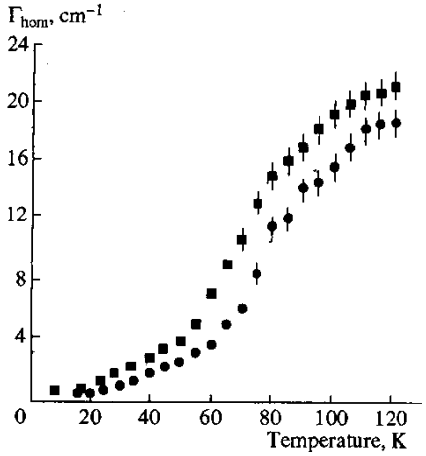


Рис. 8. Температурная зависимость однородной ширины S_0-S_1-линии поглощения легированной полимерной пленки, снятая методом фемтосекундного СФЭ [9]. Каждая точка соответствует одиночной лазерной вспышке, причем кружочки соответствуют случаю, когда частота повторения вспышек более 1 минуты, а квадратики – скорости повторения вспышек – 1кГц.

Согласно [13], однородная ширина линии Γ_{hom}, обязанная взаимодействию примесных центров с НЧМ аморфной матрицы равна:

$$\Gamma_{LFM} = \varpi \frac{\exp(-\Delta E / k_B T)}{[1-\exp(-\Delta E / k_B T)]^2}, \tag{5}$$

где ΔE – энергия НЧМ, k_B – постоянная Больцмана; T – температура; ϖ – константа квадратичного франк-кондоновского взаимодействия. Это выражение может быть приближенно записано в виде

$$\Gamma_{LFM} = \varpi \frac{k_B^2}{\Delta E^2}\left[T^2 - \frac{\Delta E}{k_B}T\right]. \tag{6}$$

Из него при значениях $\Delta E = 30 см^{-1} = 60 \cdot 10^{-16} эрг$, заимствованного из [14], и $k_B = 1.38 \cdot 10^{-16} эрг / K$, получаем, что температурная зависимость однородной ширины линии $\Gamma_{LFM}(T)$, в основном, определяется первым членом в квадратной скобке формулы (6). Таким образом, температурная зависимость однородной ширины является параболической, в полном согласии с поведением экспериментальной температурной зависимости на Рис. 8, а также с выводами теории [11]. Из этого графика при температуре 120К имеем: $\Gamma_{\text{hom}} = 21 см^{-1}$, что позволяет нам оценить значение константы взаимодействия $\varpi = 70 Гц$, которое согласуется со значениями, приведенными в [14],. При высоких температурах, где наблюдается отклонение от параболической зависимости, должна быть использована уточненная «логарифмическая» формула [12]:

$$\Gamma_{LFM}(T) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d\nu_{ph}}{2\pi} \ln\left\{1 + 4\varpi^2 S^{(в)} S^{(о)} \frac{\exp(-\Delta E / k_B T)}{[1-\exp(-\Delta E / k_B T)]^2}\right\}, \tag{7}$$

где ν_{ph} - частота фононов; $S^{(в)}$ и $S^{(о)}$ - взвешенные на силу электрон-фононного взаимодействия спектральные функции фононных возбуждений в основном («о») и возбужденном («в») электронном состояниях.

Итак, мы убедились, что спад сигналов ПФФЭ и СФФЭ с ростом временных интервалов τ_{12} и τ_{23} обязан случайному взаимодействию примесных молекул с НЧМ. НЧМ можно рассматривать как «быстрые» возбуждения, приводящие к ультрабыстрой

модуляции частоты электронного перехода примесной молекулы. Такая модуляция принципиально неразрешима никакими экспериментальными методами, и она проявляется в оптическом спектре в виде однородного уширения, а в спектре одиночной примесной молекулы в форме частотного сдвига. Специалисты по эхо-спектроскопии примесных аморфных сред называют этот процесс чистой оптической дефазировкой. В аморфной среде каждая примесная молекула имеет свое индивидуальное локальное окружение и, как следствие, свою отличающуюся частоту электронного перехода, внося индивидуальный вклад в неоднородное уширение, а вся неоднородно-уширенная линия представляет собой единственный «спектральный пакет». Случайное взаимодействие примеси с НЧМ приводит к дрейфу и прыжкам спектров отдельных примесных молекул внутри этого единственного «спектрального пакета». Именно это взаимодействие вносит доминирующий вклад в однородное уширение линии при высоких температурах. Вопрос о том, что называть «спектральной диффузией» и как ее отличить от дефазировки, до сих пор остается открытым. Бай и Фауер [15] называют спектральной диффузией все процессы однородного уширения линии, проявляющиеся дополнительно к ширине, измеренной методом ПФФЭ, но этот дополнительный вклад экспериментально обнаружен лишь при температурах, меньших 4К.

Затем были исследованы спектры сигналов ППФЭ и СФФЭ на фоне спектра возбуждающих импульсов. Они приведены на Рис. 9.

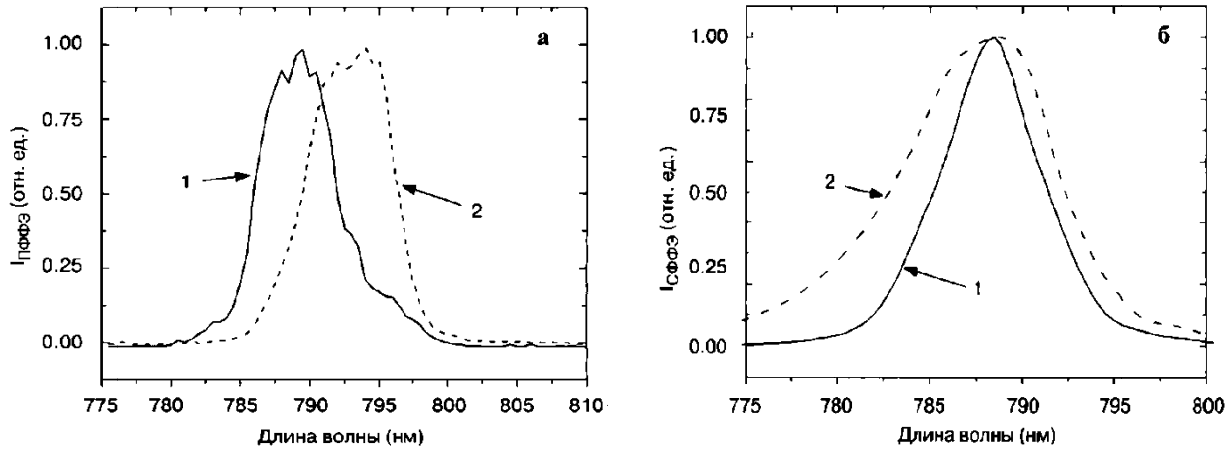


Рис. 9. Спектры сигналов ПФФЭ(а) и СФФЭ(б) на фоне спектра импульсов при комнатной температуре образца [6]. Кривая 1 соответствует спектру эхо-сигнала, а кривая 2 – спектру импульса.

На рис. 9а показано, что этот сдвиг равен 3.5-4нм, т.е. такой большой сдвиг нельзя полностью объяснить за счет неколлинеарности возбуждающих пучков. Возможно, такой большой сдвиг можно будет объяснить за счет того, что формирование ПФФЭ осуществлялось с участием фононного крыла линии поглощения.

Из этого рисунка следует, что спектр снятых фемтосекундных эхо-сигналов (и, прежде всего – ПФФЭ) сдвинут в коротковолновую сторону по отношению к спектру импульсов. При рассмотрении фемтосекундной угловой эхо-спектроскопии [16] отмечалось, что при наличии угла α между $\overrightarrow{k_1}$ и $\overrightarrow{k_2}$ всегда имеет место антистоксов сдвиг спектра ПФФЭ по отношению к спектру импульсов. Там же было, на основании эксперимента, показано, что максимальное значение этого сдвига не превышает 2нм.

4. Высокотемпературный фемтосекундный эхо-процессор и возможный рынок его пользователей. В начале работы акцентировалась одна из целей проводимых высокотемпературных фемтосекундных эхо-экспериментов – использовать легированные молекулами красителя полимерные пленки в качестве носителя информации высокотемпературных эхо-процессоров. В качестве одной из возможных схем такого фемтосекундного эхо-процессора (ФЭП) может быть блок-схема, изображенная на Рис. 10. [17].

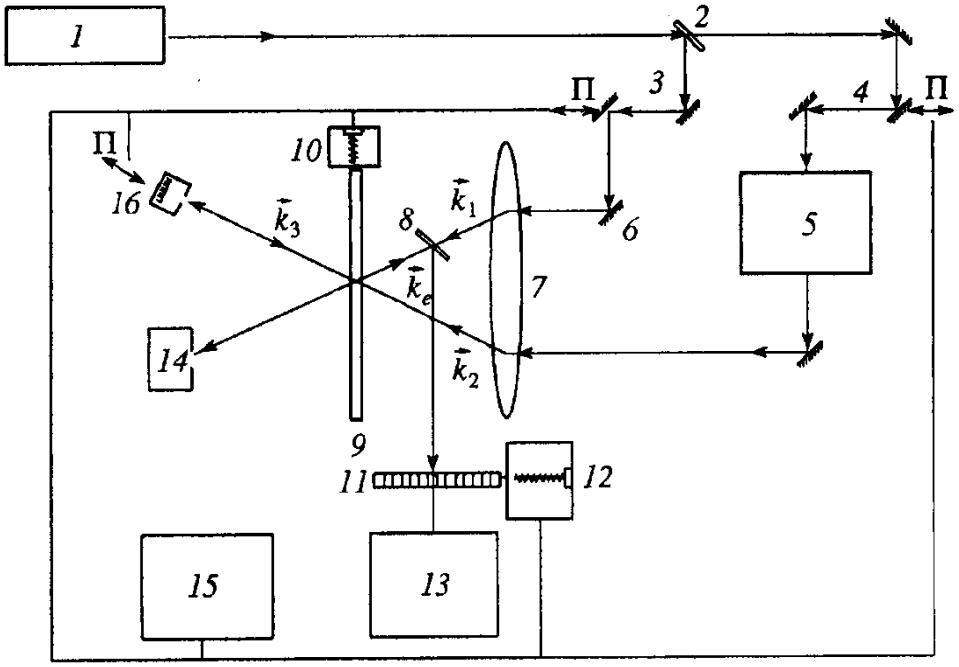


Рис. 10. Возможная схема фемтосекундного эхо-процессора (ФЭП)[76]:
1 – фемтосекундный лазер; 2 – светоделительная пластина; 3, 4 и 16 – оптические линии задержек; 5 – блок кодирования информации (в спектре сигналов); 6 – глухое зеркало; 7 – фокусирующая линза; 8 – светоделительная пластина; 9 – носитель информации (образец); 10 и 12 – шаговые двигатели; 11 – матрица лавинных фотодиодов; 13 – устройство обработки информации; 14 – автокоррелятор для контроля за длительностью импульсов; 15 – блок управления шаговыми двигателями и пьезоустройствами П (при линиях задержек 3, 4 и 16).

Илзучение фемтосекундного лазера 1 направляется на светоделительную пластину 2, с помощью которой фемтосекундный импульс попадает в две различные линии задержек 3 и 4. Из линии задержек 3 фемтосекундный импульс с помощью системы глухих зеркал направляется к линзе 7, которая фокусирует его в направлении $\vec{k_1}$ на определенную область носителя информации (легированной полимерной пленки) 9. В свою очередь, фемтосекундный импульс из линии задержек 4 с помощью глухого зеркала попадает в блок кодирования информации в спектре сигналов 5 для кодирования информации, а из него с помощью глухого зеркала направляется к линзе 7, фокусирующей этот задержанный (на интервал τ) фемтосекундный импульс в направлении $\vec{k_2}$ на ту же область носителя информации 9, пройдя который он попадает в третью линию задержек 16, из которой через интервал времени τ_1 выходит третий (считывающий) импульс в направлении $\vec{k_3}$, обратном $\vec{k_2}$.

В свою очередь, фемтосекундный импульс из линии задержек 4 с помощью глухого зеркала попадает в блок кодирования информации в спектре сигналов 5 для кодирования информации, а из него с помощью глухого зеркала направляется к линзе 7, фокусирующей этот задержанный (на интервал τ) фемтосекундный импульс в направлении $\overrightarrow{k_2}$ на ту же область носителя информации 9, пройдя который он попадает в третью линию задержек 16, из которой через интервал времени τ_1 выходит третий (считывающий) импульс в направлении $\overrightarrow{k_3}$, обратном $\overrightarrow{k_2}$. Известно, что в режиме возбуждения резонансная среда (носитель информации 9) высвечивает сигнал СФФЭ в направлении $\overrightarrow{k_c}=-\overrightarrow{k_1}$, который несет в себе информацию, закодированную во втором импульсе. Этот сигнал СФФЭ с помощью светоделительной пластины 8 направляется в матрицу лавинных фотодетекторов 11, а из нее – в устройство обработки информации 13. Положение ячеек матрицы фотодетекторов относительно направления распространения СФФЭ регулируется с помощью шагового двигателя 12. Управление этим двигателем, а также пьезоустройствами П (меняющими временные интервалы между импульсами в оптических линиях задержек 3, 4 и 16) осуществляется с помощью блока 15. Контроль за длительностью фемтосекундных импульсов и сигналов осуществляется с помощью автокоррелятора 14. Отметим, что предложенная схема ФЭП способна фукционировать при комнатной температуре в отсутствие оптического криостата.

В ближайшее время, большинство оптических эхо-экспериментов будет перенесено в фемтосекундный диапазон длительностей. Уже сейчас эхо-экспериментами в России занимается около десяти экспериментальных групп, а с учетом стран СНГ – около двадцати. Однако в ближайшее время такие установки будут востребованы во всех крупных университетах России и ведущих институтах РАН. Оценки показывают, что необходимый рынок пользователей фемтосекундыми эхо-процессорами может достигать тысячи.

Литература

[1] Konturov S.V. Lobkov V.S. Salikhov K.M. et. al. *Laser Phys. Lett*. v. 2, P. 21 (2005)
[2] Lobkov V.S. Salikhov K.M. Samartsev V.V. et. al *Laser Phys. Lett.* v. 3, P. 26 (2006)
[3] Lobkov V.S. Salikhov K.M. Samartsev V.V. et. al. *Proc. SPIE*, v. 6259, P. 625914 (2006)
[4] Lobkov V.S. Leontiev A.V. Salikhov K.M. et. al. Laser *Phys. Lett*. v. 3, P. 485 (2006)
[5] Зуйков В.А. Лобков В.С. Салихов К.М. и др. *Изв. РАН, сер. физ*. т. 70, С. 473 (2006)
[6] Lobkov V.S. Leontiev A.V. Salikhov K.M. et. al. *Laser Phys.* v. 17, P. 332 (2007)
[7] Lobkov V.S. Petrushkin S.V. Salikhov K.M. et. al. *Laser Phys*. v. 17, P. 647 (2007)
[8] Becker P.C. Fragnito H.L. Shank C.V. et. al. *Phys. Rev. Lett.* v. 61, P. 1647 (1988)
[9] Rebane A.K. Gallus J. O. llikainen O. *Laser Physics*, v. 12, P. 1126 (2002)
[10] Shah J. *IEEE J.* v. QE-24, P. 276 (1988)
[11] Осадько И.С. Сташекю М.В. *ЖЭТФ*, т. 106, С. 535 (1994)
[12] Осадько И.С. *Селективная спектроскопия одиночных молекул. М.: Физматлит*, (2000)

[13] Вайнер Ю.Г. *Динамика неупорядоченных молекулярных твердотельных сред: исследования методами фотонного эха и спектроскопии одиночных молекул. Дис. доктора физ.-мат. наук. ИС РАН: Троицк, Моск. обл*. (2005)
[14] Наумов А.В. Вайнер Ю.Г. *Изв. РАН, сер. физ.* т. 70, С. 470 (2006)
[15] Bai Y.S. Fayer M.D. Phys. Rev. B, v. 37, P. 10440 (1988)
[16] Зуйков В.А. Калачев А.А. Самарцев В.В. Ребане А.К. Вилд У.П. *Оптика и спектр. т. 84,* С. 786 (1998)
[17] Самарцев В.В. *Изв. РАН, сер. физ*. т. 72, С. 53 (2008)

SELECTIVE MULTI-MODES QUANTUM MEMORY BASED ON THE PHOTON ECHO

S.A. Moiseev[**], N.M. Arslanov[*]

[*]*Kazan Physical-technical Institute of Russian Academy of Sciences*
Sibirsky Trakt 10/7, Kazan, 420029, Russia
[**]*Kazan State University, Kremlevskaya 18, Kazan, 420008, Russia*
samoi@yandex.ru

1. Introduction

Recent development in quantum information science challenges new problems in quantum and coherent optics [1, 2]. Realization of an efficient quantum memory (QM) for single photons and intensive specifically quantum light fields is one of such problems attracting a considerable attention in the last few years [2-15]. A large progress in a realization of the universal QM has been achieved recently due to the using of coherent multi-atomic systems (CMAS) where the effective coupling between photon and resonant atomic systems increases as $\sim N^{1/2}g$ (g is a coupling constant between photon and atom, N is a number of active atoms) [3-6]. The QM techniques exploit the internal quantum states of atoms for storage of the quantum light states for manipulation of the light states using additional control laser fields. First two proposed QM based on CMAS use well-known Raman scheme [3, 4] or near adiabatic condition of the interaction in a condition of electromagnetically induced transparence effect [5]. The two quantum memory techniques have been demonstrated recently in experiments with classical light fields [9, 10] and for some particular quantum states of light [11, 12]. Realization of the high QM efficiency is still an important goal of present researches.

Photon echo (PE) technique has been also proposed for QM [6, 7, 13, 14]. The PE based QM is realized in the optically dense resonant atomic systems so that the incoming Data light field is absorbed completely by the resonant atoms. Retrieval of the light field is realized due to rephasing of the atomic coherence through the controllable reversibility of inhomogeneous broadening (CRIB) of the resonant atomic line (i.e. atomic detuning of j-th atom is changed $\Delta_j^{out} \to -\Delta_j^{in}$ at the photon echo emission). The PE technique opens interesting new possibilities for the QM of short and multi-pulses light fields. First successful experiments for PE based QM has been demonstrated recently [13]. Authors of the work [13, 14] use Stark effect for controlled inversion of the inhomogeneous broadening. In the original proposal [6, 7, 8], the PE signal is emitted in the backward –z direction with respect to the original Data light pulse propagation. However a simple switching of the electric field gradient provides also a

PE signal emission but in a forward direction ("forward" geometry) where the original Probe light field propagates [13]. Then it was found theoretically [16, 17, 18] that the forward scheme of PE based QM [13] provides also an ideal reconstruction of the original Probe pulse envelope in the limit of high enough optical density. In this work we generalize the forward scheme to a case of multi-modes QM and for a long-lived storage. In the next section we outline the proposed QM scheme and describe the appropriate Maxwell-Bloch equations. Then we analyze the analytical solution for the irradiated echo field. Finally we demonstrate the specific properties of the multi-modes QM and briefly describe one more scheme where the multi-mode QM can be also realized.

2. Basic equations

We evaluate the interaction of weak Data light pulses with resonant atomic transition 1-2. Assuming a small pulse area of the Data light fields we ignore the population of excited atomic level that leads to the following linear Maxwell-Bloch equations

$$(\tfrac{\partial}{c\partial t}+\tfrac{\partial}{\partial z})\hat{E}_1(t,z)=i\pi(g_o^*/c)\sum\nolimits_j \hat{S}_{12}^j(t)\delta(z-z_j)\,, \qquad (1)$$

$$\tfrac{\partial}{\partial t}\hat{S}_{12}^j=(i\chi z_j+i\delta\omega_j(t))\hat{S}_{12}^j+ig_o\hat{E}_1(t,z_j), \qquad (2)$$

where atomic detuning $\Delta=\chi z$ is determined by the atomic spatial coordinate z, $\hat{E}_1(t,z)$ and $\hat{S}_{12}^j(t)$ are slowly varied electric field and atomic operators, $g_o=p_{12}\sqrt{\omega_{21}/(2\varepsilon_o\hbar S)}$ is a constant of photon-atom interaction, n_o is an atomic density, $\hbar$ is the Planck's constant, p_{12} is a dipole moment on the resonant atomic transition 1-2, S is a cross section of light beams. We assume that the atoms stay on the ground level in the solid state medium where the fluctuation of atomic frequency $\delta\omega_j(t)$ is determined by the local fluctuations of electrical (magnetic) fields. Let as assume that the averaging over the atomic fluctuations is determined by the simplest exponential factor $\langle\exp\{-i\int_{\tau_o}^{\tau_1}d\tau\delta\omega(\tau)\}\rangle=\exp\{-\gamma_{21}(\tau_1-\tau_o)\}$ (there are more general approaches for the averaging over the phase fluctuations [19], however analysis of this issues for the QM problems will be subject of further researches).

By introducing the collective atomic operator $\hat{r}_{nm}(t,z)=i(n_oS)^{-1/2}\sum_j\hat{S}_{nm}^j(t)\delta(z-z_j)$, field amplitude $\hat{A}_{in}(t,z)=g_o(n_oS)^{1/2}\hat{E}_{in}(t,z)$ and taking into account quantum averaging $r_{mn}(\tau,z)=<\hat{r}_{mn}(\tau,z)>$, $A_{in}^*(\tau,z)=<\hat{A}_{in}^+(\tau,z)>$, $\mathrm{A_{in}}(\tau,\mathrm{z})=<\mathrm{A_{in}}(\tau,\mathrm{z})>$, we rewrite equations (1), (2) in new variables $\tau=t-z/c$ and $z'=z$:

$$\tfrac{\partial}{\partial \mathrm{z}}\mathrm{A_{in}}(\tau,\mathrm{z})=\beta(\mathrm{z})\mathrm{r_{12}}(\tau,\mathrm{z}), \qquad (3)$$

$$\tfrac{\partial}{\partial\tau}\mathrm{r_{12}}(\tau,\mathrm{z})=(\mathrm{i}\chi\mathrm{z}-\gamma_{21})\mathrm{r_{12}}(\tau,\mathrm{z})-\mathrm{A_{in}}(\tau,\mathrm{z})\,, \qquad (4)$$

where γ_{mn} is a phase relaxation constant on the atomic transition $|m\rangle\leftrightarrow|n\rangle$, $\beta(z)=\pi n_o(z)S|g_o|^2/c$, we have also assumed a constant atomic density $n_o(z)=S^{-1}\sum_j\delta(z-z_j)$, $r_{12}(\tau,z)$ describes a polarization of atomic medium; it is also worth to note that $\alpha=2\beta/\gamma_{21}$ is a resonant absorption coefficient (below we assume a constant atomic density $\beta(z)=\beta,\alpha(z)=\alpha,n_o=n_o(z)$). Let us the atomic system occupies a volume within longitudinal coordinates $z_o=-L/2\le z\le L/2$ and incoming Data light field contains N pulses with different carrier frequencies ω_n (Temporal scheme of the experiment is depicted in Fig.1):

$A_{in}(\tau, z = z_o = -L/2) = \sum_{n=1}^{N} A_{n,in}(\omega_n, t - t_{n,o}; z_o)$ (where $t_{n,o}$ is a incoming time of n-th Data light pulse).

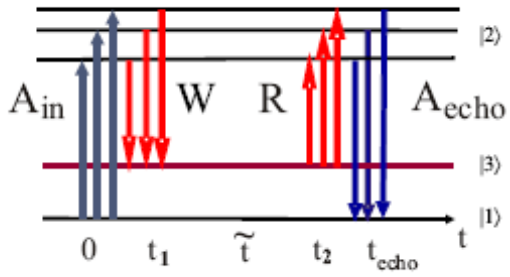


Fig. 1. Left blue arrows correspond to the Data light pulses; red arrows are the writing and reading laser control pulses; right blue arrows are the echo pulses.

It is worth to note that system of equations (1)-(2) describes also the interaction of single photon field with the atomic system [6, 8], where $\hat{E}_1(t,z)$ and $\hat{S}_{12}^{j}(t)$ should be treated as the amplitude of single photon component and the atomic amplitude in the atoms+field wave function. Below we assume that the inhomogeneous broadening of the atomic frequencies is larger in comparison with the total spectral width of the input Data light fields $\chi L >> \delta\omega_{\Sigma}$. Such inhomogeneous broadening provides a complete absorption of the Data light fields in the optically dense medium. The echo pulse emission happens after the reversion of the atomic detuning at $t > \tilde{t}$ $\Delta_j(t > \tilde{t}) = -\Delta_j(t < \tilde{t}) = -\chi z_j$. Using Eqs. (3) and (4) we give a detailed analysis of the quantum dynamics of atoms+field at the presence of phase relaxation during a mapping, storage and retrieval of the Data light pulses.

3. Mapping of the Data light pulse

Using Fourier transformations $A_{in}(\tau - \tau_o; z) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} d\omega e^{-i\omega(\tau-\tau_o)} \tilde{A}_{in}(\omega, z)$ in Eqs. (3)-(4), we find the following solution for each incoming Data field:

$$A_{n,in}(\tau - \tau_{n,o}; z) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} d\omega e^{-i\omega(\tau-\tau_{n,o})} \left(\frac{\omega + \chi z_0 + i\gamma_{21}}{\omega + \chi z + i\gamma_{21}}\right)^{i\beta/\chi} \tilde{A}_{n,in}(\omega, z_0), \quad (5)$$

$$r_{12}(\tau - \tau_{n,o}; z) = -\frac{i}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} d\omega e^{-i\omega(\tau-\tau_{n,o})} \frac{(\omega + \chi z_0 + i\gamma_{21})^{i\beta/\chi}}{(\omega + \chi z + i\gamma_{21})^{1+i\beta/\chi}} \tilde{A}_{n,in}(\omega, z_o), \quad (6)$$

where $\tilde{A}_{n,in}(\omega, z_o = -L/2) = \int_{-\infty}^{\infty} dt e^{i\omega(t-t_{n,o})} A_{n,in}(t - t_{n,o}; z_o)$ is a input n-th Data field spectrum. Using Eqs. (5) – (6), below we evaluate the Data light pulse and atomic coherence in the medium. We note that the long-lived atomic coherence is excited only in the spatial areas with longitudinal coordinates $(\omega_n - \frac{1}{2}\delta\omega_n)/\chi < z_n \le (\omega_n + \frac{1}{2}\delta\omega_n)/\chi$ (i.e. $z_n \subset Z_n$) corresponding the spectra of the different Data light pulses (see Fig.2). Thus the n-th Data field's information is stored in own atomic groups AG_n within the longitudinal coordinates $z \subset Z_n$ (see Fig.2).

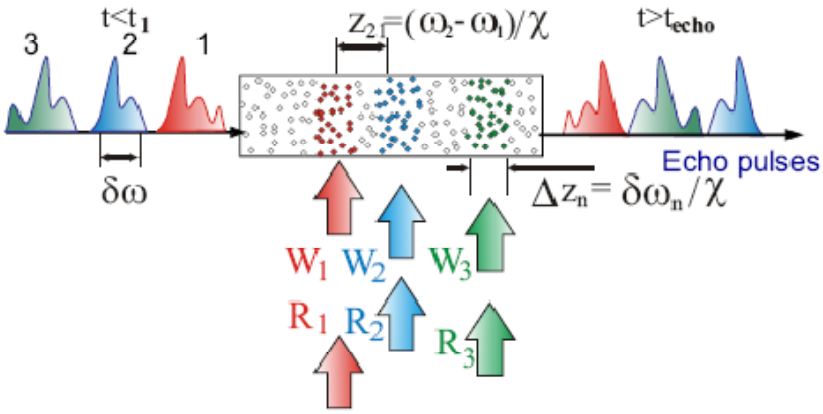


Fig.2. Spatial scheme of multi-modes QM. The Data light pulses enter the medium at different moments of time. Different carrier frequencies ω_n of the Data fields determine different spatial localizations of the atomic coherences $z_n \subset Z_n$ excited by the Data pulses. The n-th Writing and Reading laser pulse control the n-th atomic coherence at times $t_{n,1}$ and $t_{n,2}$. All the echo pulses are irradiated along the same z-direction.

The atomic coherence in not excited $r_{12}(\tau;z) \approx 0$ in other areas $z \not\subset Z_n$, $n = 1,...,N$ of the medium after interaction with Data light pulses. The different spatial localization of the excited atomic coherences opens up the possibility of spatially selective writing and reading of the Data light fields characterized by the different carrier frequencies. Here we can add that the writing and reading laser pulses can be overlapped in the medium in general. It is possible when the writing and reading laser pulses spectra corresponding to different atomic groups ($n \neq n'$) are not overlapped: $\omega_{32}^{(n)}(\delta\omega_n) \neq \omega_{32}^{(n')}(\delta\omega_{n'})$.

4. Long-lived storage and retrieval of the Data light field

In order to realize a long-lived QM, we apply additional writing (W_n) and reading (R_n) laser pulses (n=1,2,..N) (see Fig. 2). The interaction between the W_n light π-pulse and atoms is realized at time $t_{n,1} > \delta t_n + T_n$ (where T_n is a arriving time of n-th Data pulse in the medium). For simplicity we assume that all the W_n and R_n laser pulses propagate perpendicular to the Data light fields. Each n-th laser pulses pair overlaps in space with n-th excited atomic coherence. The W_n π-laser pulse frequency is resonant to the atomic transition 2-3 so the laser pulse leads to a perfect transfer of the n-th atomic coherences on the long-lived transition 1-3.

After storage in order to release the storied Data light pulse from the medium, we reverse the atomic detunings ($\Delta_j(t > \tilde{t}) = -\Delta_j(t < \tilde{t})$ i.e. $\chi z_j \to -\chi z_j$) and apply the reading π-laser pulse for n-th atomic coherence at $t=t_{2n}$. The R_n pulse have to propagate along the same direction as W_n pulse and to be close to the longitudinal coordinates $z \subset Z_n$ as W_n laser pulse propagated. Thus after the R_n π-pulse we get the following n-th atomic coherence $r_{12}(\tau > \tau_{n,2}; z \subset Z_n)$ on the resonant transition 1-2 ($\tau_{n,2} = t_{n,2} - z/c$):

$$r_{12}(\tau_{n,2}; z \subset Z_n) = \exp\{-i(\omega_{31} - i\gamma_{31})(\tau_{n,2} - \tau_{n,1}) + i(\phi_{n,2} - \phi_{n,1})\} r_{12}(\tau_{n,1}; z \subset Z_n), \quad (7)$$

where for simplicity we have assumed that the W_n and R_n pulses have a negligible short pulse durations, ϕ_2 is the light field phase; $\omega_{31}^j \cong \omega_{31}$ is nearly constant.

Further atomic and light evolution is determined by the system equations for the light field amplitude $A_2(\tau, z)$ and atomic coherence

$$\frac{\partial}{\partial z} A_{out}(\tau, z) = \beta r_{12}(\tau, z), \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial\tau}\mathrm{r}_{12}(\tau,\mathrm{z}) = -(\mathrm{i}\chi\mathrm{z}+\gamma_{21})\mathrm{r}_{12}(\tau,\mathrm{z}) - \mathrm{A}_{\mathrm{out}}(\tau,\mathrm{z})\,, \tag{9}$$

$$\mathrm{A}_{\mathrm{out}}(\tau,\mathrm{z}) = \sum\nolimits_{\mathrm{n}=1}^{\mathrm{N}} \mathrm{A}_{\mathrm{n},2}(\tau;\mathrm{z})\,, \tag{10}$$

with initial conditions at time $\tau = \tau_2$: $A_2(\tau_2, z) = 0$ and Eq. (17) for $r_{12}(\tau; z)$. Taking into account the initial condition in Eqs. (8) and (9), we get the following solution the light field amplitude $\mathrm{A}_{\mathrm{n},2}(\tau;\mathrm{z}) = 1/(2\pi)\int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{d}\omega \mathrm{e}^{-\mathrm{i}\omega(\tau-\tau_{\mathrm{n},2})}\widetilde{\mathrm{A}}_{\mathrm{n},2}(\omega,\mathrm{z})$ for $\tau > \tau_{\mathrm{n},2}$:

$$\widetilde{\mathrm{A}}_{\mathrm{n},2}(\omega,\mathrm{z}) = -\mathrm{i}\beta\int_{\mathrm{z}_0}^{\mathrm{z}} \mathrm{dz}' \frac{(\chi\mathrm{z}-\omega-\mathrm{i}\gamma_{21})^{\mathrm{i}\beta/\chi}}{(\chi\mathrm{z}'-\omega-\mathrm{i}\gamma_{21})^{1+\mathrm{i}\beta/\chi}}\mathrm{r}_{12}(\tau_{\mathrm{n},2};\mathrm{z}'\subset \mathrm{Z}_{\mathrm{n}})\,. \tag{11}$$

Putting Eq. (7) in Eq. (11) and assuming large enough spatial size of the medium $\chi\mathrm{L} >> \delta\omega_{\Sigma}, \gamma$ ($\delta\omega_{\Sigma}$ is a total Data light spectrum) in the calculations of all the integrals we get the following analytical solution for the echo field amplitude $\mathrm{A}_{\mathrm{out}}(\tau;\mathrm{z}=\mathrm{L}/2)$ in the medium output (where $\tau \rangle \tau_2$):

$$\mathrm{A}_{\mathrm{out}}(\tau,\mathrm{L}/2) = \sum\nolimits_{\mathrm{n}=1}^{\mathrm{N}} \mathrm{A}_{\mathrm{n},2}(\tau;\mathrm{L}/2) = -\frac{2\pi\chi}{\beta}\left(\frac{\exp\{-\pi\beta/(2\chi)\}}{\Gamma[\mathrm{i}\beta/\chi]}\right)^2 \sum\nolimits_{\mathrm{n}=1}^{\mathrm{N}} \Gamma_{\mathrm{R}}(\tau-\tau_{\mathrm{n},2};\mathrm{t}_{\mathrm{n},21})$$

$$\mathrm{A}_{\mathrm{n},1}(\tau_{\mathrm{n},2}+\tau_{\mathrm{n},1}-\tau_{\mathrm{n,o}}-\tau;-\mathrm{L}/2)\exp\{-\mathrm{i}\omega_{31}\mathrm{t}_{\mathrm{n},21}+\mathrm{i}(\phi_{\mathrm{n},2}-\phi_{\mathrm{n},1})+\mathrm{i}\delta\Phi^{\chi}(\tau-\tau_{\mathrm{n},2})\}\,, \tag{12}$$

where $\Gamma_{\mathrm{R}}(\tau-\tau_{\mathrm{n},2};\mathrm{t}_{21}) = \exp\{-2\gamma_{21}(\tau-\tau_{\mathrm{n},2})-\gamma_{31}\mathrm{t}_{\mathrm{n},21}\}$ is a phase relaxation function, $\Gamma[i\beta/\chi]$ is a Gamma function, $\mathrm{t}_{\mathrm{n},21} = \tau_{\mathrm{n},2}-\tau_{\mathrm{n},1}$ is storage time, $\delta\Phi^{\chi}(\tau-\tau_{\mathrm{n},2}) = 2(\beta/\chi)\mathrm{Ln}[\chi\mathrm{L}(\tau-\tau_{\mathrm{n},2})/2]$ is an additional phase modulation (see below).

As seen in Eq. (12), the n-th irradiated echo field $\mathrm{A}_{\mathrm{n},2}(\tau,\mathrm{L}/2)$ is a temporally reversed copy of the n-th initial Data light pulse realized before the action of W_{n} and R_{n} π- laser pulses. Thus the echo fields contain only the information on the Data pulses which were received initially by the atomic system characterized by large inhomogeneous broadening ($\chi\mathrm{L} >> \delta\omega_{\mathrm{f}}$) and then the information was stored on the long-lived level 2. The properties of single echo field pulse (for instance of the field $\mathrm{A}_{\mathrm{n},2}(\tau-\tau_2,\mathrm{L}/2)$) have been analyzed in [18]. Based on the analysis, we discuss below the general properties of the multi-pulses field $A_{out}(\tau, z)$ and specific properties of their selective reconstruction.

5. Fidelity (energy) efficiency of the echo pulse emission

Important properties of the retrieval echo Light pulses contain in the behavior of the light field intensities

$$\mathrm{I}_{\mathrm{n},2}(\tau,\mathrm{L}/2) = |\,\mathrm{A}_{\mathrm{n},2}(\tau;\mathrm{z}=\mathrm{L}/2)\,|^2 =$$

$$\exp\{-4(\tau-\tau_{\mathrm{n},2})\gamma_{21}-2\gamma_{31}\mathrm{t}_{\mathrm{n},21}\}\mathrm{f}_{\mathrm{o}}(\pi\beta/\chi)\,|\,\mathrm{A}_1(\tau_{\mathrm{n},2}+\tau_{\mathrm{n},1}-\tau_{\mathrm{n,o}}-\tau;\mathrm{z}_{\mathrm{o}})\,|^2\,, \tag{13}$$

where factor $\mathrm{f}_{\mathrm{o}}(\pi\beta/\chi) = 4\mathrm{Sh}^2(\pi\beta/\chi)\exp\{-2\pi\beta/\chi\}$ characterizes an effective storage and retrieval determined by the medium atomic density. Eq. (13) shows an existence of the two independent conditions characterizing the QM fidelity. First condition $2\pi\beta/\chi > 1$ is general one for all the Data light fields, while the second condition

$$4(\tau-\tau_{\mathrm{n},2})\gamma_{21}-2\gamma_{31}\mathrm{t}_{\mathrm{n},21} < 1\,, \tag{14}$$

is determined by a specific influence of the relaxation process on each n-th echo signal. Only a simultaneous fulfillment of the two conditions can provide a perfect temporally reversed

reconstruction of the Data light field in the echo field i.e. where we get $|A_{n,2}(\tau; z = L/2)|^2 = |A_{n,1}(\tau_{n,2} + \tau_{n,1} - \tau_{n,o} - \tau; -L/2)|^2$ (see Fig. 3).

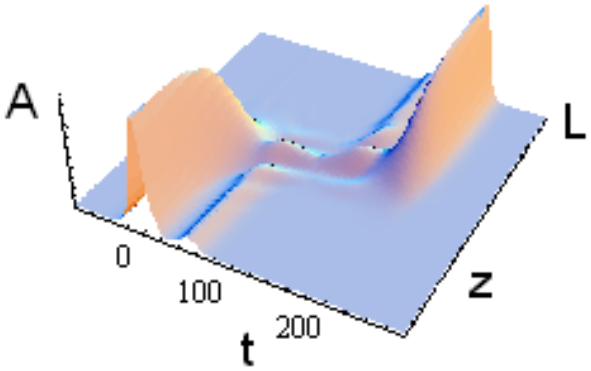


Fig.3 Numerical calculation demonstrates a perfect temporally reversed reconstruction of the two pulsed Data light field in the echo signal in a high optical dense medium ($\pi\beta/\chi = 2\pi$). Frequency gradient $\Delta(\tau<\tau_1)=\chi z$ is parallel to z- axis that is along the initial Data light field propagation.

Analytical solution in Eq. (12) is found for an arbitrary temporal envelope of the Data light (i.e. for arbitrary number of Data light field modes). The solution generalizes a result of recent work [17] on the QM processes on a presence of the phase γ_{21} - relaxation and open up the possibility to find the QM fidelity for real experimental situation. Below we evaluate the QM fidelities at real experimental conditions.

As seen in Fig.3, we can obtain a desirable effective mapping of the Data light pulse at high enough optical density where $\beta/\chi \geq 1$. Assuming a perfect storage ($\gamma_{31}t_{21} \to 0$), we find that the optical density factor $f_o(\pi\beta/\chi) > f_{\min}$ (where $f_{min} \leq 1$ is a designed value) leads to the following condition $\beta/\chi > -(2\pi)^{-1} Ln[1-\sqrt{f_{\min}}]$, which can be rewritten in term of the well-known optical density parameter αL:

$$\frac{\beta}{\chi} = \tfrac{1}{2}\alpha L \frac{\gamma_{21}}{\delta\omega_f}\frac{\delta\omega_f}{\chi L} \approx \tfrac{1}{2}\alpha L(\gamma_{21}T_1)\frac{\delta\omega_f}{\chi L}\Bigg|_{\frac{\delta\omega_f}{\chi L}\approx 0.1} \to \alpha L \geq -\frac{10}{(\pi\gamma_{21}T_1)} Ln[1-\sqrt{f_{\min}}]. \qquad (15)$$

where we have assumed $\delta\omega_f/\chi L \approx 0.1$ in accordance with the above derivation of the analytical solution in Eq. (12). Taking into account the real Data light spectrum width we can use the medium length as follows $L \approx (2 \div 3)\delta\omega_f/\chi$ in order to minimize the optical density. Taking into account Eq. (15) we get $\alpha L \geq 7.156/(\gamma_{21}T_1)$ for the most upper border of particular case f_o=0.8. Thus the QM depends on the decay rate constant and temporal duration via the parameter $\gamma_{21}T_1$. Using the solution in Eq. (21) we evaluate analytically the fidelity $F^{\text{int}} = \int_{t_2}^{\infty} dt I_2(t) / \int_{-\infty}^{\infty} dt I_1(t)$ characterizing the intensity efficiency (or the photon reconstruction) for two types of the Data light field envelopes.

A) In a case of the Data pulse envelope $\text{Cosh}^{-1}(t/\delta t_1)$ with the pulse width $\delta t_{\cosh} = 2T_1 Ln(2+\sqrt{3})$ we find

$$F_{Ch}^{in} = \exp\{2t_1/\delta t_1 - 2\gamma_{31}t_{n,21}\} f_o(\pi\beta/\chi) \frac{{}_2F_1[2, 1+2\gamma_{21}\delta t_1, 2+2\gamma_{21}\delta t_1; -e^{2t_1/\delta t_1}]}{(1+2\gamma_{21}\delta t_1)}, \qquad (16a)$$

where ${}_2F_1[a,b,c;z]$ is a Hypergeometric function. Taking into account $4t_1/T_1 >> 1$ we can simplify the fidelity F_{Ch} as follows

$$F_{Ch}^{in} \cong \exp\{-4\gamma_{21}t_1 - 2\gamma_{31}t_{n,21}\} f_o(\pi\beta/\chi) \frac{2\pi\gamma_{21}\delta t_1}{Sin(2\pi\gamma_{21}\delta t_1)}. \quad (16b)$$

Assuming $2\pi\gamma_{21}T_1 << 1$ in Eq. (16b) we find that the fidelity F_{Ch} is limited by the exponential factor $\exp(-4\gamma_{21}t_1)$ which is well-known in usual experiments on the photon echo.

B) The fidelity $F_{\exp}$ for the Data pulse with envelope $\mathrm{Exp}\{-t^2/2\delta t_1^{\,2}\}$ and pulse width $\delta t_{\exp} = 2\delta t_1\sqrt{2Ln2}$ is found as follows

$$F_{\exp}^{\mathrm{int}} = \frac{1}{2}\exp\{-4\gamma_{21}\delta t_1(t_1/\delta t_1 - \gamma_{21}\delta t_1) - 2\gamma_{31}t_{21}\}]Erfc(2\gamma_{21}\delta t_1 - t_1/\delta t_1) f_o(\pi\beta/\chi). \quad (17a)$$

Again assuming $t_1/T_1 >> 1$ we obtain from Eq. (17a)

$$\mathrm{F}_{\exp}^{\mathrm{int}} \cong \exp\{-4\gamma_{21}\delta t_1(t_1/\delta t_1 - \gamma_{21}\delta t_1) - 2\gamma_{31}t_{21}\} f_o(\pi\beta/\chi). \quad (17b)$$

It is interesting to note that the fidelities $\mathrm{F}_{\exp}^{\mathrm{int}}$ and $\mathrm{F}_{\mathrm{Ch}}^{\mathrm{in}}$ (see Eqs. (16a-17b)) are depended only on three independent variables: $t_1/\delta t_1$, $\gamma_{21}\delta t_1$ and $\pi\beta/\chi$. This fact simplifies considerably our analysis of the QM fidelity. In the Fig.4, we demonstrate the normalized fidelity $\mathrm{F}_{\mathrm{Ch}}^{\mathrm{int}}/f(\gamma_{31}t_{21}, \pi\beta/\chi)$ as a two dimension function of the temporal variables $x = t_1/\delta t_1$ and $y = \gamma_{21}\delta t_1$.

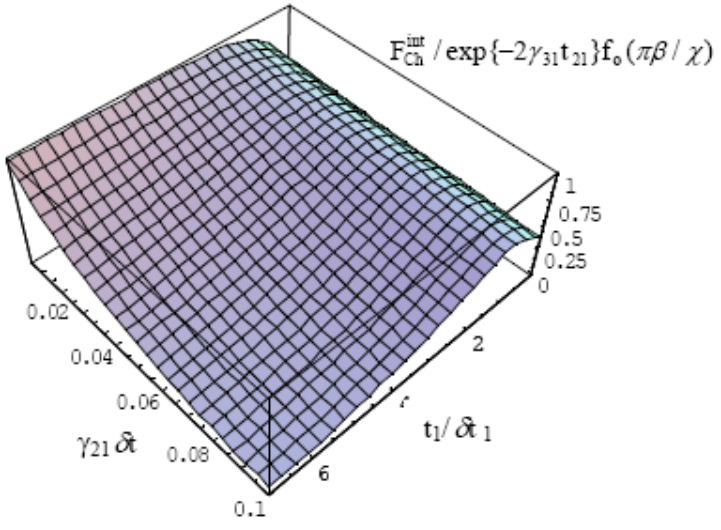


Fig.4. Fidelity $\mathrm{F}_{\mathrm{Ch}}^{\mathrm{int}}/\exp\{-2\gamma_{31}t_{21}\}f_o(\pi\beta/\chi)$ as a function of two variables $\{x = t_1/\delta t_1 : 0 \div 7\}$, $\{y = \gamma\delta t_1 : 0 \div 0.1\}$

Eqs. (16a)-(17b) can be used for optimization of the QM in real experimental conditions. In particular, using behavior of the fidelity shown in Fig.4, we can find the optimal relations for the temporal durations $\delta t_{\exp}$ (δt_{Ch}) and time delay t_1 where the fidelity can be larger of any *a priori* given magnitude<1. Taking into account the optimization of the medium length we get $\alpha L \geq 47.7 \div 71.6$ (see comments after Eq. (15)). Thereby we can find the Data pulse parameters for the QM with fixed fidelity in the medium with given spectroscopic parameters. We note as it is seen from Figs. 4, the fidelity is independent of the Data field envelope for large enough pulse durations $t_1/T_1 > 3$ but here we should provide a weak enough phase relaxation ($\gamma_{21}T_1 < 0.008$ for F>0.9). In a case of short interaction time $t_1/T_1 \leq 3$, however it is necessary

to optimize the spatial profile and temporal durations of the Data pulse for the interaction time $t_1 / T_1 \leq 3$ in order to get a higher fidelity in a presence of the phase relaxation $\gamma_{21} T_1 \approx 0.01 \div 0.015$.

6. Discussion and conclusion

Recent experimental results in works [17] give a credit to the QM based on photon echo where the fidelity has been already reached to 15 %. The PE based QM is regarded as a prospective technique for a quantum manipulation of the light fields, in particular for effective quantum compression/decompression of single photon wave packets [20]. While a detailed analysis of the ways oriented to the higher fidelity is still an important goal of the researches absorbed in the optical QM [21], in this work we develop the theoretical approach for selective multi-modes PE based QM in the atomic system with "longitudinal" inhomogeneous broadening. The obtained analytical solution have been used for analysis of the fidelity for the multi-modes QM scheme depicted in Fig. 2. The multi-modes QM will be characterized by a large fidelity for high enough optical density within all the Data light modes spectra. We have to realize the high optical density at least within the inhomogeneous broadening $\Delta_n = \chi L > \delta\omega_{\Sigma} > n\delta\omega_f$ (where n=2,3, …, and $\delta\omega_f$ is a typical spectral width of each n-th Data light field $A_n(\omega_n, t, z)$, ω_n is a carrier frequency of the field). The proposed QM mode selection needs in a sufficient spectral visibility of the nearest pairs: (W_n, R_n) and ($W_{n\pm1}$, $R_{n\pm1}$) where the nearest Data fields frequencies ω_n and $\omega_{n\pm1}$ should be shifted to each other on a spectral distance $|\omega_n - \omega_{n\pm1}| >> \delta\omega_f$. Therefore we can apply each R_n pulse independently in time in order to get the information from the n-th atomic coherence on our demand. For instance in Fig.2, the 3-th R pulse is applied to the medium early than the 2-nd R-pulses.

Thus using the PE based QM, we have described a principle scheme of selective storage and retrieval of multi-pulse Data fields using different areas of the inhomogeneously broadened line as cells of the QM modes (and different spatial parts of the medium) where n-th excited atomic group will be in a resonance with appropriated n-th Data light mode, while the other atomic groups are transparent to the Data light mode.

Finally we also denote the possibility of the QM for multi-pulses Data light fields on one carrier frequency. In particular the QM can be realized using an additional switching of the electrical field E_n pulses which lead to additional Stark shift Δ_n of the atomic frequencies during the interaction with n-th Data light pulse and with (W_n, R_n)-laser pulses. It is interesting that all the (W_n, R_n) laser pulses can be even overlapped with each other in the medium if the ω_{32} - frequencies of one atomic groups on the atomic transition 2-3 will be shifted for different moments of time. Thus the additional (Stark) electric fields can play a role of the code key for selection of the n-th atomic coherence on our demand in the storage and in the retrieval processes as well as. Detail theoretical analysis of the multi-pulse QM will be a subject of further research.

Acknowledgements

One of us (SAM) thanks prof. W. Tittel for useful discussions. We thank the Russian Foundation for Basic Research Fond, grand No. № 06-02-16822.

References:

[1] Nielsen M.A. Chuang I.L. *Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press,* 2000.

[2] Cirac J.I. Zoller P. Kimble H.J. and Mabuchi H. *Phys. Rev. Lett.* **78**, (1997) 3221.

[3] Duan L.M. Cirac J.I. Zoller P. Polzik E.S. *Phys. Rev. Lett.* **85**, (2000) 5643.
[4] Kuzmich A. and Polzik E.S. *Phys. Rev. Lett.* **85**, (2000) 5639.
[5] Fleischhauer M. and Lukin M.D. *Phys. Rev. Lett.* **84**, (2000) 5094.
[6] Moiseev S.A. and Kroll S. *Phys Rev Lett*. **87**, (2001) 173601.
[7] Moiseev S.A. Tarasov V.F. and Ham B.S. *J.Opt.B: Quantum Semiclass. Opt.* **№ 5**, (2003)S 497.
[8] Moiseev S.A. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **40** (2007) 3877.
[9] Liu C. Dutton Z. Behroozi C.H. Hau L.V. *Nature.*V. 409. (2001) 490.
[10] Philips D.F. Fleischhauer A. A.Mair, et al. *Phys. Rev. Lett.* **86,** (2001) 783.
[11] Eisaman M.D. Andre A. Massou F. Fleischhauer M. Zibrov A.S. and Lukin M.D. *Nature* **438,** (2005) 837.
[12] Chaneliere T. Matsukevich D. Jenkins S.D. Lan S.-Y. Kennedy T.A.B. and Kuzmich A. *Nature* **438**, (2005) 833.
[13] Alexander A.L. et.al. *Phys. Rev. Lett.* **96,** (2006) 043602.
[14] Kraus B. Tittel W. Gisin N. Nilsson M. Kroll S. and Cirac J. I. *Phys. Rev.* A **73 (**2006) 020302(R).
[15] Kalachev A. Kröll S. *Phys.Rev.A.* **74**, (2006) 023814.
[16] Sai'dasheva I.S. Arslanov N.M. and Moiseev S.A. *International Optical Congress – Optics XXI, Fundamental Problems of Optics, S.-Petersburg, Russia,* 16-20 *October*, (2006), 137.
[17] Hetet G. Longdell J.J. Alexander A.L. Lam P.K. and Sellars M.J. *quant-ph/0612169*, (2006).
[18] Moiseev S.A. Arslanov N.M. *"Fidelity of photon echo based quantum memory in the atomic system with phase relaxation and longitudinal inhomogenous broadening", – "Coherent optics and optical spectroscopy-XI",* 25-27 October-2007, Proceedings, Kazan, KSU, Editors: prof. M.Kh.Salakhov, prof. V.V.Samartsev, (2007) (in press).
[19] Klauder J.R. Anderson P.W. Phys.Rev. 125, (1962); K. M. Salikhov, A. G. Semenov, Yu. D. Tsvetkov. Electron Spin Echo and its Applications. Nauka: Nobosibirsk, 1976, 342 p.
[20] Moiseev S.A. Tittel W. *"Quantum compression/decompression of light pulses using photon echo based quantum memory"*, in Proceeding of Workshop on the Storage and Manipulation of Quantum Information in Optically-Addressed Solids, January 25-27, 2008, Bozeman, Montana (USA).
[21] Gorshkov A.V. Andre A. Fleischhauer M. Sørensen A.S. and Lukin M.D. *Phys Rev Lett*. 9**8**, (2007) 123601.

АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННЫЕ И ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ФОТОННОГО ЭХА И ИХ ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

К.Ш. Газизов, И.И. Попов, В.Т. Нигматуллина, Г.Л. Попова

ГОУ ВПО «Марийский государственный университет»
(424001, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1)
popov@marsu.ru

В данной работе рассмотрены поляризационные свойства фотонного эха при его формировании в парах молекулярного йода при воздействии на них продольного однородного магнитного поля. В этом случае имеет место специфический (нефарадеевский) поворот вектора поляризации эхо-сигнала. Данный эффект предсказан и теоретически обоснован в работах [1, 2]. Впервые он наблюдался в парах цезия, нагретых до высокой температуры на длине волны 459,3 нм [3], а в молекулярном газе (парах молекулярного йода) при комнатной температуре – на длине волны 571 нм [4]. Нами установлена возможность применения этого эффекта для оптической регистрации

временных интервалов между лазерными импульсами. На этой основе был разработан способ измерения расстояния на основе поляризационных свойств фотонного эха [5].

Для построения оптического регистратора временных интервалов между лазерными импульсами очень важно и целесообразно иметь рабочую температуру резонансной среды в диапазоне комнатных температур, при которых концентрация частиц достаточна для формирования интенсивного (устойчиво регистрируемого) сигнала ФЭ, а взаимодействия между частицами резонансной среды не приводили бы к затуханию эхо-сигнала. При этом следует учитывать, что энергия квантовых переходов должна соответствовать видимому диапазону электромагнитного излучения. Наиболее оптимальным вариантом при выборе резонансной среды явилось использование паров молекулярного йода, работающих при комнатных температурах с применением лазеров в видимой части спектра. Йод может существовать в парах в виде молекул и атомов. Молекула йода двухатомна. Энергия диссоциации $I_2 \rightarrow 2I$ равна 35,5 ккал/моль. Степень диссоциации составляет 2,8% (при 1000° К). Диссоциация возникает при температурах выше 700 °*C*, а также при воздействии света высокой интенсивности.

Представленный в данной работе способ оптической регистрации временного интервала между возбуждающими импульсами основан на результатах исследования нефарадеевского поворота вектора поляризации эхо-сигнала. Величина угла нефарадеевского поворота вектора поляризации эхо-сигнала зависит от напряженности приложенного магнитного поля, от временного интервала, разделяющего возбуждающие импульсы, и от типа ветви резонансной спектральной линии, но не зависит от длины прохождения возбуждающих импульсов и эхо-сигнала в резонансной среде.

Предлагаемый способ пояснен на рис.1. Первый возбуждающий импульс 4 поступает в кювету с газом 8 непосредственно от источника лазерных импульсов 1.

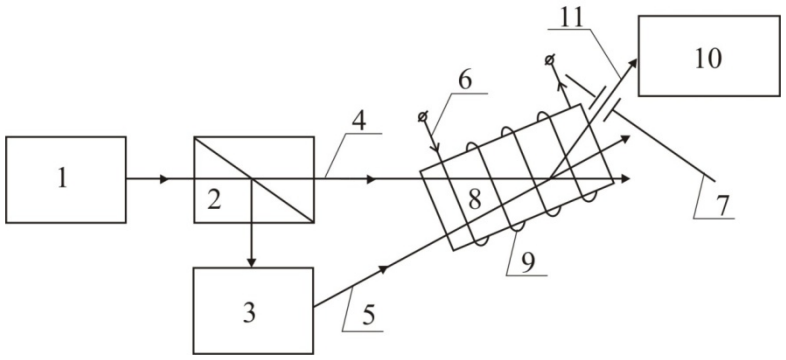


Рис.1. Структурная схема измерения расстояния: 1 – источник лазерных импульсов; 2 – поляризационная призма Глана; 3 – оптическая линия задержки; 4 – первый лазерный импульс; 5 – второй лазерный импульс; 6 – ток соленоида; 7 – диафрагма; 8 – кювета с резонансной средой; 9 – соленоид; 10 – устройство регистрации угла поворота вектора поляризации ФЭ; 11 – эхо-сигнал

Второй импульс 5, полученный расщеплением первого импульса на два лазерных пучка, проходит через оптическую линию задержки 3, затем поступает в кювету с резонансным газом 8, в которой под воздействием двух возбуждающих импульсов формируется сигнал ФЭ 11. Если к кювете приложить продольное магнитное поле,

создаваемое, например, током соленоида 6, то вектор поляризации сигнала ФЭ будет испытывать поворот на определенный угол φ, который регистрируется устройством 10.

Угол поворота вектора поляризации ФЭ описывается выражением (1) и зависит от напряженности приложенного магнитного поля и временного интервала между возбуждающими импульсами

$$\varphi = arctg\frac{2\sin(\varepsilon\tau_{12})}{1+2\cos(\varepsilon\tau_{12})} = arctg\frac{2\sin(kH\tau_{12})}{1+2\cos(2kH\tau_{12})} \quad (1)$$

где: $\varepsilon = \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_b}{2h}$, $\varepsilon_{a,в}=g_{a,в}\mu_0\ \mu\ h^{-1}$, $k=(g_a+g_b)\mu_0\ \mu\ h^{-1}$, $g_{a,b}$ – гиромагнитное соотношение основного a и возбужденного $в$ уровней, μ_0 - ядерный магнетон, μ - магнитная постоянная, H – напряженность приложенного магнитного поля, τ_{12} – временной интервал между возбуждающими импульсами.

Преобразовав формулу (1), можно выразить величину временного интервала τ_{12} по формуле (2):

$$\tau_{12} = \frac{arctg\frac{-2\pm\sqrt{4+3\cdot tg^2\varphi}}{tg\varphi} + 2\cdot\pi\cdot k}{77\cdot H}, k\in Z \quad (2)$$

Из выражения (2) следует вывод, что чем меньше напряженность приложенного магнитного поля, тем больше рабочий диапазон измерения (диапазон, в котором величина временного интервала между возбуждающими импульсами может быть померена однозначно). В эксперименте для создания магнитного поля использовался соленоид, длина которого была значительно больше диаметра витков. Полное число витков у данного соленоида было равно 2400, а его длина составляла 0,32м. На рис.2 представлены экспериментально снятые кривые при различных значениях прикладываемого магнитного поля: при $H_1=4{,}6\cdot10^4\left[\frac{A}{M}\right]$, $H_2=10^5\left[\frac{A}{M}\right]$, $H_3=2\cdot10^5\left[\frac{A}{M}\right]$.

Из рис. 2 следует, что путем изменения напряженности прикладываемого магнитного поля можно изменять диапазон измерений временного интервала. Характеристики имеют возрастающие рабочие участки, изменяющиеся от нулевого значения до значений, определяемых конец диапазона измерений. В экспериментах использовалась поляризационная призма Глана, которая обеспечивала разрешение с точностью 10^{-5} градуса, а оптическая часть установки – 10^{-4} градуса. Напряженность магнитного поля соленоида изменялась и контролировалась за счет тока, протекающего по соленоиду и создающего это магнитное поле. Для этих целей использовался магнитооптический датчик тока на основе ФЭ, техническая новизна и работоспособность которого подтверждена патентом на изобретение Российской Федерации [6].

Разработана методика оптической регистрации временного интервала между возбуждающими импульсами по углу нефарадеевского поворота вектора поляризации ФЭ [7]. В основу методики был положен эффект [2] нефарадеевского поворота вектора поляризации фотонного эха, формируемого в газе под воздействием продольного однородного магнитного поля. Величина этого угла зависит от величины временного интервала, разделяющего возбуждающие импульсы, от напряженности приложенного магнитного поля и от дипольного момента квантового перехода. Второй и третий аргументы этой зависимости имели постоянное значение. В этом случае угол поворота

вектора поляризации фотонного эха зависел только от изменения временного интервала между возбуждающими импульсами. Величина этого угла отражала значение временного интервала между возбуждающими импульсами, входящего в протоколы кодирования и декодирования информации оптического эхо-процессора. Эхо-сигнал с помощью поляризационной призмы также раскладывался на два импульса с ортогональными плоскостями поляризации. По отношению интенсивностей этих поляризационных компонент эхо-сигнала определялось численное значение угла поворота вектора поляризации ФЭ, которое по специальной формуле пересчитывалось в величину временного интервала, разделяющего возбуждающие импульсы. При отличии измеренного временного интервала от задаваемого на выходе протокола кодирования значения в оптическом эхо-процессоре вырабатывался управляющий сигнал для коррекции значения этого интервала.

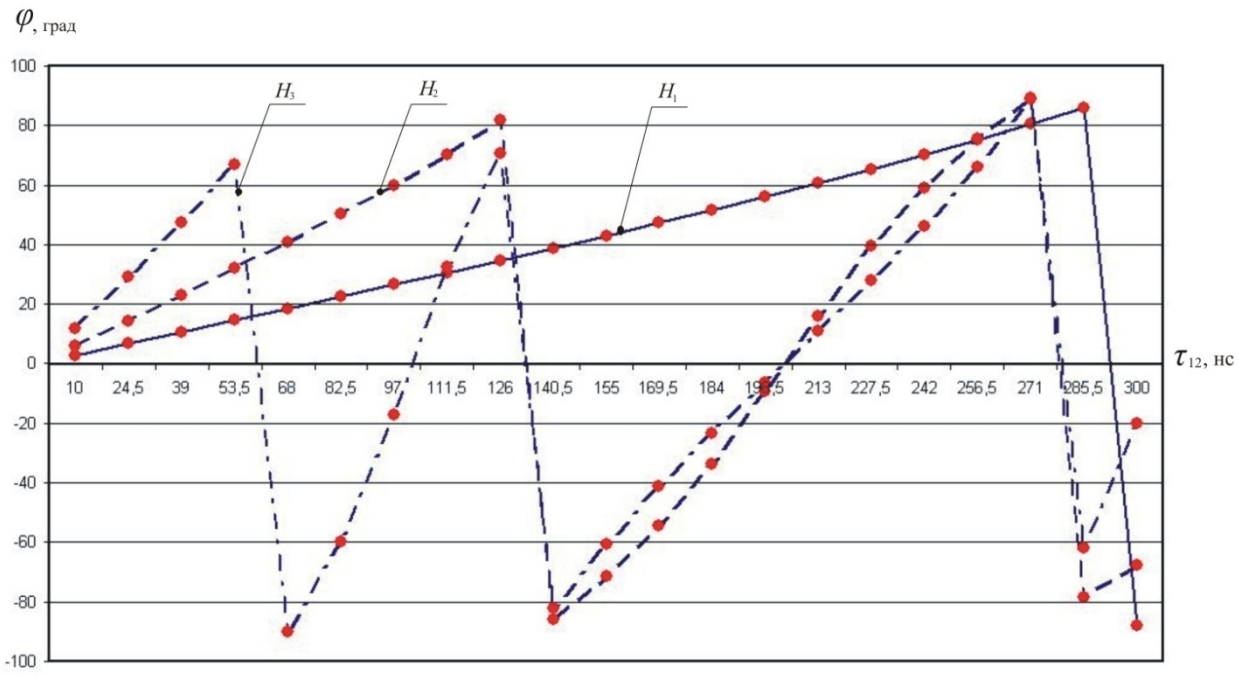


Рис. 2. Экспериментально снятые зависимости временного интервала τ_{12} от угла вектора поляризации ФЭ φ (град.) при $H_1=4{,}6\cdot10^4\left[\frac{A}{M}\right]$, $H_2=10^5\left[\frac{A}{M}\right]$, $H_3=2\cdot10^5\left[\frac{A}{M}\right]$.

На рис. 3 показана схема оптического регистратора временных интервалов между лазерными импульсами, на основе которого разработан оптический эхо-дальномер. В измерителе временных интервалов между лазерными импульсами имеется источник последовательности, разнесённых во времени, лазерных импульсов 1 с задаваемыми интенсивностями и временными параметрами (длительностями возбуждающих импульсов и временным интервалом между ними), призма Корню 18, уголковый отражатель 7 на опоре, устанавливаемой на объекте 2, поворотное зеркало 17, кювета с резонансной средой 15, установленная внутри соленоида 4, диафрагмы 9, 19,20, механизм 21 юстировки корпуса измерителя временных интервалов относительно опоры, устанавливаемой на объекте 1, выходная поляризационная призма Глана 8, служащая для разложения

эхо-сигнала на две компоненты с ортогонально ориентированными направлениями векторов линейной поляризации, первый и второй каналы регистрации составляющих компонент эхо-сигнала, состоящих из фоторегистраторов 10,11 и преобразователей 12,13, процессора 14.

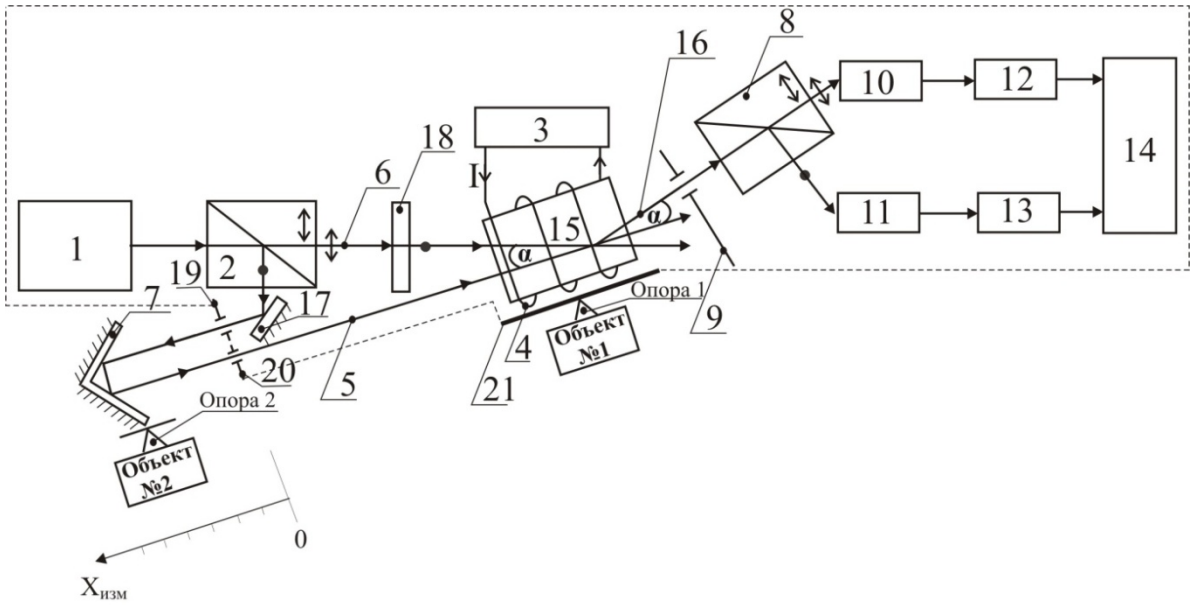


Рис. 3. Принципиальная схема оптического регистратора временных интервалов между возбуждающими импульсами: 1 – источник последовательности, разнесённых во времени, лазерных импульсов с задаваемыми интенсивностями и временными параметрами (длительностями возбуждающих импульсов и временным интервалом между ними); 2 и 8 – поляризационная призма Глана; 3 – программно управляемый источник ток; 4 – соленоида; 5 и 6 – разделенные временным интервалом лазерные импульсы; 7 – уголковый отражатель; 9, 19,20 – диафрагмы; 10 и 11 – фоторегистраторы эхо-сигнала; 12 и 13 – аналого-цифровые преобразователи; 14 – цифровой электронный процессора; 15 – кювета с резонансной средой (парами молекулярного йода); 16 – сигнал фотонного эхо на выходе из резонансной среды; 17 – поворотное зеркало; 18 – поляризационная призма Корню; 21 – механизм юстировки корпуса измерителя временных интервалов относительно опоры.

Измерение временного интервала между лазерными импульсами производится следующим образом. Источник лазерных импульсов 1 вырабатывает импульс света, который поступает на поляризационную призму Глана 2. При этом часть излучения (первый лазерный импульс 6 с вертикальным направлением вектора поляризации) проходит в прямом направлении через кювету 15 с резонансной средой, находящуюся в продольном магнитном поле соленоида 4. В этом случае напряженность магнитного поля задавалась током от программно управляемого источника тока 3. Другая часть (второй лазерный импульс 5), поступает на поворотное зеркало 17, и далее выходит через диафрагму 19 в сторону уголкового отражателя 7. Отразившись от него, второй лазерный импульс через диафрагму 20 поступает в кювету 15. Второй возбуждающий импульс подается в кювету 15 с резонансным газом под углом α к направлению распространения в кювете первого лазерного импульса. Диафрагмы 19 и 20 обеспечивают попадание второго лазерного импульса в центры рабочих плоскостей уголкового отражателя 17, его совпадение с центром диафрагмы 20. Что обеспечивает направление распространения эхо-сигнала через диафрагму 9. Под воздействием двух разнесенных

во времени возбуждающих лазерных импульсов в резонансной среде формируется сигнал ФЭ, распространяющийся под углом α к направлению распространения второго лазерного импульса и под углом 2α к направлению распространения первого лазерного импульса.

При этом формирующийся в резонансной среде сигнал ФЭ под воздействием на нее продольного однородного магнитного поля испытывает поворот его вектора поляризации на угол φ. После прохождения диафрагмы 9, которая не пропускает возбуждающие импульсы, эхо-сигнал поступает на выходную поляризационную призму Глана 8. Эта призма разлагается сигнал фотонного эха на две составляющие с ортогонально ориентированными направлениями их векторов линейной поляризации (с вертикальным и горизонтальным направлениями). Каждая из компонент эхо-сигнала регистрируется, соответственно, фоторегистраторами 10 и 11. Электрические сигналы с фоторегистраторов поступают на соответствующие аналого-цифровые преобразователи информации 12 и 13. Затем они подаются на два входа электронного цифрового процессора 14. В процессоре по соотношению цифровых кодов, соответствующих интенсивностям компонент эхо-сигнала, определяется угол

$$\varphi = \arcsin \frac{I_{э(x)} e^{-\alpha} k}{I_э e^{-\alpha}} \quad (3),$$

где $I_{э(x)}$ – составляющая эхо-сигнала с горизонтальным направлением вектора поляризации, k – поправочный коэффициент, показывающий, во сколько раз отличаются показания одной и той же измеряемой величины в первом канале по отношению к показаниям во втором канале

$$k = \frac{k_{ФЭУ1}}{k_{ФЭУ2}} \quad (4),$$

где $k_{ФЭУ1}$– коэффициент усиления фоторегистратора 10 (фотоэлектронного умножителя) в первом канале, $k_{ФЭУ2}$ – коэффициент усиления фоторегистратора 11 (фотоэлектронного умножителя) во втором канале. Зависимость интенсивности сигнала ФЭ от угла α между возбуждающими импульсами не влияет на величину φ, т.к. коэффициент экспоненциального затухания ФЭ с ростом угла α одинаково влияет на величины находящиеся в числителе и знаменателе формулы (4). Затем из выражения (2) определяется временной интервал между первым и вторым лазерными импульсами

При измерении больших значений временных интервалов между лазерными импульсами может использоваться несколько циклов вращения вектора поляризации ФЭ. Количество циклов и значение, соответствующее неполному циклу, определяется аналогично методу, примененному в работе [1]. Только изменяться будет не H при фиксированных значениях τ_{12}, а наоборот τ_{12}. На основе данного оптического регистратора временных интервалов между лазерными импульсами можно создать оптический эхо-дальномер. При этом первый возбуждающий лазерный импульс выполняет роль опорного импульса дальномера, а второй – зондирующего импульса дальномера. Методика [8] контроля типа ветви, к которой относится резонансная спектральная линия, в данной работе применена для контроля вычислительного режима в оптическом эхо-процессоре, и установлена зависимость параметров резонансной среды входящих в протоколы кодирования и декодирования от выбранного типа ветви спектральных линий. Она же может быть использована для определения типа ветви спектральных линий в оптическом эхо-дальномере. В основу методики контроля

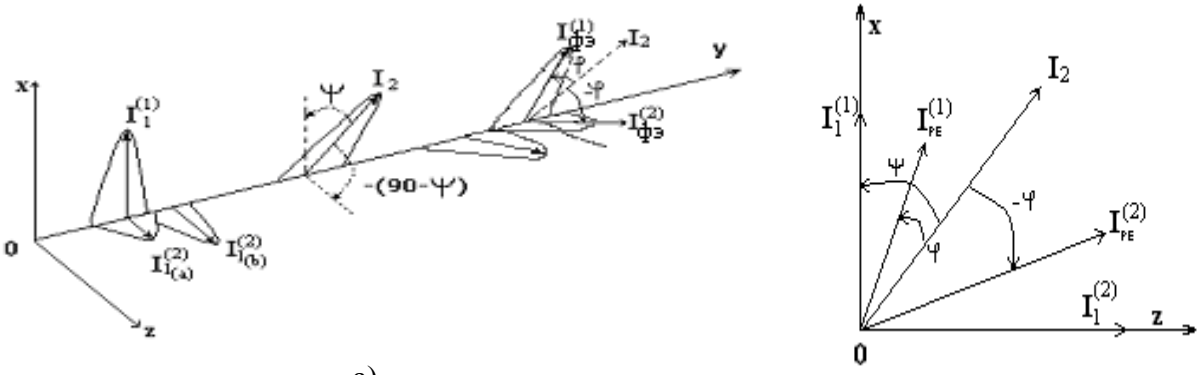
положена зависимость [9] угла, образованного между векторами поляризации ФЭ и второго возбуждающего импульса φ, от угла между векторами поляризации возбуждающих импульсов ψ. Для каждого типа ветви спектральных линий эта зависимость имеет свой вид (табл.1).

Таблица 1

Тип ветви резонансных переходов	Квантовый переход	Зависимость $\varphi = f(\psi)$	
		Вид зависимости	Форма соответствующего эхо-сигнала при $\psi = 52°$
Q – ветвь ($J \to J$)	$b \to a$	$\operatorname{tg}\varphi = 1/3 \operatorname{tg}\psi$	Рис. 5 а
	$b \to a$ и $b' \to a'$	$\operatorname{tg}\varphi = 1/3 \operatorname{tg}\psi$	
	$b \to a$ и $c \to a$	$\operatorname{tg}\varphi = 1/3 \operatorname{tg}\psi$	
P (или R) – ветвь $J \leftrightarrow J + 1$	$b \to a$	$\operatorname{tg}\varphi = -1/2 \operatorname{tg}\psi$	Рис. 5 б
	$b \to a$ и $b' \to a'$	$\operatorname{tg}\varphi = -1/2 \operatorname{tg}\psi$	
	$b \to a$ и $c \to a$	$\operatorname{tg}\varphi = -1/2 \operatorname{tg}\psi$	
P – ветвь ($J \to J + 1$) и R – ветвь ($J + 1 \leftarrow J$)	$b \to a$ и $c \to a$	$\operatorname{tg}\varphi = 1/8 \operatorname{tg}\psi$	Рис. 5 в
Q – ветвь ($J \to J$)	$b \to a$ и $b' \to a'$	$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg} 0$	Рис. 5 г
P (или R) – ветвь ($J \leftrightarrow J + 1$)	$b \to a$ и $c \to a$	$\operatorname{tg}\varphi = -1/7 \operatorname{tg}\psi$	Рис. 5 д

Первый возбуждающий импульс подавался в виде двух импульсов с отличающимися амплитудно-временными формами (рис. 4). Причем угол между плоскостями поляризации этих импульсов был острым или прямым. Один импульс имел одногорбовую амплитудно-временную форму, а другой – двугорбовую. По времени одногорбовый сигнал совпадал с моментом появления второго горба у другого сигнала. Второй возбуждающий импульс был линейно поляризован в плоскости, составляющей одинаковые углы с плоскостями поляризации импульсов, входящих в первый возбуждающий импульс. При этом формировались два сигнала фотонного эха, с одогорбовой и двугорбовой амплитудно-временной формой. Первый из них имел направление вектора поляризации, расположенное между векторами поляризации одногорбового первого возбуждающего импульса и второго возбуждающего импульса. В то же время второй эхо-сигнал был линейно поляризован в направлении, расположенном между векторами поляризации двугорбового первого возбуждающего импульса и второго возбуждающего импульса. Причем углы, образующиеся между векторами поляризации каждого из эхо-сигналов и второго возбуждающего импульса, имели свое значение для каждого типа ветви.

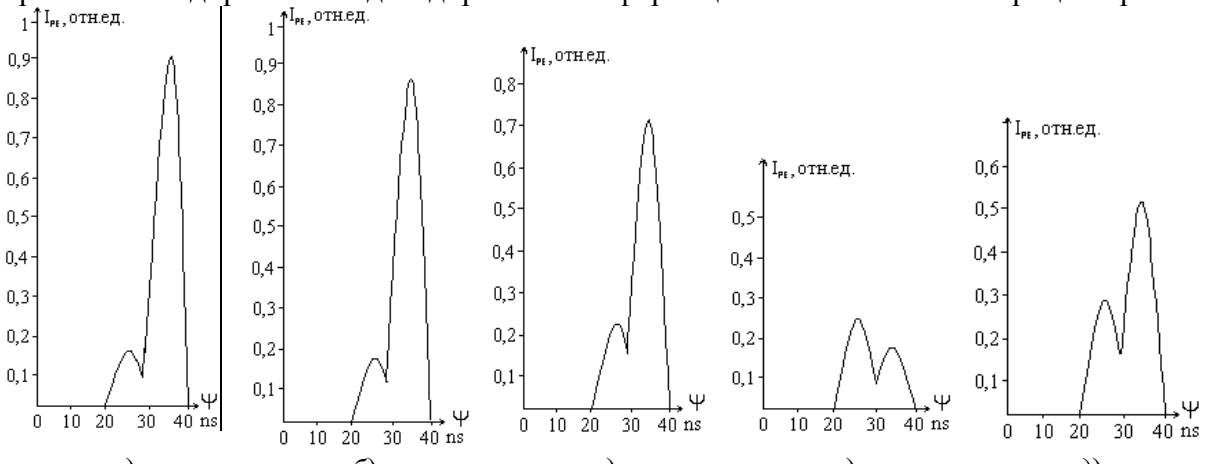
Оба эхо-сигнала на пути к фоторегистратору проходили через поляризатор с плоскостью поляризации, ориентированной вдоль направления вектора поляризации второго возбуждающего импульса. Таким образом, на фоторегистратор попадала сумма интенсивностей эхо-сигналов, соответствующих проекции формируемых сигналов ФЭ на плоскость поляризации второго возбуждающего импульса.



а) б)

Рис. 4. Порядок формирования формы и направления вектора поляризации возбуждающих импульсов и эхо-сигналов при реализация принципа идентификации типа ветви квантового перехода на основе поляризационных и амплитудно-временных свойств ФЭ: *а* – иллюстрация оптических импульсов в пространстве; *б* – направления векторов поляризации оптических импульсов в плоскости *XOZ*. Здесь: $I_1^{(1)}$ - интенсивность одногорбой составляющей первого возбуждающего импульса; $I_1^{(2)}{}_{(а)}$ и $I_1^{(2)}{}_{(б)}$ – интенсивности экстремальных значений двугорбой составляющей первого возбуждающего импульса-кода; I_2 – интенсивность второго возбуждающего импульса; $I_{фэ}^{(1)}$ и $I_{фэ}^{(2)}$ – интенсивности двух эхо-сигналов, сформированных с участием, соответственно, одногорбой и двугорбой составляющих первого возбуждающего импульса-кода спектральных линий.

Вклад одногорбового и двухгорбового эхо-сигналов в регистрируемую фотодетектором амплитудно-временную форму сигнала ФЭ был различным для различных типов ветви спектральной линии (рис. 5). По заранее заданному соотношению первого и второго горбов регистрируемого эхо-сигнала (рис. 6) определялся тип ветви, к которому относится спектральная линия, резонансная к возбуждающему лазерному излучению. Исходя из выбранного типа ветви спектральных линий, задавались значения дипольного момента квантового перехода и выбиралась функция зависимости угла нефарадеевского поворота вектора поляризации фотонного эха от величины напряженности приложенного магнитного поля. Тем самым выбирались величины, входящие в протоколы кодирования и декодирования информации оптического эхо-процессора.



а) *б*) *в*) *г*) *д*)

Рис. 5. Осциллограммы проекции суммарного эхо-сигнала на ось поляризации OX для соответствующих зависимостей $\varphi = f(\psi)$ при $\psi_{и1}=52^0$:
а) $\mathrm{tg}\varphi = 1/3\mathrm{tg}\psi$, *б*) $\mathrm{tg}\varphi = -1/2\ \mathrm{tg}\psi$, *в*) $\mathrm{tg}\varphi = 1/8\ \mathrm{tg}\psi$, *г*) $\mathrm{tg}\varphi = \mathrm{tg}0$; *д*) $\mathrm{tg}\varphi = -1/7\mathrm{tg}\ \psi$.

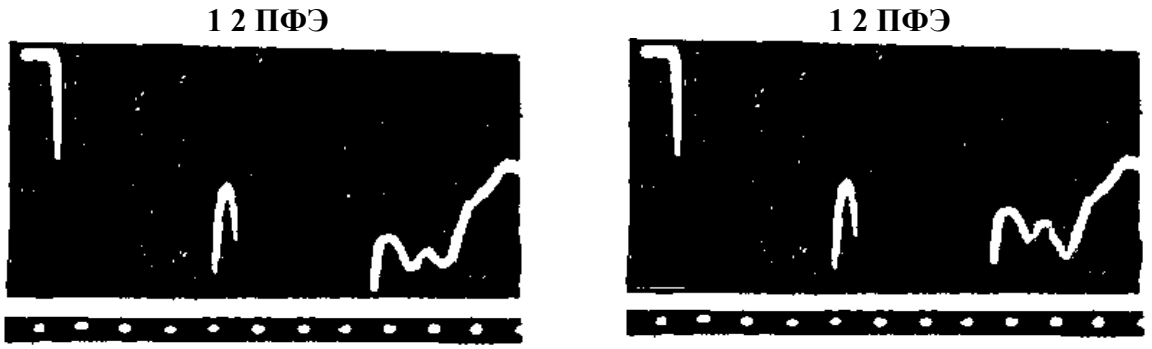


Рис. 6. Пример формирования ПФЭ одними и теми же сложно-кодированными возбуждающими лазерными импульсами 1 и 2 на резонансных переходах паров молекулярного йода, относящихся к различным типам ветви, характеризующимися зависимостями $tg\varphi$ =tg0 и $tg\varphi$ = -1/7$tg\psi$; временной масштаб: 1 метка – 10 нс.

В оптическом эхо-дальномере перед началом измерений в автоматическом режиме выставлялась резонансная частота для рабочего квантового перехода, относящегося к типу ветви, для которого характерна выбираемая зависимость $\tau_{12}= f(\varphi)$, где τ_{12} – интервал времени между возбуждающими импульсами. Затем проводилась идентификация типа ветви реально выбранного квантового перехода, и микропрограммой выбиралось соответствующее выражение $\tau_{12}= f(\varphi)$, которое в дальнейшем использовалось при обработке результатов измерений.

Для контроля выбранного диапазона измерения расстояния использовалась методика, поясненная на рис. 7. Сигнал ФЭ возбуждался лазерными импульсами с различными направлениями векторов линейной поляризации. При наличии продольного однородного магнитного поля в резонансной среде формировались эхо-сигналы, которые испытывали нефарадеевский поворот вектора поляризации. При этом имело место изменение амплитуды проекций сигналов ФЭ на направление $\boldsymbol{e}_{вых}$ под воздействием продольного магнитного поля. Для поддержания фиксированного оптимального значения нефарадеевского поворота вектора поляризации эхо-сигналов $\varphi_{опт}$, прикладывалось магнитное поле соответствующей напряженности H. При этом амплитуды возбуждающих импульсов с векторами поляризации $\boldsymbol{e}_{вх}^{(1)}$ и $\boldsymbol{e}_{вх}^{(2)}$ подбирались такими, чтобы величины обоих горбов в сигнале суммарного ФЭ, регистрируемого фотодетектором, были равными (рис. 7, д). Вследствие изменения временного интервала между опорным и зондирующим импульсами, вследствие изменения дистанции между двумя объектами, наблюдалось отклонение величины угла нефарадеевского поворота вектора поляризации ФЭ φ от значения $\varphi_{опт}$ в допустимом диапазоне регулирования от $\varphi_{мин}$ до φ_{max}, соответствующем рабочему диапазону значений контролируемой дистанции ΔS. При этом границы диапазона регулирования определялись по соотношению амплитуд горбов регистрируемого суммарного эхо-сигнала, т.е. это соотношение не должно было превышать значения, указанные на рис. 7 *г* и рис. 7 *е*.

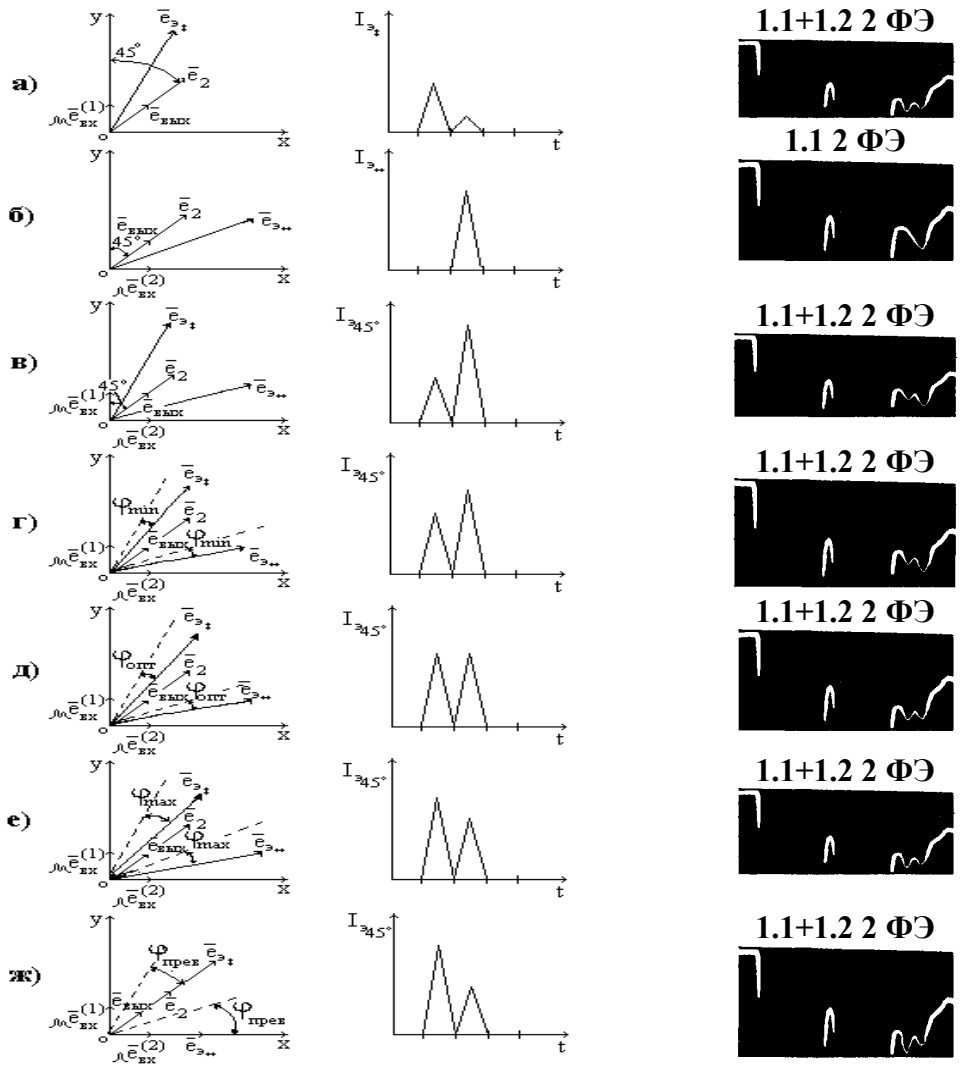


Рис. 7. Иллюстрация амплитудно-временных свойств ФЭ, возбуждаемого опорным импульсом, при воздействии продольного магнитного поля: слева – направление векторов поляризации возбуждающих импульсов и импульсов, составляющих эхо-сигнал, направление плоскости поляризации входной $\boldsymbol{e}_{вх}$ и выходной $\boldsymbol{e}_{вых}$ призм; в центре и справа– соответственно, графическая иллюстрация и осциллограммы суммарной интенсивности проекций эхо-сигнала; *а* и *б* – формы эхо-сигналов, формируемых одной компонентой опорного импульса; *в* и *ж* – соответствуют значению напряженности магнитного поля *H,* лежащему за пределами диапазона допустимых значений (причем *в* – соответствует значению *H*, равному нулю), *г* и *е* – лежащему на границе контролируемого диапазона, *д* – лежащему внутри контролируемого диапазона

В случае превышения значения указанного соотношения в интервале значений, определяемых соотношениями, показанными на рис. 7 *в* и рис. 7 *ж*, вырабатывался управляющий сигнал на коррекцию дистанции. За пределами этих крайних границ вырабатывался сигнал аварийной ситуации и коррекции значения контролируемой дистанции.

Данная работа поддержана грантом РФФИ № 06-02-16416 а.

Литература
[1] Алексеев А.И. *Письма в ЖЭТФ* **9** (1969) 472.
[2] Алексеев А.И., Евсеев И.В., *ЖЭТФ* **57** (1969)1735.
[3] Baer T., Abella T.D., *Phys. Rev. V* **16** (1977) 2093.
[4] Попов И.И., Бикбов И.С., Евсеев И.В., Самарцев В.В., *Журнал прикл. Спектроскопи*и **52** (1990) 794.
[5] Газизов К.Ш., Гладышев А.М., Попов И.И., Самарцев В.В., Бикбов И.С. Способ измерения расстояния на основе поляризационных свойств фотонного эха // положительное решение о выдаче патента от 26 февраля 2007 г. ПМК *G01 3/00* (2006.01) по заявке № 2005134334/28(038387) от 7 ноября 2005.
[6] Газизов К.Ш., Гладышев А.М., Севрюгин Е.Ю., Попов И.И., Самарцев В.В Магнитооптический датчик тока на основе фотонного эха // Патент на изобретение ПМК 7 *G 01 R 33/032. R 19/00* – от 27 сентября 2006 №.2284529.
[7] Попов И.И., Бикбов И.С., Евсеев И.В., Самарцев В.В. Наблюдение поворота вектора поляризации светового (фотонного) эха в молекулярном газе / // Журнал прикл. спектроскопии. – 1990. – Т.52. – №5. – С. 794-798.
[8] Газизов К.Ш., Попов И.И. Метод выбора рабочего квантового перехода в оптическом эхо-дальномере на основе амплитудно-временной формы фотонного эха// Девятая международная молодежная научная школа "Когерентная оптика и оптическая спектроскопия": Сб. статей. – Казань, КГУ. –2005. – С. 287-295.
[9] Евсеев И.В., Ермаченко В.М. Фотонное эхо на смежных оптически разрешенных переходах / // ЖЭТФ. – 1979. – Т.77. – №6. – С.2211-2219.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ГИПЕРКОМПЛЕКСНОГО ОПТИЧЕСКОГО ЭХО-ПРОЦЕССОРА И КОНТРОЛЬ В НЕМ ДАВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСНОГО ГАЗА

В.Т. Нигматуллина, И.И. Попов, Г.Л. Попова

ГОУ ВПО Марийский государственный университет
(424001, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1)
E-Mail: popov@marsu.ru

Сообщается о разработке и экспериментальном подтверждении методики контроля давления паров резонансной среды за один акт возбуждения сигнала ФЭ по спаду кривой зависимости интенсивности сигнала ФЭ от временного интервала между возбуждающими импульсами определялось время необратимой поперечной релаксации T_2. Из полученного значения этого времени релаксации определялась величина давления резонансного газа (паров молекулярного йода). Приводится подход к моделированию вычислительных операций на основе ФЭ, формируемого в режиме квантовой памяти. Рассмотрены методы и средства управления условиями возбуждения ФЭ, обеспечивающими физическое моделирование аналоговых вычислительных операций как над кватернионными, так и над тензорными величинами.

1. Методы и средства управления условиями возбуждения фотонного эха в гиперкомплексном оптическом процессоре

В данной работе сообщается о разработке методов и средств [1] управления условиями возбуждения ФЭ, обеспечивающим физическое моделирование аналоговых вычислительных операций как над кватернионными, так и над тензорными величинами. Разработана экспериментальная установка для возбуждения стимулированного ФЭ в парах молекулярного йод по *N*-каналам, отличающимся направлением поступления в резонансную среду второго возбуждающего импульса. Функциональная схемы вычислительного устройства (ВУ) (рис. 1) и оптического сопроцессора (рис. 2). ВУ осуществляет вычислительные операции с кватернионными величинами. Он имеет электронный и оптический сопроцессоры. Электронный сопроцессор кроме стандартных узлов содержит два входных и один выходной регистры цифровой информации, кодеры и декодеры информации. Специальное программное обеспечение электронного сопроцессора имеет входящую в состав кодеров программу кодирования обрабатываемой цифровой информации в цифровое значение физических величин, и входящую в состав декодеров программу декодирования регистрируемых в цифровом виде параметров сигнала ФЭ в цифровой код выходного кватерниона, программу записи библиотеки чисел, являющихся вычислительными константами, и программу формирования адресов библиотеки чисел. В каждом разряде регистров электронного процессора записывается четыре коэффициента кватерниона, соответствующие этому разряду. Для записи этих коэффициентов выделяется четыре поля по несколько бит информации в выбранном формате представления чисел.

Перед началом работы ВУ электронный сопроцессор насчитывает и загружает в память все величины, необходимые для работы оптического сопроцессора, соответствующие возможным комбинациям значений коэффициентов входных кватернионных величин. Эти комбинации одновременно используются для задания адреса в памяти ВУ, по которому записывается или считывается соответствующая вычисленная константа. Вычислительные константы содержат возможные цифровые значения всех физических величин, входящих в протоколы кодирования и декодирования информации.
Схема оптического сопроцессора приведена на рис. 2. В его работе используются сигналы многоканального ФЭ [1], формирующиеся по нескольким направлениям их распространения. По вертикальной оси располагаются *N* каналов обработки информации, соответствующие разрядам второй входной кватернионной величины. По горизонтальной оси идет выборка одного из *l* направлений волнового вектора второго возбуждающего импульса в каждом из каналов ООИ с номером от 0 до (*N-1*). Выбранное значение волнового вектора второго возбуждающего импульса входит в первый протокол кодирования и протокол декодирования информации.

После загрузки электронного сопроцессора оптический сопроцессор считается готовым к работе в реальном масштабе времени. То есть время работы оптического сопроцессора определяется временем формирования сигналов ФЭ и может лежать в диапазоне от единиц наносекунд до нескольких микросекунд при условии высокого быстродействия его блока управления, устройств возбуждения и регистрации сигнала ФЭ. Важными задачами построения оптического сопроцессора для кватернионных величин являются обеспечение соответствия коэффициентов входных и выходного кватернионов численным значениям физических величин, используемых как при возбуждении сигнала ФЭ, так и при его численном расчете, и определение диапазона изменения и шага дискретизации аналоговых значений физических величин. При изменении любого

из коэффициентов входного кватерниона на единицу параметры процесса возбуждения сигнала ФЭ должны измениться на столько, чтобы было обеспечено изменение значений коэффициентов выходного кватерниона, получаемых из регистрируемых параметров сигнала ФЭ.

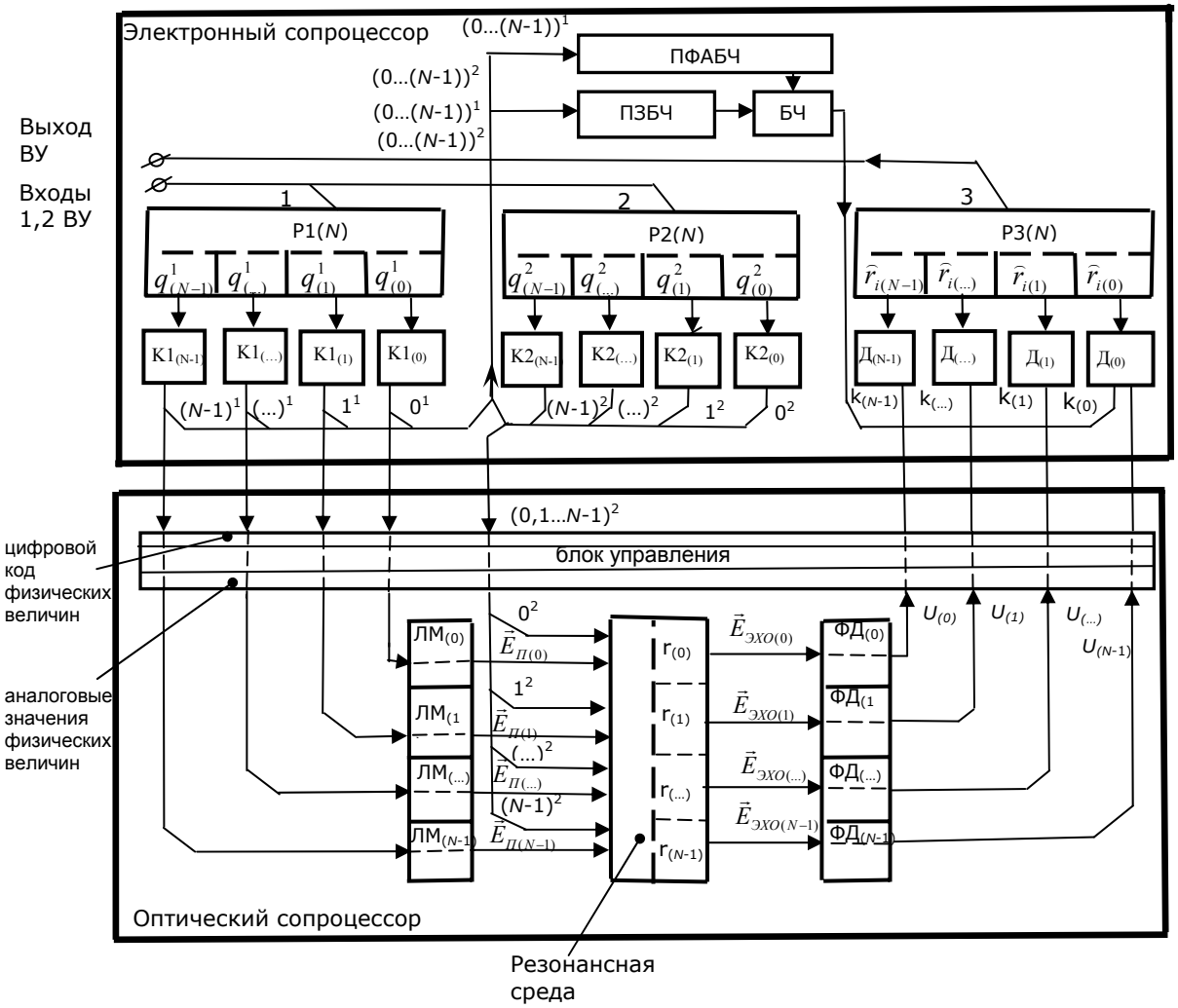


Рис. 1. Функциональная схема ВУ для работы с числами, содержащими N кватернионных разрядов: *(0)…(N-1)* – номера каналов обработки информации, соответствующих номерам разрядов в обрабатываемых числах; Р1(N) и Р2(N) – первый и второй входные регистры приема обрабатываемой информации; $К1_{(0)}…К1_{(N-1)}$ и $К2_{(0)}…К2_{(N-1)}$ – кодеры информации; $Д_{(0)}…Д_{(N-1)}$ – декодеры информации; БЧ – библиотека чисел; ПЗБЧ – программа записи библиотеки чисел; ПФАБЧ – программа формирования адресов библиотеки чисел; $ЛМ_{(0)}…ЛМ_{(N-1)}$ – элементы матрицы лазеров; $ФД_{(0)}…ФД_{(N-1)}$ – элементы матрицы фотодиодов; $q_{(0)...}q_{(N-1)}$ – кватернионные разряды первого и второго входных чисел; $r_{(0)}...r_{(N-1)}$ – вектора Блоха в N каналах ООИ; $\hat{r}_{(0)} \dots \hat{r}_{(N-1)}$ - кватернионные разряды выходного числа; $U_{(0)}...U_{(N-1)}$ – амплитуды напряжения электрических сигналов ФЭ; $\vec{E}_{П(0)} \dots \vec{E}_{П(N-1)}$ – амплитуды напряженности возбуждающего поля; $\vec{E}_{ЭХО(0)} \dots \vec{E}_{ЭХО(N-1)}$ – амплитуды сигналов ФЭ.

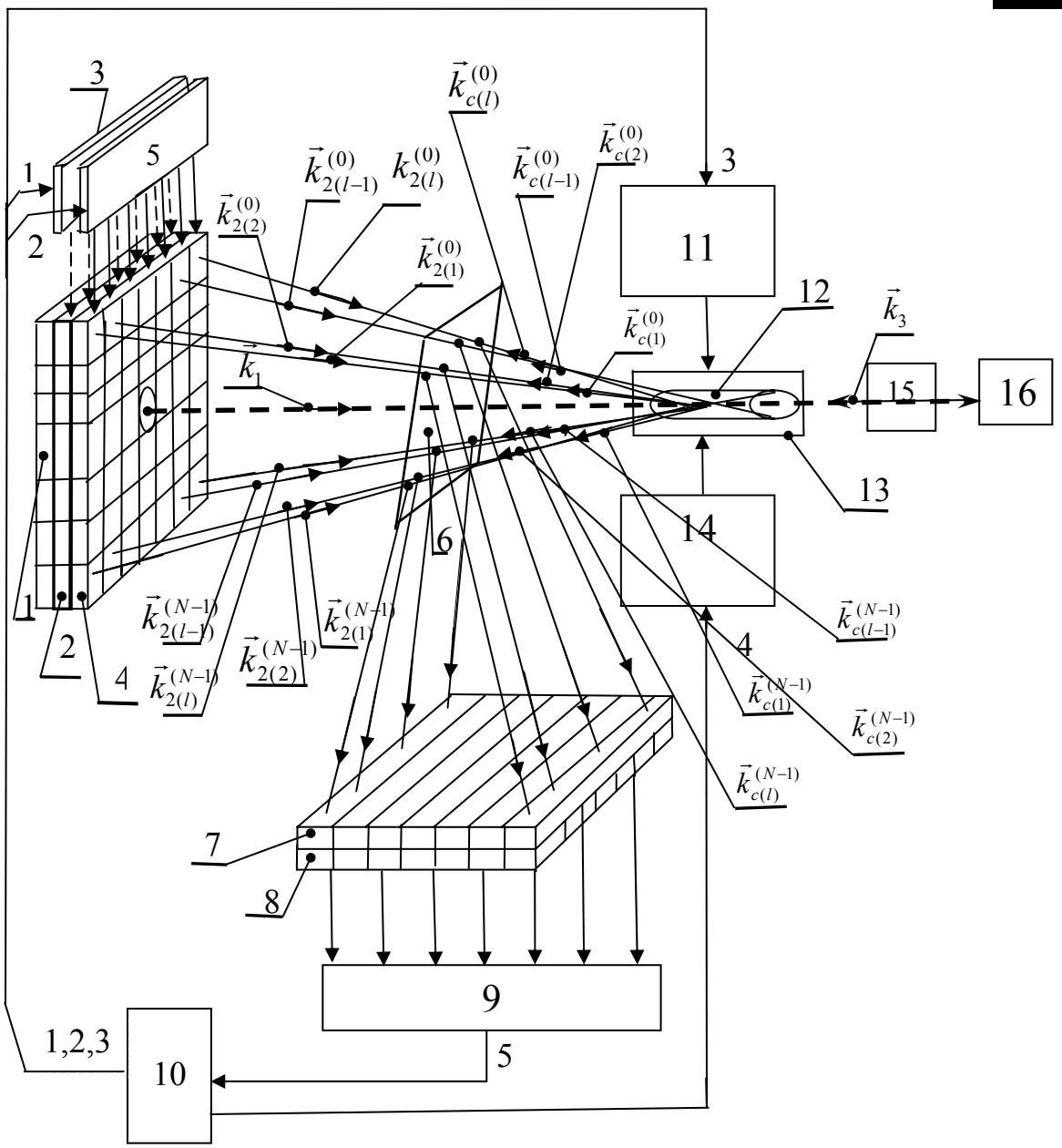


Рис. 2. Функциональная схема оптического сопроцессора: 1 – матрица полупроводниковых лазеров; 2 – модулятор частоты лазерного излучения (МЧЛИ); 3 – блок управления МЧЛИ; 4 – модулятор амплитудно-временных параметров лазерных импульсов (МАВП ЛИ); 5 – блок управления МАВП ЛИ; 6 – полупрозрачное зеркало; 7 –модулятор показателя преломления света; 8 – фотодиодная матрица; 9 – приемное устройство; 10 – электронный процессор (кодер/декодер); 11 – микрохолодильник; 12 – кювета с резонансной газовой средой; 13 – соленоид; 14 – источник магнитного поля; 15 – устройство регулирования показателя преломления света; 16 – оптическая линия задержки; $\vec{k}_i$ – волновой вектор оптического импульса, где i=1, 2, 3, с – номера волновых векторов возбуждающих импульсов и эхо-сигнала; N – номер канала ООИ; l – номер позиции k_2 в N канале ООИ соответствующего ему эхо-сигнала.

В данном оптическом эхо-процессоре формировались N-сигналов ФЭ, распространяющихся в различных направлениях, отличающихся на небольшой угол, составляющий доли радиана. Угол отклонения направления распространения отдельного эхо-сигнала относительно продольной оси пучка эхо-сигналов использовался в качестве

кодируемого параметра при разработке алгоритма вычисления экспоненциальных функций. Здесь использовалась зависимость экспоненциального затухания интенсивности сигнала ФЭ от величины этого угла. Выбором номера канала оптической обработки информации задавался угол между направлениями распространения возбуждающих импульсов. Разработана функциональная схема оптического эхо-процессора, на которой показаны связи для прохождения сигналов и формирования условий возбуждения сигналов ФЭ, включая формирование напряженности продольного магнитного поля, прикладываемого к резонансной среде и обеспечение давления паров молекулярного йода, заданных протоколом кодирования. Несколько каналов формирования ФЭ выделялись для реализации режимов контроля параметров резонансной среды и возбуждающего лазерного излучения. Остальные каналы определялись для оптической обработки информации. Совокупностью обрабатываемых по разным каналам кватернионных величин предусмотрено представление определенных значений тензорных величин, для которых определены пути разработки алгоритмов вычислительных операций. Показана возможность применения гиперкомплексного процессора в медицине для прогнозирования последствий возможной коррекции состояния организма человека [2].

2. Моделирование вычислительных операций в оптическом эхо-процессоре в режиме квантовой памяти

Предлагается подход к моделированию вычислительных операций на основе ФЭ, формируемого в режиме квантовой памяти (рис. 3) [3].

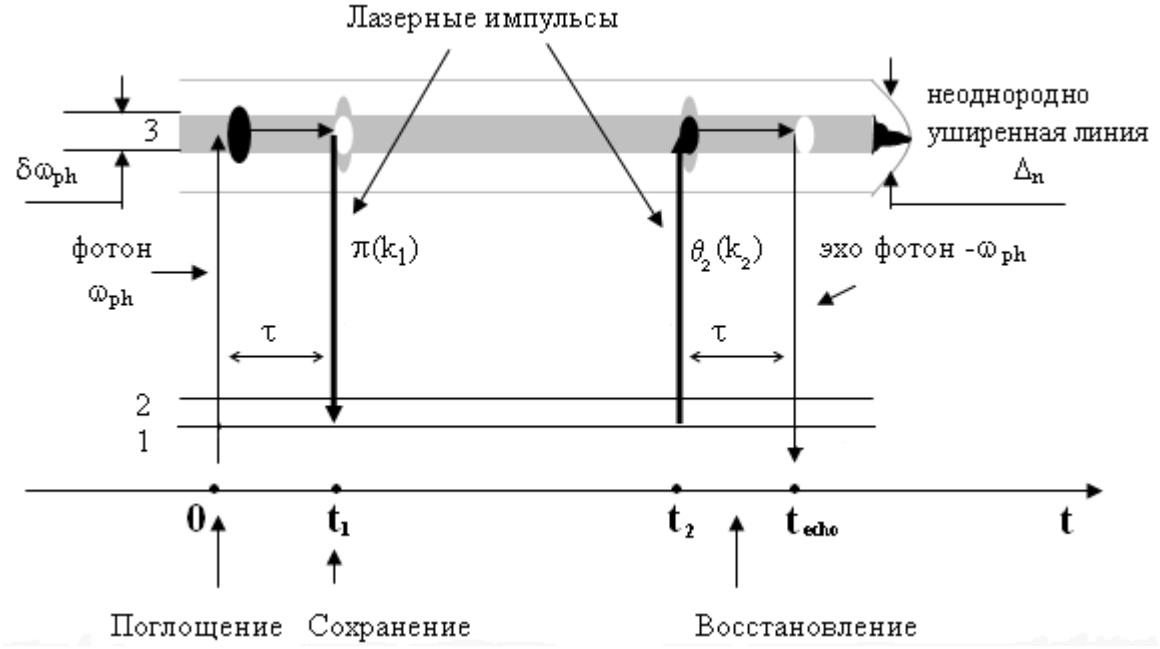


Рис. 3. Энергетическая схема уровней и временная последовательность квантовых переходов в технике квантовой памяти.

В основе этого подхода лежит использование формализма алгебры кватернионов вместо алгебры матричного исчисления для расчета сигналов ФЭ, формируемого в режиме квантовой памяти. В этом случае обрабатываемые входные цифровые кватернионные величины по специальному протоколу кодирования моделировались в виде параметров возбуждающего излучения и резонансной среды, обеспечивающих

реализацию режима квантовой памяти на ФЭ. При этом протекающие физические процессы формирования эхо-сигнала воспроизводили в аналоговом виде алгоритм его вычисления. Параметры регистрируемого эхо-сигнала ФЭ по специальному протоколу декодирования преобразовывались в цифровой код результирующего кватерниона. При этом точность вычислений определялась шагом дискретизации аналоговых величин и диапазоном допустимых значений параметров возбуждающего лазерного поля, резонансной среды и регистрируемого эхо-сигнала. Применение возможность манипуляции интенсивностями многократно считываемых эхо-сигналов, которой обладает квантовая память на ФЭ, расширялся ряд возможных реализуемых алгоритмов вычислений.

3. Контроль давления паров резонансной среды

Для повышения точности работы оптического сопроцессора разработана и экспериментально подтверждена методика контроля давления паров резонансной среды за один акт возбуждения сигнала ФЭ по спаду кривой зависимости интенсивности сигнала ФЭ от временного интервала между возбуждающими импульсами по формуле (1) определялось время необратимой поперечной релаксации T_2. (рис.4)

$$T_2 = \frac{4(\tau_{12} - \tau_{12(0)})}{\ln\left(I_{П(0)} \big/ I_{П}\right)} \quad (1)$$

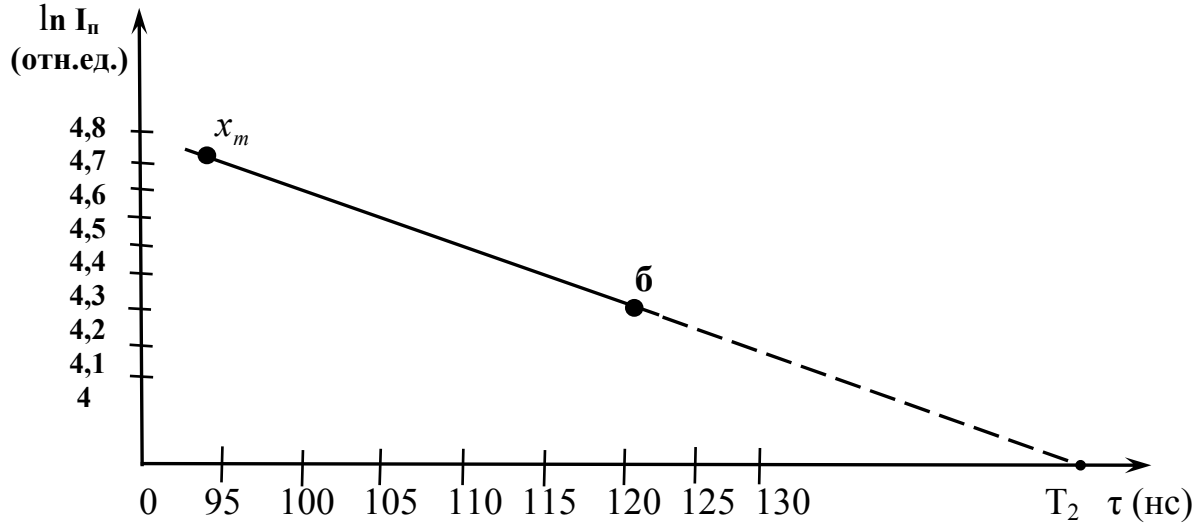


Рис. 4. Зависимость интенсивности первичного фотонного эха в парах молекулярного йода от временного интервала между возбуждающими импульсами в первом поляризационном канале (т. а) и во втором канале (т. б) (λ=571 нм, $P_г$=27 МТорр).

На рис.5. показана возможность независимой оптической обработки информации в двух, линейно поляризованных в ортогональном направлениях каналах. Этот способ возбуждения ФЭ использовался для получения двух значений интенсивности ФЭ в двух каналах линейной поляризации в ортогональных направлениях возбуждающих импульсов и регистрируемых эхо-сигналов (рис. 6). Временной интервал между возбуждающими импульсами в этих двух каналах имел различное значение.

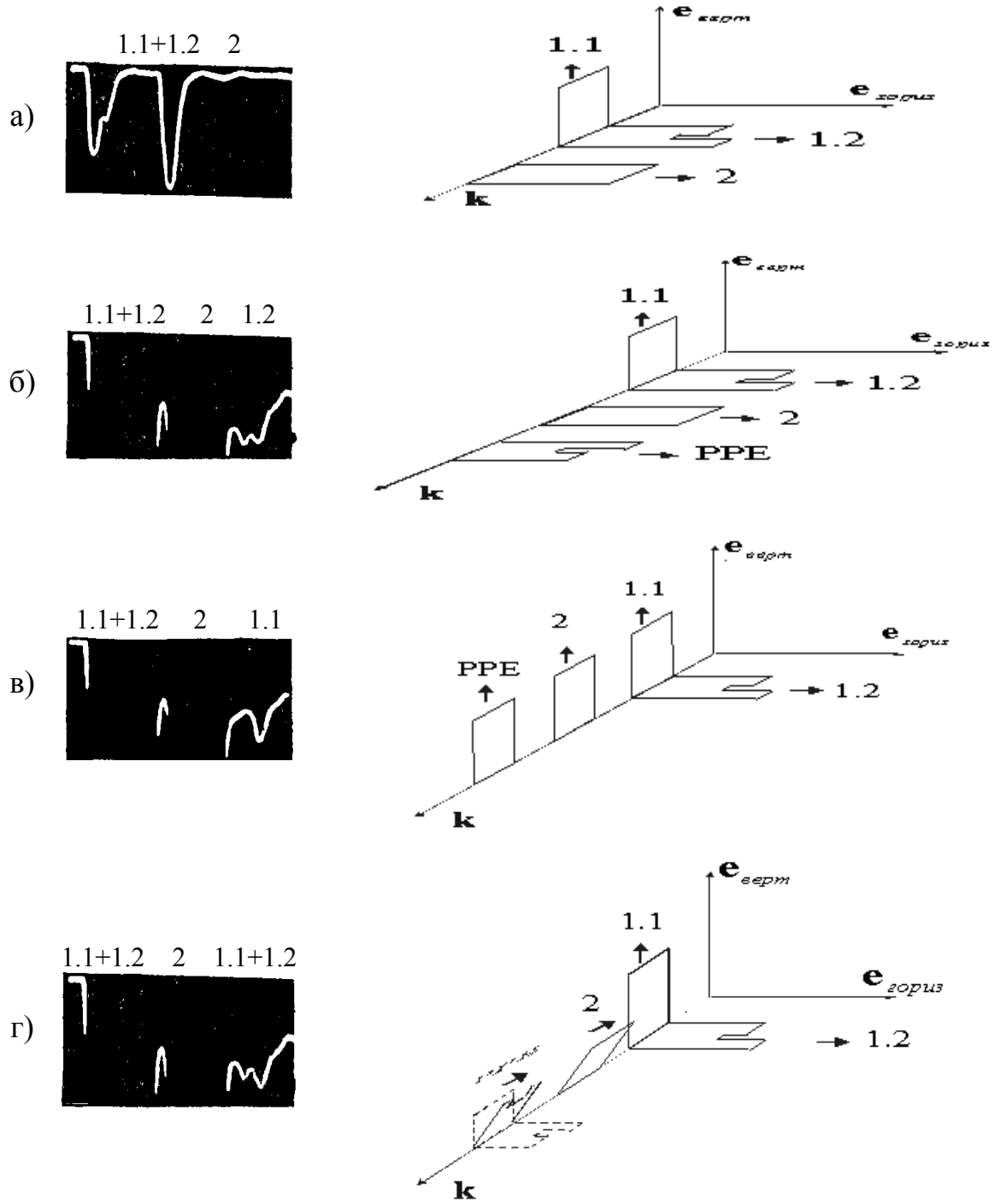


Рис. 5. Экспериментальная иллюстрация применения техники ФЭ для оптической обработки информации, вложенной в составной первый возбуждающий импульс-код, по направлению вектора линейной поляризации второго возбуждающего импульса: *а)* Адитивная смесь двух элементов (вертикально поляризованного одногорбового импульса 1.1 и горизонтально поляризованного двугорбового импульса 1.2) оставного возбуждающего импульса-кода и второй возбуждающий импульс 2; *б*) Выбранный в сигнале ФЭ фрагмент информации 1.2 по горизонтальному поляризационному признаку, содержащемся во 2 возбуждающем импульсе; *в*) Выбранный в сигнале ФЭ фрагмент информации 1.1 по вертикальному поляризационному признаку, содержащемся во 2 возбуждающем импульсе; *г*) Выбранная в сигнале ФЭ адитивная смесь фрагментов информации, содержащихся в импульсе 1.1 и 1.2 по вектору поляризации линейно поляризованного второго возбуждающего импульса.

Первый возбуждающий импульс подавался одновременно по обоим каналам, а второй возбуждающий импульс подавался в каждом канале через различный временной интервал после первого импульса. Интенсивность первых возбуждающих импульсов в обоих поляризационных каналах имела одинаковую величину. То же самое условие выполнялось и для вторых возбуждающих импульсов. Таким образом, эхо-сигналы формировались в обоих сигналах одновременно при одних и тех же параметрах резонансной среды. В канале с меньшим интервалом между возбуждающими импульсами интенсивность эхо-сигнала была больше, чем во втором канале. В обслуживающем цифровом микропроцессоре по формуле (1) вычислялось время T_2 по соотношению регистрируемых интенсивностей эхо-сигналов, формируемых в разных поляризационных каналах, при постоянных значениях временных интервалов между возбуждающими импульсами в обоих каналах.

Из полученного значения этого времени релаксации [4] определялась величина давления резонансного газа (паров молекулярного йода) из формулы (2).

$$\gamma^{(1)} = \frac{1}{T_2} = A + B \cdot P_{\Gamma} \quad (2)$$

При этом использовались значения взятых справочных констант для резонансного перехода. Константа *A* отражала величину радиционного уширения спектральной линии. Константа *B* отражала величину уширения резонансной спектральной линии, обязанного упругим и неупругим столкновениям активных частиц газа.

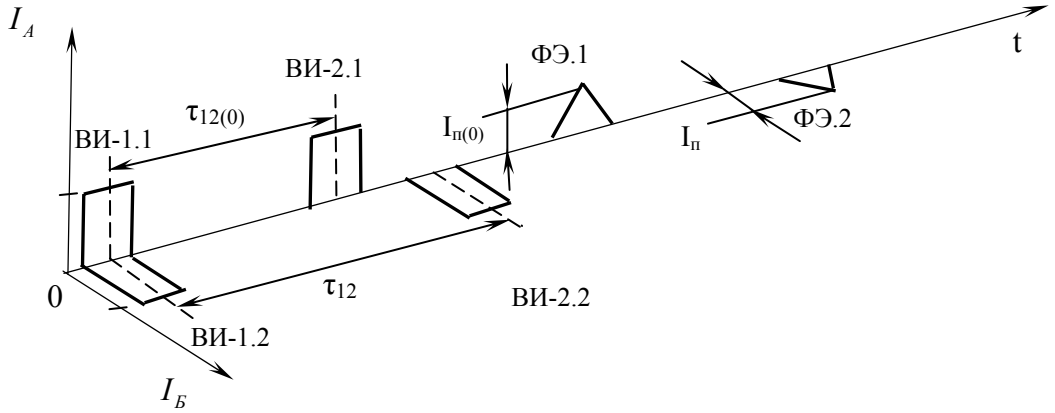


Рис. 6. Схема формирования первичного фотонного эха в двух поляризационных каналах обработки информации (в *А* и *Б* каналах) во времени, где I_A и $I_Б$ - интенсивности излучения резонансной средой сигналов возбуждающих импульсов и ФЭ в *А*- и *Б*-канале, соответственно; ВИ-1.1 и ВИ-1.2 – первые возбуждающие импульсы в *А*-канале и *Б*-канале, соответственно; ВИ-2.1 и ВИ-2.2 – вторые возбуждающие импульсы в *А*-канале и *Б*-канале, соответственно; ФЭ.1 – сигнал первичного ФЭ в первом канале (*А*), ФЭ.2 – во втором канале (*Б*); $\tau_{12(0)}$ – временной интервал между возбуждающими импульсами в *А*-канале, τ_{12} – временной интервал между возбуждающими импульсами в *Б*-канале; $I_{п(0)}$ и $I_п$ – интенсивности излучения первичного ФЭ в *А*- и *Б*-канале, соответственно.

Заключение

Полученные результаты по моделированию аналоговых оптических вычислений над гиперкомплексными величинами превосходит по вычислительным возможностям лучший на сегодня процессор фирмы «Интел», позволяющий оперировать только с комплексными числами. Предложенная экспериментальная установка многоканального

возбуждения сигналов ФЭ позволяет производить некоторые вычислительные операции над тензорными величинами за один цикл работы оптического эхо-процессора. Предложенный оптический эхо-процессор для решения NP-полных задач использует новый вычислительный алгоритм и на порядки повышает производительность вычислений, тогда как лучшие попытки создания процессоров для решения задачи о рюкзаке, относящейся к классу NP-полных задач, обеспечивали упрощение существующих алгоритмов вычислений в 3-4 раза. Впервые предложен оптический метод регистрации временного интервала между лазерными импульсами, позволяющий фиксировать информацию даже о фемтасекундных временных интервалах.

Данная работа поддержана грантом РФФИ № 06-02-16416 а.

Литература

[1] Попов И.И., Нигматуллина В.Т. Физическое моделирование вычислительных операций над гиперкомплексными числами и его роль в построении квантовой памяти на фотонном эхе // Изв. РАН, сер. физ. – 2008. – Т. 72. – №5.

[2] Nigmatullina V.T., Popov I.I., Kozlov V.A., Leukhin A.N. Photon echo as a method of optical processor construction for realization of computing operations above hypercomplex numbers // PROCEEDINGS OF SPIE. – 2008. – (принята в печать).

[3] Моисеев С.А. Квантовая память для интенсивных световых полей в технике фотонного эхо // Изв. РАН, сер. физ. – 2004. – Т. 68. – № 9. – С. 1260-1263.

[4] Евсеев И.В., Ермаченко В.М. Фотонное эхо при малых площадях возбуждающих импульсов // ЖЭТФ. – 1979. – Т. 76. – № 5. – С. 1538-1546.

«ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ИННОВАЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ»

РАДИОТЕРМОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ УРОВНЯ ГИДРАТАЦИИ ТКАНИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

А.Л. Азин, Е.В. Шебашева

Республиканский клинический госпиталь ветеранов войн,
Республика Марий Эл, 424037, г. Йошкар-Ола, ул. Осипенко, 24
e-mail: azin_rbvv@mail.ru

До недавнего времени казалось невозможным объективно оценить уровень гидратации ткани головного мозга как в норме, так и при патологических состояниях. В последние годы совершенствование метода глубинной радиотермометрии [1, 2] в сочетании с ультразвуковой допплерографией артерий мозга позволило одновременно решать задачи, раскрывающие функциональные изменения как в ткани мозга, так и в цереброваскулярной системе. Однако вопросы взаимоотношения сосудистого гемодинамического транспорта и не сосудистого межклеточного транспорта жидкости в ткани мозга остаются пока недостаточно изученными. Учитывая это, **целью** настоящей работы является оценка состояния сосудистого транспорта крови и не сосудистого межклеточного транспорта жидкости в ткани головного мозга у лиц, предрасположенных к внутричерепной гипертензии и к ускоренному старению.

Методы и материалы. Основная группа обследованных пациентов (79 человек) состояла из мужчин, перенесших боевую черепно-мозговую травму (ЧМТ) легкой степени (участники боевых действий и локальных вооруженных конфликтов). У всех представителей этой группы в остром периоде травмы были диагностированы сотрясение или ушиб головного мозга легкой степени в соответствии с общепринятой классификацией [3]. Клинические признаки ЧМТ безусловно были обусловлены повышенным уровнем внутричерепного давления. Средний возраст пациентов на момент проведения исследования составлял 39,3±8,5 лет, срок давности травмы к моменту исследования составил от 5 до 23 лет.

Вторая (контрольная) группа обследуемых состояла из практически здоровых мужчин в возрасте 35,8±9,5 лет (сверстников основной группы), не страдающих заболеваниями нервной и сердечно-сосудистой систем и не имеющих клинических признаков внутричерепной гипертензии. В геронтологическом аспекте для сравнения была обследована третья группа пациентов, состоявшая из 51 человек мужского пола в возрасте 79,1±2,5 лет – лица с признаками естественного старения организма.

Комплексная методика обследований включала в себя клиническое (неврологическое) и функциональные нейрофизиологические исследования:

оценку состояния кровотока в артериях основания головного мозга методом транскраниальной допплерографии на аппарате «Сономед-300» («Нейрософт», Россия).

оценку уровня гидратации ткани головного мозга с помощью компьютеризированного двухканального СВЧ-радиометра «РМ-40», (производства КБ «Экологическая

и медицинская аппаратура», Россия) с программным обеспечением для автоматизированного анализа радиотермограмм методом вейвлет-анализа [4].

Поскольку второй метод является оригинальной диагностической разработкой и пока не известен практической медицине, то на его описании следует остановиться подробнее. Принцип радиотермометрии основан на регистрации собственного (эндогенного) электромагнитного излучения нервной ткани в диапазоне частот от 650 до 850 мГц [5, 6]. Интенсивность излучения зависит от состояния метаболических процессов в клетках мозга. Поскольку стабильность тканевого метаболизма (источника излучения) – основная цель работы гомеостатических систем [7], то фоновая интенсивность эндогенного излучения в указанном диапазоне частот характеризуется постоянством (квазистационарностью). На пути рассеивания (диссипации) энергии от ткани мозга к поверхности головы лежат поглощающие пространства. Согласно данным литературы [2, 6], основной поглощающей средой для данного вида излучения является вода, которая содержится в межклеточных промежутках ткани, крови и ликворе (рис. 1).

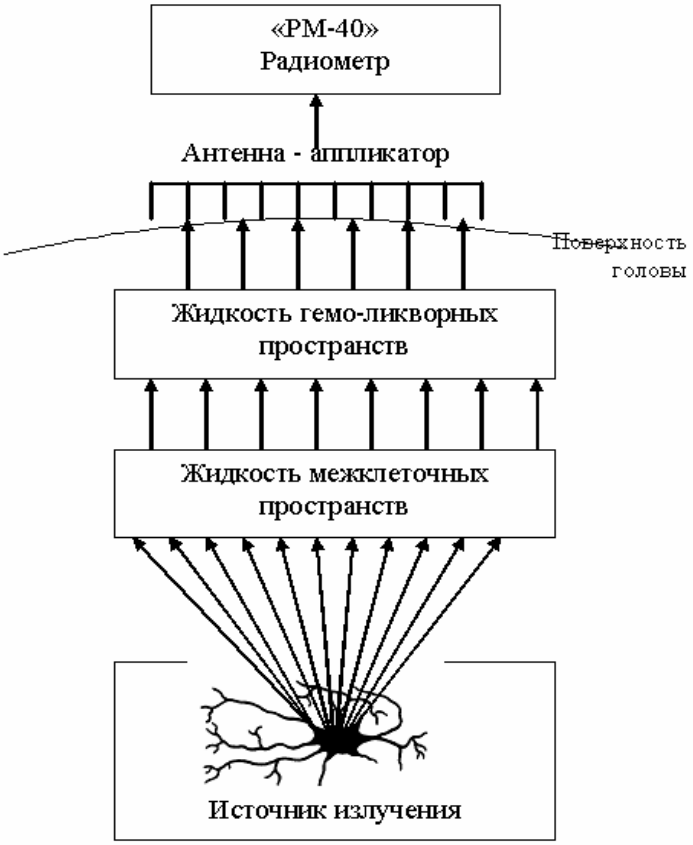


Рис. 1. Принцип метода радиотермометрии головного мозга (цит. по [7])

По литературным данным [3, 8], сигнал, поступающий на антенну-аппликатор радиометра, характеризуется нестабильностью, а амплитудно-частотные характеристики флуктуаций зависят в основном от медленных колебаний объемов межклеточных пространств в нервной ткани. Следовательно, при сопоставлении получаемых нами характеристик излучения с данными ультразвуковой допплерографии артерий мозга появляется возможность оценить состояние уровня гидратации мозга при различных состоя-

ниях организма, в том числе и в процессе развития внутричерепной гипертензии, формирующейся после ЧМТ, что и является предметом данного исследования.

Результаты измерений обработаны методами математической статистики с использованием программы Winstat 5.11.

Результаты и обсуждение. Неврологические обследование основной группы показало, что типичными клиническими признаками последствий ЧМТ являются: посттравматический синдром вегетативных дизрегуляций, встречающийся у 34,2 % больных, синдромы неврологического дефицита (в 21,5 % случаев), психических дисфункций (в 19,0 %), эпилептический (в 24,05 % случаев).

Адекватное кровоснабжение структур головного мозга является одним из ведущих звеньев в механизмах метаболического обеспечения функций мозга. Ранее было установлено [9], что в стареющем мозге снижается способность к ауторегуляции кровотока, снижается реактивность сосудов на углекислый газ, возникают ишемические зоны, усугубляющие явления цереброваскулярной недостаточности.

С целью сравнительной оценки параметров интракраниальной гемодинамики обследуемым была проведена транскраниальная допплерография. Результаты измерений представлены в табл. 1. Представленные результаты показали, что возрастные изменения в системе артерий головного мозга проявляется в постепенном уменьшении скоростных параметров артериального кровотока. Абсолютные значения средних линейных скоростей в средних мозговых артериях (СМА) с возрастом и у лиц, перенесших ЧМТ, снижаются, а показатели периферического сопротивления кровотоку (Pi) повышаются, тип течения крови по артериям приобретает турбулентный характер.

Таблица 1. Гемодинамические показатели в средней мозговой артерии (СМА) в состоянии покоя и при выполнении функциональных проб

Показатель	Норма (n=27)	Последствия ЧМТ (n=58)	Пожилые (n=51)
$V_{фон}$, см/с	97,13 ± 17,78	78,34 ± 17,43*	71,72 ± 16,42*
$Pi_{фон}$, ед	0,84 ± 0,21	0,90± 0,45	0,93 ± 0,18

p<0,001 (по сравнению с нормой)

Из данных, представленных в табл. 1 следует, что параметры артериального кровотока у лиц, предрасположенных к внутричерепной гипертензии (с последствиями ЧМТ), приближаются к таковым у геронтологической группы. Следовательно, можно предполагать, что сосудистая церебральная дисциркуляция способствует повышению тканевого и внутричерепного давления. Вместе с тем, процессы, повышающие тканевое давление, нарушают микроциркуляцию и сосудистую ауторегуляцию, замыкая тем самым «порочный круг». Поэтому вторая серия исследований была посвящена сравнительному анализу состояния межклеточного транспорта жидкости в ткани мозга у лиц, предрасположенных к внутричерепной гипертензии и у лиц находящихся в фазе естественного старения. Это исследование проводилось по параметрам собственного электромагнитного излучения ткани мозга в микроволновом (СВЧ) диапазоне методом радиотермометрии. В нашей работе измерялась мощность электромагнитных колебаний (в мК°) с периодом 50-60 с, характерных для несосудистого тканевого транспорта. Результаты оценивались после математической обработки флуктуаций методом вейвлет-анализа [4]. Ниже на рис. 2 приводится пример записи 2-х термограмм после обработки данным методом. Статистически обработанные результаты проведенной серии опытов представлены в табл. 2. Результаты исследований показали, что в группе лиц, предрас-

положенных к внутричерепной гипертензии, как и у пожилых лиц, происходит снижение мощности излучения в диапазоне колебаний 50-60 с, отражающих уровень гидратации нервной ткани. Следовательно, при ЧМТ и естественном старении объемы межклеточных пространств (гидроцефалия) нарастают. Представленные в таблице показатели при сопоставлении с другими клинико-физиологическими признаками могут быть критериями оценки уровня гидратации ткани мозга.

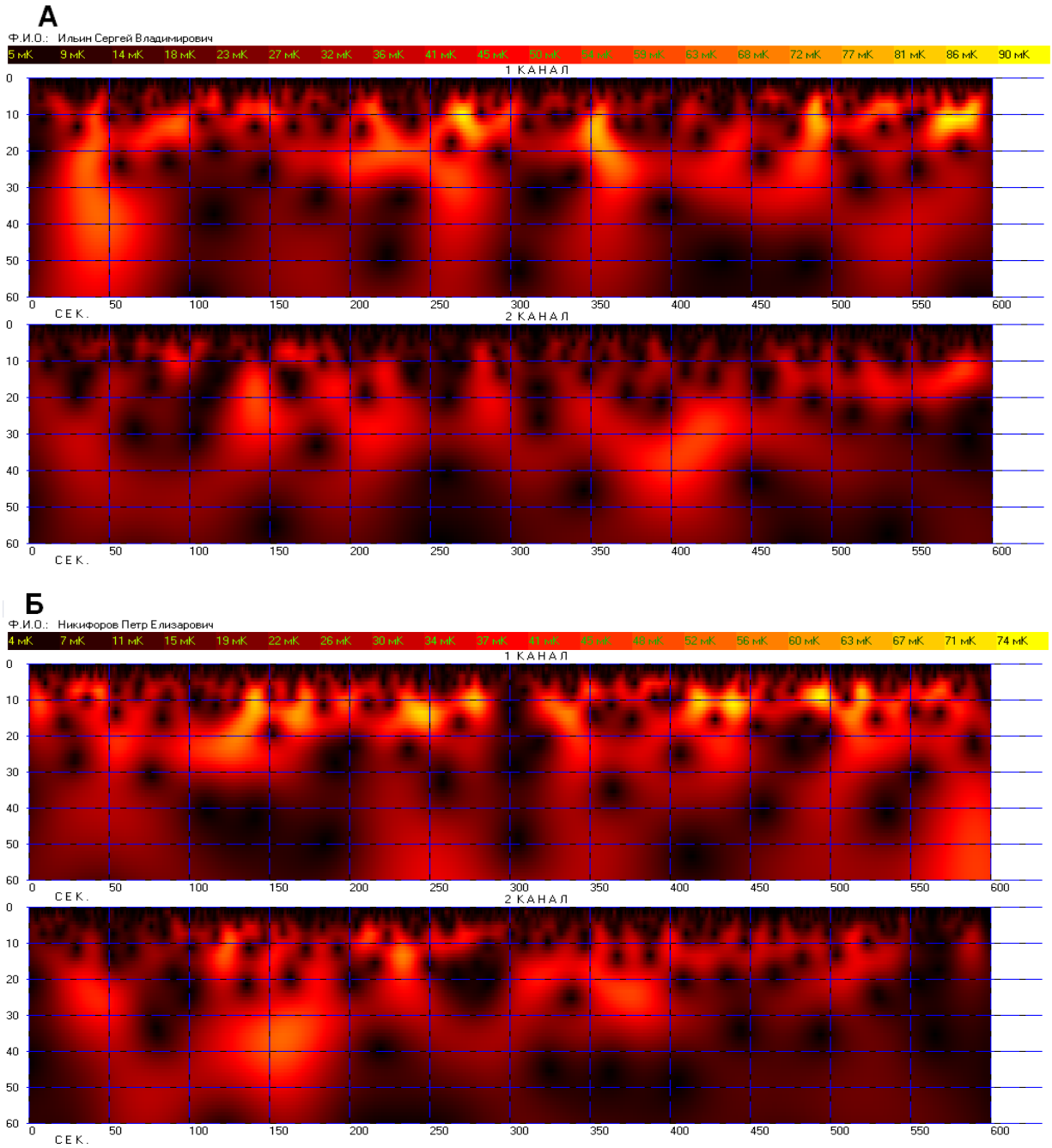


Рис. 2. Вейвлет-карты мощности собственного электромагнитного излучения ткани головного мозга: А – представитель основной групп (ЧМТ), Б – представитель геронтологической группы; 1-й канал – правое полушарие, 2-й канал – левое полушарие.

Таблица 2. Средние значения мощности микроволнового излучения головного мозга у представителей исследуемых групп, мК°

	Норма (n=21)	Последствия ЧМТ (n=48)	Пожилые (n=34)
А	20,1 ±0,99	21,9± 1,41	20,3± 0,50
Б	27,2 ±2,12	24,4 ± 2,67*	23,7 ± 1,87*

А – период 0-10 с (колебания кровотока), Б- 50-60 с (колебания объема межклеточных пространств); *P<0,05 (по сравнению с нормой)

Выводы

1. Снижение скоростных параметров кровотока в системе артерий основания головного мозга (78,34 ± 17,43 см/с и ниже в средних мозговых артериях), характерное для людей пожилого возраста, но выявляемое в молодом возрасте, следует рассматривать как гемодинамический признак формирования внутричерепной гипертензии.

2.Снижение интенсивности эндогенного излучения в ткани мозга с периодом флуктуаций 50-60 с (24,4 ± 2,67 мКº и ниже) у лиц, перенесших ЧМТ, следует рассматривать как признак снижения активности механизмов поддержания нормального уровня гидратации ткани мозга, что характерно для людей пожилого и старческого возраста.

3. Выявленное сходство гемодинамических и радиотермометрических параметров у лиц, перенесших ЧМТ, и у лиц, находящихся в фазе естественного старения, позволяет считать, что повышение уровня гидратации в ткани головного мозга является признаком инволютивных изменений в ЦНС. Следовательно, снижение уровня собственного электромагнитного излучения в тканях у людей относительно молодого возраста является обоснованием для своевременного назначения геропрофилактических мероприятий.

Литература

[1] А.Л. Азин, Л.Х. Хабибрахманова, А.В. Смирнов, В.С. Кубланов, *Клиническая геронтология,* 2004,**Т.10, №9**.

[2] А.Л. Власов, А.Л. Азин, В.С. Мякотных, *Актуальные вопросы геронтологии и гериатрии, медицинского обслуживания ветеранов войн,* Екатеринбург (1996).

[3] А.Н. Коновалов, Л.Б. Лихтерман, А.А. Потапов, *Классификация черепно-мозговой травмы,* М. (1992).

[4] И. Добеши, *Десять лекций по вейвлетам,* Ижевск: НИЦ «Регуляторная и хаотическая динамика» (2001).

[5] А.Л.Азин, В.С. Кубланов, *Медицинское обслуживание ветеранов войн,* Екатеринбург: УИФ «Наука» (1995).

[6] Э.Э. Годик, Ю.В. Гуляев, *В мире науки,*1990,**№5**.

[7] А.Л. Азин, Д.В. Груздев, В.С. Кубланов, *Вестник новых медицинских технологий* 2002, **Т.IX, №4**.

[8] А.Л. Азин, Л.Х. Хабибрахманова, А.В. Смирнов, В.С. Кубланов, *XIX Съезд физиолог. об-ва им. И.П. Павлова,* Екатеринбург (2004).

[9] Л.Х. Хабибрахманова, А.Л. Азин, А.Л.Зефиров, *Успехи геронтологии*, 2002, **Вып.10**.

ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТОДА ОДНОЧАСТОТНОГО БИОИМПЕДАНСНОГО ПРИ АНАЛИЗЕ СОСТАВА ТЕЛА

А.В. Васильев[1], Ю.В. Хрущева[1], Д.В. Николаев[2], Е.С. Чедия[3], С.В. Пушкин[2], С.Г. Руднев[4], М.В. Гаврик[5]

[1]ГУ НИИ Питания РАМН, [2]НТЦ «Медасс», [3]Кафедра питания РМАПО, [4]ИВМ РАН, г. Москва
[5]Ивановская областная клиническая больница, г. Иваново

Количественное изучение состава тела *in vivo* осуществляется различными методами. Основными недостатками большинства применяемых методик (калиперометрия, подводное взвешивание и т.п. являются трудоемкость, низкая воспроизводимость, необходимость проведения дополнительных ручных расчетов. Большинства этих недостатков лишена технология одночастотного биоимпедансного анализа, комбинированная с аналитическим методами, реализумыми с помощью вычислительной техники. За последние годы эта область биомедицинских исследований выделилась в отдельное научное направление, получившее название *науки о составе тела* [1]. Современный этап развития науки о составе тела характеризуется увеличением роли новых технологий и методов исследования [2, 3]. Наряду с традиционно используемыми для оценки состава тела методами антропометрии, калиперометрии и подводного взвешивания, получили развитие биофизические методы, самым распространённым из которых является *биоимпедансный анализ*– оперативный, неинвазивный и достаточно надёжный метод, используемый в клинических, амбулаторных и домашних условиях.

История и классификация методов биоимпедансного анализа состава тела

Начало применения биоимпедансного анализа для изучения состава тела человека связывают с работами французского анестезиолога А.Томассета, выполненными в начале 1960-х годов [4]. Метод основан на измерении импеданса всего тела или отдельных сегментов тела (Z) с использованием специальных приборов – биоимпедансных анализаторов. Величина импеданса имеет две компоненты – активное (R) и реактивное сопротивление (Xc), которые связаны следующим соотношением:

$$Z^2 = R^2 + Xc^2. \quad (1)$$

Субстратом активного сопротивления R в биологическом объекте являются жидкости (как вне-, так и внутриклеточные), обладающие ионным механизмом проводимости. Субстратом реактивного сопротивления Xc (диэлектрический компонент импеданса) являются клеточные мембраны.

По величине активного сопротивления рассчитывается общее содержание воды в организме (ОВО), высокая удельная проводимость которой обусловлена наличием в ней электролитов. Электрическое сопротивление жировой ткани примерно в 20 раз выше, чем основной массы тканей, составляющих безжировую массу тела (БМТ). Так как гидратация безжировой массы составляет в норме около 73% [1], то безжировая масса может быть оценена как

$$\text{БМТ} = \text{ОВО} / 0{,}73.$$

Hoffer и соавт. [5] показали наличие высокой корреляции между величиной импеданса и величинами ОВО, БМТ и жировой массы тела (ЖМТ), и построили регрессионные зависимости, связывающие эти величины с параметрами импеданса. Houtkooper и соавт. [6] систематизировали опубликованные к тому времени 55 формул для оценки показателей состава тела биоимпедансным методом: 18 для расчета ОВО, 29 для БМТ,

8% для ЖМТ. В указанной работе сообщалось, что точность[3] приведенных оценок составляет 0,9-1,8 кг для ОВО и 2,5-3,5% для ЖМТ. По величине реактивной составляющей импеданса рассчитываются величины основного обмена (ОО) и активной клеточной массы (АКМ) – массы мышц и внутренних органов.

Имеется несколько разновидностей биоимпедансного анализа, которые классифицируют по следующим признакам: *по частоте зондирования* (одно-, двух-, многочастотные), *по участкам измерений* (локальные, региональные, интегральные, полисегментные), *по тактике измерений* (однократные, эпизодические, мониторные). В данном методическом пособии рассматривается лишь одна наиболее часто используемая и полно верифицированная разновидность биоимпедансного анализа – одночастотные интегральные эпизодические измерения с расположением электродов на щиколотке и запястье с зондирующим током на частоте 50кГц. Около 90% всех измерений методом биоимпедансного анализа в мировой практике производятся именно таким способом.

Биофизические основы

Биоимпедансный анализ состава тела основывается на различиях электропроводности составляющих его тканей ввиду различного содержания в них жидкости и электролитов (табл. 1). Использование биоимпедансного анализа для оценки состава тела основано на устойчивом соотношении между содержанием воды в организме и безжировой массой тела [4, 5, 7] Результаты биоимпедансного анализа зависят от некоторого набора допущений относительно электрических свойств тела, его состава, гидратации, и плотности, а также возраста, пола, расовой принадлежности и физического состояния обследуемого [8, 9].

Таблица 1. Типичные значения удельного электрического сопротивления некоторых биологических тканей (Шван, Фостер, 1980; Уэбб, 1991)

Биологическая ткань	Удельное сопротивление, Ом × м
Кровь	1,5
Спинномозговая жидкость	0,65
Нервно-мышечная ткань	1,6
Легкие без воздуха	2,0
Скелетные мышцы	3,0
Печень	4,0
Кожа	5,5
Легкие при выдохе	7,0

Термин «биоэлектрический импеданс» стал общепринятым в зарубежных публикациях второй половины 20 века для характеристики электрических свойств биологических объектов, имеющих клеточную структуру. Импеданс измеряется при пропускании через биологический объект переменного тока в соответствии с законом Ома: $Z = U / I$, где U – разность потенциалов, а I – сила тока. Импеданс имеет размерность [Ом].

Первая электрическая модель клетки была предложена Фрике [10], который описал и объяснил зависимость импеданса от частоты тока (рис. 1). В области низких частот импеданс практически совпадает с величиной активного сопротивления, а реактивное сопротивление близко к нулю. При увеличении частоты тока реактивное сопротив-

[3] Под точностью здесь понимается величина стандартной ошибки по сравнению с эталонным методом. В качестве эталонного метода при оценках жировой и безжировой массы принято рассматривать метод гидроденситометрии.

ление возрастает до определенного максимума, соответствующего характеристической частоте f_c. При дальнейшем увеличении частоты реактивное сопротивление уменьшается, и в пределе импеданс будет снова равен активному сопротивлению. На рис. 1 видно, что при изменении частоты тока меняется угол между векторами импеданса и активного сопротивления. Он имеет название *фазового угла*, и определяется как арктангенс отношения реактивного и активного сопротивлений:

$$\varphi = \text{arctg}\ (Xc/R).$$

Для практического применения биоимпедансного метода к задачам оценки состава тела существенной является взаимосвязь геометрической формы исследуемого объекта и величины импеданса биологического объекта: величина импеданса пропорциональна длине измеряемого участка тканей и обратно пропорциональна площади его поперечного сечения.

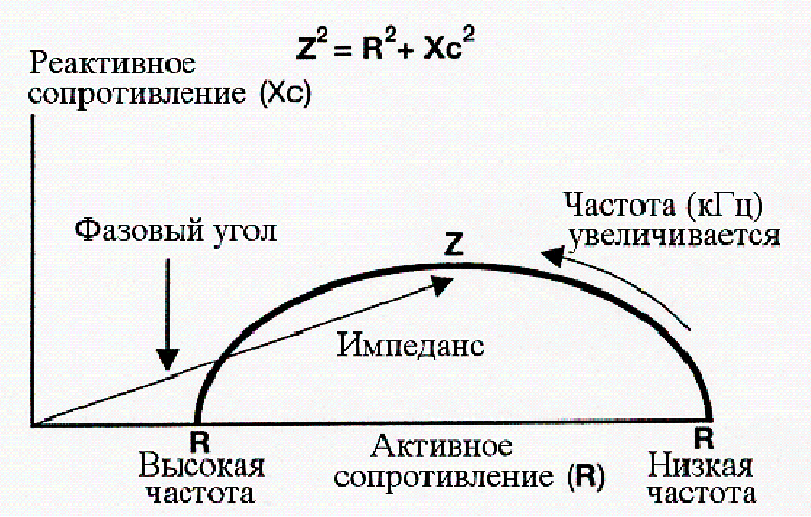


Рис. 1. Зависимость величины импеданса от частоты зондирующего тока (Heymsfield et al. 2005)

Для однородного изотропного проводника постоянного сечения, поперечные размеры которого много меньше его длины, справедливы следующие соотношения:

$$V = L \times S,$$
$$R = \rho \times L / S,$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление, L – длина, S – площадь поперечного сечения, а V – объем проводника. Если выразить S из второго соотношения и подставить в первое, то получим

$$V = \rho L^2/R.$$

В биоимпедансных анализаторах используется зондирующий ток очень низкой, безопасной амплитуды, что обеспечивает возможность не ограничивать количество и длительность повторных измерений. Реактивное сопротивление и фазовый угол также характеризуют свойства биологических тканей [8, 11]. Исследования показали взаимосвязь Xc и фазового угла с параметрами физиологического состояния и режима питания пациентов [12]. Удельное сопротивление в выражении $\rho L^2/R$ принято постоянным для тела в целом; однако, каждая ткань имеет свое удельное сопротивление, и наблюдаемое удельное сопротивление для тела в целом или его сегмента – среднее удельное сопротивление всех проводящих тканей [13].

Методика исследования

Оборудование, необходимое для биоимпедансных исследований, включает

- биоимпедансный анализатор, подключенный к персональному компьютеру с установленным на нем специальным программным обеспечением;
- кушетку шириной не менее 85-90 см (для обеспечения возможности обследования тучных пациентов);
- ростомер;
- весы с диапазоном измерений до 150-180 кг и ценой деления 0,1 кг;
- мерную ленту для измерения обхватов талии и бедер.

Кушетку устанавливают так, чтобы электродный кабель прибора без натяжения дотягивался до мест наложения электродов на голеностопе и запястье, а расстояние между боковой частью кушетки и окружающими предметами составляло не менее 10 см. Во время обследования температура в помещении должна быть 22-25^{o}C.

Принято считать, что обследование выполнено корректно, если:

- временной интервал после последнего приема пищи составляет не менее 2,5-3 часов, а после употребления алкоголя – 36-48 часов;
- в холодное и жаркое время года пациент перед процедурой измерений пробыл в помещении для обследования время, достаточное для температурной адаптации;
- отсутствуют воспалительные заболевания, периоды менструаций;
- нежелательно проведение измерений у пациентов с имплантированными кардиостимуляторами.

Процедура обследования начинается с антропометрических измерений. Определяют длину, массу тела, обхваты талии и бедер. Затем в компьютерной программе заводится учетная запись (регистрация) пациента с указанием ФИО, пола, даты рождения и длины тела. В карточку текущего обследования вносятся сведения о массе тела и обхватах талии и бедер. Пациент укладывается на кушетку в положении лежа на спине (рис. 2) правой стороной тела к биоимпедансному анализатору.

Рис. 2. Положение пациента при обследовании

Правая рука освобождается от металлических предметов (часов, браслетов и т.п.). Металлические предметы на шее пациента сдвигаются к подбородку. Одежда пациента должна быть сухой и свободной, не изменяющей конфигурации поверхностных тканей. У тучных пациентов особое внимание следует уделить обеспечению отсутствия контакта между внутренними поверхностями бедер до паха и между внутренними поверхностями рук и торсом до подмышечных впадин. Одноразовые биоадгезивные электроды с контактной площадкой 22×24 мм устанавливаются так, как показано на рис. 3.

Рис. 3. Расположение электродов на руках и на ногах

На руке: середина первого электрода крепится над сочленением костей предплечья и кисти, а другой располагается на 3-4 см дистальнее; на ноге – один серединой над сочленением костей голени и стопы, другой дистальнее на 3-5 см. Зажимы электродного кабеля крепятся к свободным от проводящего геля концам электродов, красные – к дистальным, черные – к проксимальным электродам. Дистальные электроды служат для подключения к пациенту цепи пропускания зондирующего тока, проксимальные – для подключения измерительной цепи анализатора. Измерение выполняется в течение 20-40 с и считается завершенным, если в последние 4-5 с значения величин активного и реактивного сопротивлений менялись не более чем на 2 единицы последней значащей цифры. Если это условие не выполняется, то необходимо проверить крепление электродов на коже пациента или предупредить его о необходимости сохранения неподвижного положения во время измерительной процедуры.

Верификация метода

С 1985 г. опубликованы десятки работ с результатами верификации оценок жировой массы тела методом биоимпедансного анализа. В табл. 2 представлены результаты сопоставления прогнозирующих формул для оценки безжировой массы с эталонными методами [1]. В 2004-2006 гг. в ГУ НИИ питания РАМН проводилась верификация алгоритмов оценки жировой массы тела, используемых в программах анализатора АВС-01 «Медасс». Были обследованы 142 пациента (15 мужчин и 127 женщин) находившихся на стационарном лечении в возрасте от 21 года до 80 лет. Разброс величины индекса массы тела составлял от 20,1 до 48 кг/м^2. Биоимпедансный анализ состава тела проводился с использованием анализатора оценки баланса водных секторов организма АВС-01 «Медасс», программа АВС01-036. Параллельно осуществлялась оценка состава

тела рентгеновским денситометром Prodigy GE LUNAR Corporation (США). Результаты сравнения двух методов приведены на рис. 4.

Таблица 2. Сравнение прогнозирующих формул для оценки безжировой массы на основе биоимпедансного анализа

Возрастной интервал (лет)	r^2, *SEE*	Авторы, год публикации
18–63	0.90, 3.65	Chumlea et al. 1990
11–25	Женщины: 0.95, 1.32; Мужчины: 0.97, 1.82	Conlisk et al. 1992
60–83	0.96, 2.5	Deurenberg et al. 1990
7–83	До 15 лет: 0.97, 1.68; После 16 лет: 0.93, 2.63	Deurenberg et al. 1991
8–11	0.89, 1.31	Deurenberg et al. 1989
7–25	0.99, 2.39	Deurenberg et al. 1991
11–16	0.97, 2.06	Deurenberg et al. 1989
60–90	0.84, 1.73	Dittmar, Reber, 2001
7–25	Мужчины: 0.98, 5.02; Женщины: 0.95, 5.80	Guo et al. 1987
35–65	0.90, 3.61	Heitmann, 1990
22–94	0.98, 1.72	Kyle et al. 2001
18–60	0.98, 2.06	Lukaski et al. 1986
17–59	0.96, 3.06	Segal et al. 1985
17–62	Женщины: 0.89, 2.43; Мужчины: 0.90, 3.61	Segal et al. 1991
12–94	Мужчины: 0.90, 3.9; Женщины: 0.84, 2.9	Sun et al. 2003

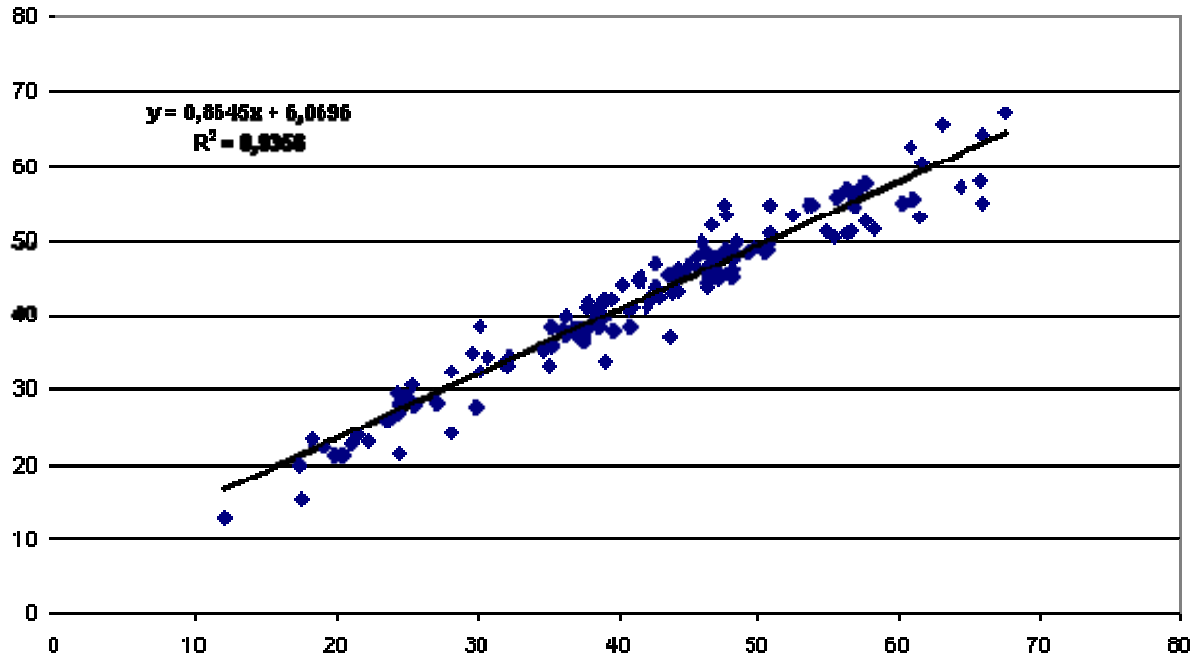


Рис. 4. Сопоставление результатов оценок жировой массы (кг) биоимпедансным методом (по горизонтали) и денситометрическим методом (по вертикали)

Выявлена высокая корреляция оценок жировой массы, полученных с использованием этих двух методов (r = 0,94). Таким образом, метод биоимпедансного анализа состава тела на основе алгоритмов, заложенных в программе АВС-036 анализатора оценки баланса водных секторов организма АВС-01 «Медасс», позволяет в практике диетологической клиники с успехом заменять более дорогостоящие и сопряженные с лучевой нагрузкой рентгеноденситометрические исследования.

Интерпретация результатов исследования

1. Экспресс-анализ

Выходные протоколы методики содержат оценки следующих параметров (рис. 5): основного обмена (ОО), индекса массы тела (ИМТ), жировой массы тела (ЖМТ), безжировой массы тела (БМТ), активной клеточной массы (массы мышц и внутренних органов) (АКМ), процентного содержания активной клеточной массы в безжировой массе (%АКМ), объема воды в организме (ОВО), индекса талия-бедра (ИТБ), а также процентного содержания жира в организме (%ЖМТ).

Оценки перечисленных параметров показаны на горизонтальных шкалах, разделенных на промежутки, границами которых являются значения верхней и нижней границ нормы соответствующего параметра. Расположение значка левее нижней границы нормы соответствует пониженным значениям, правее – повышенным.

Величина избытка жировой массы позволяет оценить примерные сроки коррекции данного нарушения (по литературным данным, адекватная диетотерапия позволяет снизать жировую массу в среднем на 500 г в неделю).

2. Интерпретация динамических наблюдений

Анализ динамических наблюдений позволяет проследить течение лечебного процесса, оценить эффективность назначенной терапии, выявить ошибки пациента в соблюдении рекомендаций и скорректировать лечение.

А) По текущему протоколу. Текущий протокол (рис. 6) генерируется программой, начиная со второго обследования, и содержит таблицу антропометрических параметров пациента, гистограмму и таблицу относительных изменений компонент состава тела, таблицу оценок компонент состава тела для первого и шести последних измерений с численными значениями соответствующих популяционных норм.

В случае резких изменений гидратации организма в таблице приращений в соответствующих ячейках рядом с численным значением объёма воды в организме (ОВО) демонстрируется значок голубой капли.

Значок красной перевернутой капли в ячейках изменения активной клеточной массы (АКМ) выставляется программой при резких колебаниях активной клеточной массы, что свидетельствует об избыточности или недостаточности белка в рационе питания в период между текущим и предыдущим измерениями.

Б) По графику. Графическая форма отчета генерируется программой биоимпедансного анализатора после четвертого обследования. Стандартная графическая форма описывает динамику (с датами исследований по оси абсцисс) активной клеточной массы, жировой массы и общей массы тела. Дополнительно может строиться график изменений пяти произвольно выбранных параметров состава тела. Для демонстрации тенденций имеется возможность строить графики параболической аппроксимации изменений параметров. Наиболее часто динамические наблюдения используются при лечении ожирения и коррекции фигуры. Классический вид графического протокола показан на рис. 7. На графике демонстрируются изменения активной клеточной, жировой и общей массы тела.

ГУ НИИ питания РАМН

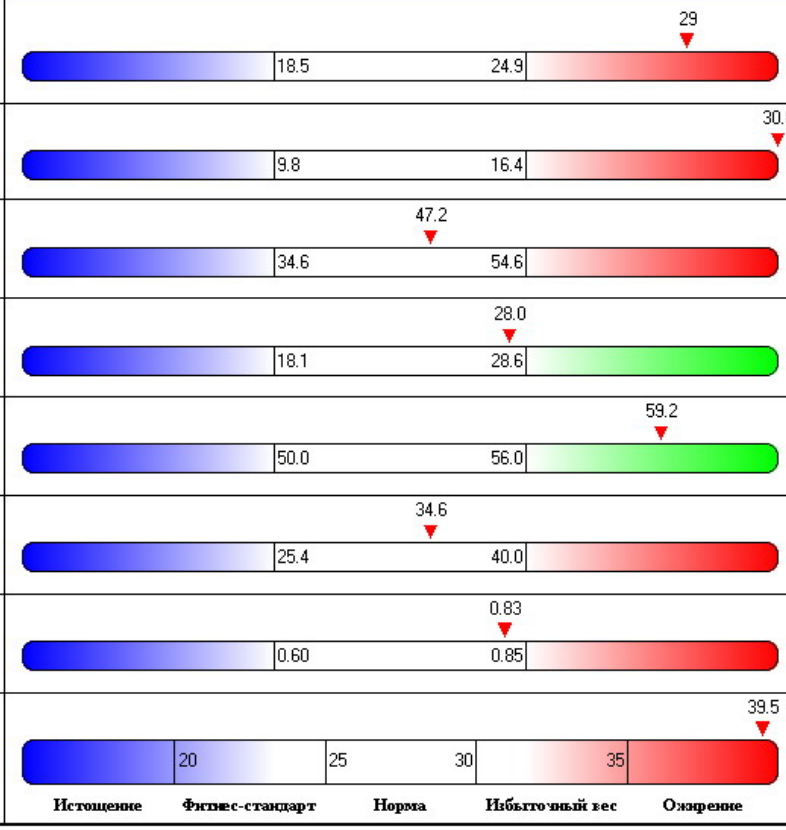
Отдел клинико-инструментальных методов исследования

Оценка состава тела (биоимпедансный анализ)

Протокол, пациент: Донкова Светлана

Базовые данные			570 Ом / 72 Ом
Дата	18.07.2002 18:35:29	Индекс массы тела	29 кг/м²
Возраст	51 год	Окружность талии	93 см
Рост	164 см	Окружность бедер	112 см
Вес	78.0 кг	Основной обмен	1499 ккал

Состав тела



12.12.2005 14:23:01 Врач: _____

Рис. 5. Первичный протокол биоимпедансных исследований

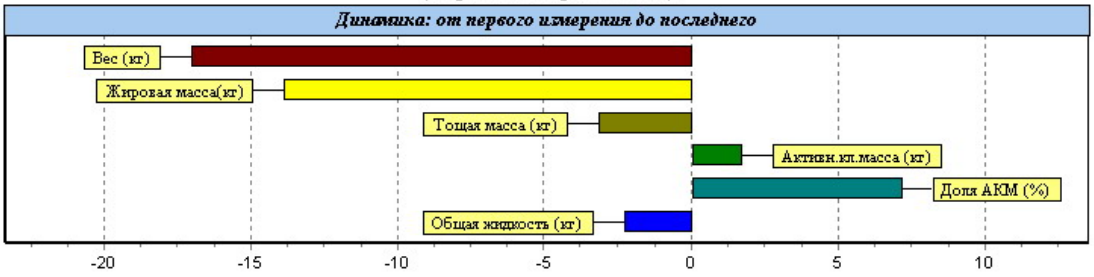
ГУ НИИ питания РАМН

Отдел клинико-инструментальных методов исследования

Оценка состава тела (биоимпедансный анализ)

Протокол № 16, пациент: Донкова Светлана

(Возраст: 51 год, рост: 164 см)



Текущие результаты								
Дата	15.01.2002	26.03.2002	01.04.2002	09.04.2002	23.04.2002	04.06.2002	18.07.2002	
Исходное время	16:58:59	19:23:48	12:04:41	19:59:16	18:12:45	17:46:50	18:35:29	
R50 (Ом)	554	569	591	565	556	572	570	
Xc50 (Ом)	55	76	95	63	68	74	72	
Измеренные значения								*Норма*
Вес (кг)	**95.0**	**80.5**	**80.0**	**80.0**	**78.0**	**79.0**	**78.0**	
Индекс массы тела	35.3	29.9	29.7	29.7	29.0	29.4	29.0	18.5 - 24.9
Окружность талии (см)	0.0	91.0	91.0	93.0	93.0	94.0	93.0	
Окружность бедер (см)	0.0	117.0	111.0	112.0	108.0	110.0	112.0	
Индекс талия/бедра	0	0.78	0.82	0.83	0.86	0.85	0.83	0.60 - 0.85
Тощая масса (кг)	**50.4**	**47.6**	**46.6**	**47.7**	**47.8**	**47.3**	**47.2**	34.6 - 54.6
Тощая масса (%)	53.0	59.1	58.3	59.6	61.3	59.8	60.5	
Жировая масса (кг)	**44.6**	**32.9**	**33.4**	**32.3**	**30.2**	**31.7**	**30.8**	**9.8 - 16.4**
Жировая масса (%)	47.0	40.9	41.7	40.4	38.7	40.2	39.5	25 - 30
Общая жидкость (кг)	36.9	34.8	34.1	34.9	35.0	34.6	34.6	25.4 - 40.0
Акт.клет.масса (кг)	26.2	29.0	30.9	26.5	27.9	28.3	28.0	18.1 - 28.6
Доля АКМ (%)	52.1	60.9	66.4	55.5	58.3	59.9	59.2	50 - 56
Изменения по сравнению с первым измерением								
Вес (кг)		**-14.5**	**-15.0**	**-15.0**	**-17.0**	**-16.0**	**-17.0**	
Индекс массы тела		-5.4	-5.6	-5.6	-6.3	-5.9	-6.3	
Окружность талии (см)		91.0	91.0	93.0	93.0	94.0	93.0	
Окружность бедер (см)		117.0	111.0	112.0	108.0	110.0	112.0	
Индекс талия/бедра		0.78	0.82	0.83	0.86	0.85	0.83	
Тощая масса (кг)		**-2.8**	**-3.7**	**-2.6**	**-2.5**	**-3.1**	**-3.2**	
Тощая масса (%)		6.1	5.3	6.6	8.3	6.8	7.5	
Жировая масса (кг)		**-11.7**	**-11.3**	**-12.4**	**-14.5**	**-12.9**	**-13.8**	
Жировая масса (%)		-6.1	-5.3	-6.6	-8.3	-6.8	-7.5	
Общая жидкость (кг)		-2.0	-2.7	-1.9	-1.9	-2.3	-2.3	
Акт.клет.масса (кг)		2.8	4.7	0.3	1.6	2.1	1.7	
Доля АКМ (%)		8.8	14.3	3.5	6.2	7.9	7.2	

12 Декабрь 2005 г. 14:22:07 **Врач:** _____

Рис. 6. Текущий протокол биоимпедансных иследований

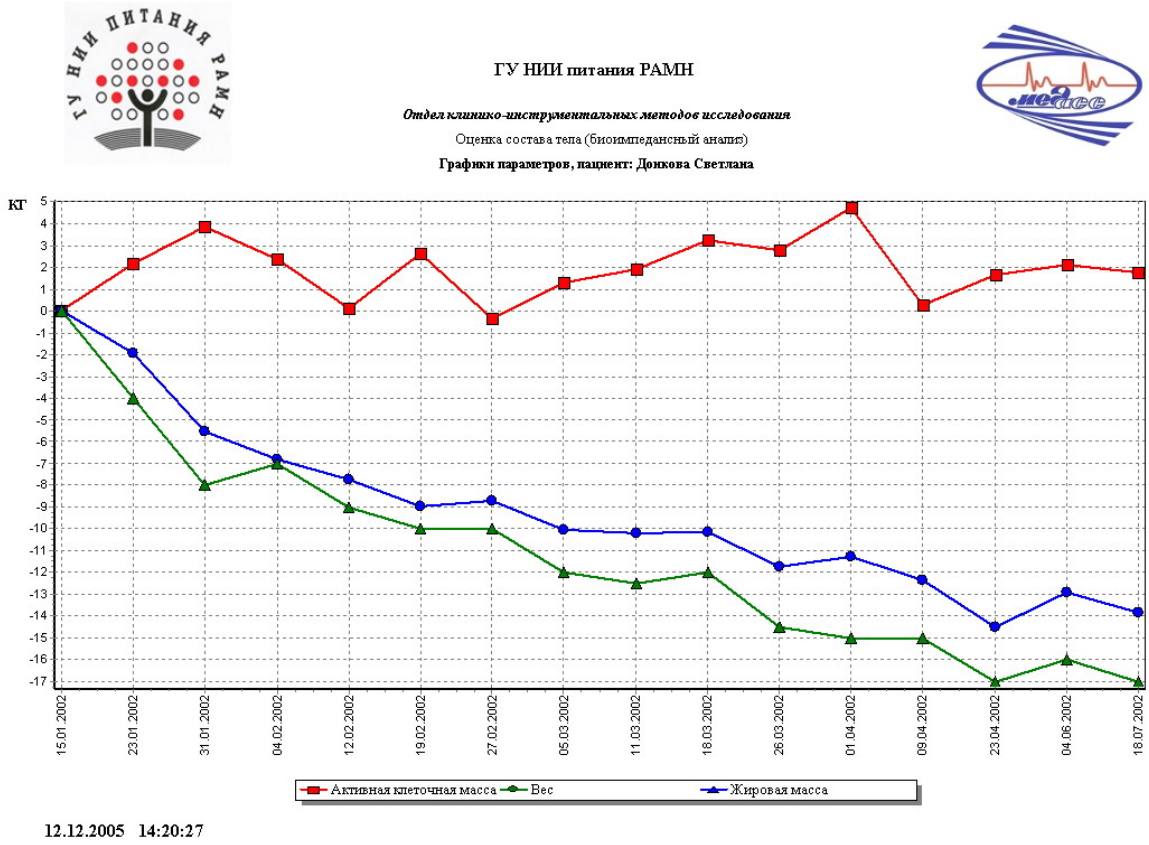


Рис. 7. Графический протокол биоимпедансных исследований

Заключение

К середине 90-х годов 20 века методы и аппаратура биоимпедансного анализа состава тела по частоте применения в клинической практике превзошли все известные технологии оценки состава тела. Сформировалось и стало общепринятым суждение о составе тела не по антропометрическим индексам, а на основе аппаратных методов, использующих биофизические свойства различных тканей организма. Опубликованы результаты верификации методов биоимпедансного анализа оценки жировой и безжировой массы тела с результатами подводного взвешивания, для костной массы – рентгеновской денситометрии, для общей, вне- и внутриклеточной жидкости организма – методами разведения индикаторов, а для определения основного обмена – с методом Фика, в том числе для различных возрастных и нозологических групп.

Литература

[1] Heymsfield S.B. Lohman T.G. Wang Z. Going S.B. (eds.), *Human body composition (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics,* (2005) 533 p.
[2] Ellis K.J. *Physiol. Rev*. V. 80, № 2, (2000) 649–680.
[3] Мартиросов Э.Г. Николаев Д.В. Руднев С.Г. *Технологии и методы определения состава тела человека.* М.: Наука (2006) 256с.
[4] Thomasset A,. *Lyon Med*. V. 207, (1962) 107–118.
[5] Hoffer E.C. Meador C.K. Simpson D.C. *J. Appl. Physiol*. V. 26, (1969) 531–534.

[6] Houtkooper L.B. *Int. J. Sport Nutr*. V. 6, № 2, (1996) 146–164.
[7] Nyboer J. *Electrical impedance plethysmography: The electrical resistive measure of the blood pulse volume. Springfield: Thomas*, (1959)
[8] Baumgartner R.N. Chumlea W.C. Roche A.F. *Am. J. Clin. Nutr*. V. 48, № 1, (1988) 16–23.
[9] Kushner R.F. *J. Am. Coll. Nutr.* V. 11, № 2, (1992) 199–209.
[10] Fricke H. *Phys. Rev.* V. 24, (1924) 575–587.
[11] Lukaski H. *Am. J. Clin. Nutr.* V. 46, № 4, (1987) 537–556.
[12] Kyle U.G. Genton L. Karsegard L. Slosman D.O. Pichard C. *Nutrition*. V. 17, № 3, (2001) 248–253.
[13] Geddes L.A. Baker L.E. *Med. Biol. Eng*. V. 5, (1967) 271–293.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ КОМПЕНСАТОРНОЙ РОЛИ 2, 3-БИФОСФОГЛИЦЕРАТА ПРИ ГИПОКСИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Л.И. Камышева, И.П. Зелди

Марийский государственный университет, кафедра биологии человека (424000, респ. Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Ленинский проспект, д. 1)
e-mail: zeldi@marsu.ru

Ключевые слова:
головной мозг, гипоксия, эритроциты, 2, 3-бифосфоглицерат (2, 3-БФГ), бифосфоглицератмутаза, бифосфоглицератфосфатаза, кислород, кровеносная система.

Аннотация. *В эксперименте на собаках установлено, что концентрация 2,3-БФГ носит динамический характер и изменяется в различных отделах кровеносной системы в соответствии с изменениями активности бифосфоглицератмутазы и бифосфоглицератфосфатазы. В капиллярной сети головного мозга концентрация 2,3-БФГ и активность бифосфоглицератмутазы максимальны. В легочных артериях и венах концентрация 2, 3-БФГ и активность бифосфоглицератмутазы, наоборот, минимальны, а активность бифосфоглицератфосфатазы, катализирующей распад 2,3-БФГ, максимальна.*

1. Введение

Гипоксия головного мозга, развивающаяся в силу целого ряда причин, в том числе и в связи с атеросклеротическим поражением кровеносной системы, является одной из ведущих причин развития энцефалопатии. Данные литературы [1, 6, 9, 10, 11] свидетельствуют о том, что недостаток кислорода, развивающийся в силу гидродинамических ограничений переноса эритроцитов в мозг, может быть, в известной степени, компенсирован с помощью некоторых интермедиатов гликолиза, в частности 2, 3-бифосфоглицератом. Это соединение синтезируется в эритроцитах под действием 2, 3-бифосфоглицератмутазы как побочный продукт (шунт) гликолитического пути распада глюкозы. Под действием этого вещества в 26 раз снижается сродство гемоглобина к кислороду. Как известно, степень сродства гемоглобина к кислороду, при его pO_2 не менее 100 мм рт. ст. в легких, очень высокая. В идеальном случае каждый эритроцит в области альвеокапиллярной сети может связать 16 молекул O_2 (по 4 молекулы O_2 на каждую из 4-х молекул гемоглобина в эритроцитах). Однако, в связи с высоким

уровнем сродства друг к другу компонентов комплекса гемм-O_2, в тканевых капиллярах освобождается около 40-50% кислорода, переносимого эритроцитами.

Повышение коэффициента отдачи гемоглобином кислорода становится особо актуальным в условиях ограничения количества крови, поступающих в головной мозг, так как в этом случае происходит снижение не только объема крови за единицу времени, но и снижение количества эритроцитов, транспортирующих кислород.

Следовательно, синтез и распад 2, 3-бифосфоглицерата (2, 3-БФГ) в эритроцитах, находящихся в данный момент времени в различных участках кровеносной системы, должны быть различными. В альвеолярной капиллярной сети легких, где происходит эффективное связывание кислорода гемоглобином, и, где должно быть максимально высоким их сродство, концентрация 2, 3-БФГ должна быть минимальной. В противном случае, под действием 2, 3-БФГ образовавшийся комплекс гем-O_2 столь же эффективно распадается до составляющих ещё в области легочных капилляров, не успев дойти до клеток-потребителей.

В капиллярной же сети головного мозга, которая по целому ряду морфологических признаков и строению принципиально отличается от таковой в легких, должен иметь место обратный процесс. В этом участке кровеносной системы степень сродства между гемом и кислородом должна быть снижена для того, чтобы комплекс распался и освободившийся кислород мог поступить в клетки мозга, а свободный гемоглобин мог связать метаболические H^+ и CO_2 и доставить их в обратном направлении, т.е. в легкие. Экспериментально установлено, что распад этого комплекса в капиллярах мозга на 40-50% (происходит в результате снижения сродства гемоглобина к кислороду), наблюдается в том случае, если в эритроцитах, находящихся в данном типе капиллярной сети, концентрация 2, 3-БФГ колеблется в пределах 5 – 5,2 Ммоль$\times л^{-1}$.

Имеются все основания предполагать, а это подтверждено исследованиями крови у жителей высокогорья, что увеличение концентрации 2, 3-БФГ на 1 единицу снижает степень сродства гемоглобина к кислороду, а следовательно и увеличивает коэффициент отдачи кислорода, не менее, чем на 10%.

Следовательно, биологическая или фармакологическая активация локального синтеза и распада 2, 3-БФГ могла бы стать эффективным инструментом обеспечения тканей мозга кислородом в условиях недостаточности его кровеснабжения, при условии нормального обеспечения клеток головного мозга глюкозой.

Целью проведенного нами исследования является выявление локальной концентрации 2, 3-БФГ и активности ферментов, ответственных за биосинтез и распад этого соединения в различных отделах кровеносной системы.

2. Результаты собственного исследования

2.1. Материалы и методы

Биохимические исследования крови выполнены на 12 собаках обоего пола возрастом от 5 до 12 лет, включая 8 собак охотничьих пород «русская гончая» и «сеттер», а также 4 беспородных собаки. Все животные были представлены их владельцами в ветеринарные клиники для эвтаназии. Процедура эвтаназии выполнена ветврачами с соблюдением правил II-ой Международной конвенции (1985 г.) по гуманному обращению с животными. После хирургического наркоза у животных была взята артериальная и венозная кровь из различных отделов сосудистого русла, включая кровь из левого легочного ствола (a. trances pulmonalis), по которому в легочную альвеолярную капиллярную сеть поступает венозная кровь, из левой средней артерии большого мозга (a. cerebri media), которая обеспечивает кровью левые верхне-боковые части лобной, теменной

и височной долей полушария большого мозга, из постартериолярной части капиллярной сети верхне-наружной части левой лобной доли головного мозга, из превенулярной капиллярной сети этого же отдела мозга, из левой большой вены большого мозга (v. cerebri magna), которая впадает в левую яремную вену, из левой локтевой вены и из левой легочной вены, по которой поступает насыщенная кислородом кровь в большой круг кровообращения, в том числе и в транскраниальную артериальную сеть.

Забор крови на исследование, выделение эритроцитов, их гемолиз и осаждение белков осуществляли по стандартным методам клинической биохимии (Ф.И. Комаров и соавт., 2001). Измерение концентрации 2, 3-БФГ в 7 участках кровеносной системы проводили по методу Benesch R.E., Benesch R. (1970) в модификации О.И. Моисеевой и соавт. (1980), Виноградовой и соавт. (1975). Определение активности бифосфоглицератмутазы – фермента, катализирующего синтез 2, 3-БФГ, и бифосфоглицератфосфатазы – фермента, катализирующего распад 2, 3-БФГ в эритроцитах, определяли по методу Roze Z. B. (1970) и Siesjo B. K. (1980). Определение активности этих ферментов является решающим условием для оценки локального содержания 2, 3-БФГ в эритроцитах, так как активация мутазы приводит к увеличению концентрации 2, 3-БФГ, а фосфатазы, наоборот, к снижению количества данного соединения в результате его распада и возвращения продуктов распада в гликолиз.

Таблица 1. Зональное распределение концентрации 2, 3-БФГ, активности бифосфоглицератмутазы и бифосфоглицератфосфатазы в эритроцитах крови, протекающей по артериальным, венозным и капиллярным сосудам головного мозга (n = 12).

Сосуды, по которым протекает артериальная кровь				Сосуды, по которым протекает венозная кровь			
	1	2	3	4	5	6	7
	Левая легочная вена, несущая артериальную кровь	Левая средняя артерия большого мозга (продолжение левой сонной артерии)	Постартериолярная часть капиллярной сети лобной части левой доли большого мозга	Превенулярная капиллярная сеть лобной части левой доли большого мозга	Левая большая вена мозга – начало яремной вены	Левая локтевая вена	Левый артериальный легочной ствол, несущий венозную кровь
I	концентрация 2, 3-БФГ (мкмоль×л$^{-1}$)						
	1240,90 ± 38,39 *	5225,12 ± 80,40 *	8375,24 ± 72,11 *	7439,85 ± 69,10 *	6086,42 ± 87,90 *	4200,20 ± 39,40	2124,70 ± 57,14 *
II	активность бифосфоглицератмутазы (мкмоль×г$^{-1}$×мин$^{-1}$)						
	72,06 ± 6,31 *	164,38 ± 10,08 *	229,45 ± 13 *	201,47 ± 16,12 *	137,99 ± 11,10 *	96,42 ± 8,85	101,31 ± 11,31
III	активность бифосфоглицератфосфатазы (мкмоль×г$^{-1}$×мин$^{-1}$)						
	189,90 ± 7,21 *	63,42 ± 4,70 *	30,92 ± 3,76 *	39,18 ± 9,21 *	75,70 ± 4,05 *	99,70 ± 4,93	129,75 ± 8,32 *

Примечания: а) * различия между сравниваемыми показателями достоверны ($P \leq 0,05$);
б) концентрация 2, 3-БФГ и активности ферментов в эритроцитах венозной крови из локтевой вены служат контролем для сравнения.

2.2. Обсуждение результатов

Таким образом, в эксперименте на собаках установлено, что минимальный уровень концентрации 2, 3-БФГ наблюдается в эритроцитах легочных вен, по которым в левое предсердие поступает артериальная кровь, максимально насыщенная кислородом (п. 1 табл. 1). После поступления форменных элементов крови в средние артерии большого мозга, которые являются транскраниальным продолжением сонных артерий, концентрация 2, 3-БФГ более чем в 4 раза достоверно возрастает по сравнению с концентрацией этого соединения в легочных венах, т.е. с 1240,90 ± 38,39 мкмоль×л$^{-1}$ до 5225,12 ± 80,40 мкмоль×л$^{-1}$. Максимальный уровень концентрации 2, 3-БФГ имеет место в артериолах и постартериолярной капиллярной сети, являющихся окончанием средних артерий большого мозга в лобной, теменной и височной областях головного мозга. Показатель достоверно возрастает по сравнению с таковым в легочной вене более чем в 7,5 раза (п.1 и 3 табл.1). После поступления эритроцитов крови в венозную сеть наблюдается достоверное снижение концентрации соединения с 7439,85 ± 69,10 мкмоль×л$^{-1}$ в превенулярной капиллярной сети до 2124,70 ± 57,14 мкмоль×л$^{-1}$ в легочных артериях, по которым в альвеолярную сеть легких поступает венозная кровь с минимальным уровнем насыщения гемоглобина кислородом (рис. 1.).

Рис. 1. Динамика концентрации 2, 3-БФГ в эритроцитах крови в различных областях кровеносной системы.

Примечания:
1. − Левая легочная вена, несущая артериальную кровь;
2. − Левая средняя артерия большого мозга (продолжение левой сонной артерии);
3. − Постартериолярная часть капиллярной сети лобной части левой доли большого мозга;
4. − Превенулярная капиллярная сеть лобной части левой доли большого мозга;
5. − Левая большая вена мозга – начало яремной вены;
6. − Левая локтевая вена;
7. − Левый артериальный легочной ствол, несущий венозную кровь.

Содержание 2, 3-БФГ в эритроцитах локтевой вены занимает промежуточное положение (п. 6 табл. 1). Результаты исследования свидетельствуют о том, что концентрация 2, 3-БФГ в эритроцитах, находящихся в различных отделах кровеносной систе-

мы, различна. В альвеолярной капиллярной сети легких, где происходит насыщение гемоглобина кислородом и где степень сродства, при оптимальном значении pO_2, достигает максимального уровня, концентрация 2, 3-БФГ минимальная. В капиллярной же сети головного мозга, особенно в постартериолярных участках, где около 40 – 50 % комплекса гемоглобин – O_2 распадается из-за падения сродства гемоглобина к кислороду, имеет место максимально высокая концентрация 2, 3-БФГ, которая в 1.99 раза выше контрольного уровня в локтевой вене.

В активности бифосфоглицератмутазы и бифосфоглицератфосфатазы также происходят резкие изменения. Так, активность бифосфоглицератмутазы эритроцитов средней артерии большого мозга возрастает более чем в 2,2 раза ($P \leq 0,05$) по сравнению с аналогичным показателем в легочной вене.

Активность бифосфоглицератфосфатазы в средней артерии большого мозга, наоборот, резко снижается и составляет 63,42 ± 4,70 мкмоль×г$^{-1}$×мин$^{-1}$, что в 2,98 раз ниже аналогичного показателя в легочной вене ($P \leq 0,05$) (рис. 2).

Рис. 2. Динамика активности бифосфоглицерамутазы и бифосфоглицератфосфатазы в различных областях кровеносной системы.

Примечания:
1. − Левая легочная вена, несущая артериальную кровь;
2. − Левая средняя артерия большого мозга (продолжение левой сонной артерии);
3. − Постартериолярная часть капиллярной сети лобной части левой доли большого мозга;
4. − Превенулярная капиллярная сеть лобной части левой доли большого мозга;
5. − Левая большая вена мозга – начало яремной вены;
6. − Левая локтевая вена;
7. − Левый артериальный легочной ствол, несущий венозную кровь.

Максимальная концентрация 2, 3-БФГ и активность бифосфоглицератмутазы наблюдаются в постартериолярной сети капилляров. Содержание 2, 3-БФГ в этой зоне составляет 8375,24 ± 72,11 мкмоль×л$^{-1}$, что в 6,7 раза выше аналогичного показателя в легочной вене ($P \leq 0,05$) и в 1,99 раза выше показателя в локтевой вене (контроль) ($P \leq$

0,05). Активность бифосфоглицератмутазы в постартериолярной капиллярной сети также достоверно возрастает, достигает максимума и составляет 229,45 ± 13 мкмоль×г$^{-1}$×мин$^{-1}$, что в 2,4 раза выше контрольного показателя, а активность бифосфоглицератфосфатазы, наоборот, максимально снижена и составляет всего 30,92 ± 3,76 мкмоль×г$^{-1}$×мин$^{-1}$. Данный показатель более чем в 3 раза достоверно ($P \leq 0,05$) снижен по сравнению с аналогичным в контроле (эритроциты локтевой вены).

Переход крови в венозное русло, начиная с превенулярной капиллярной сети, сопровождается некоторым снижением концентрации 2, 3-БФГ и столь же неуклонным снижением активности бифосфоглицератмутазы, протекающих на фоне повышения активности бифосфоглицератфосфатазы (табл. 1, р. I, II и III).

Так, например, если в превенулярных капиллярах, т.е. в самом начале венозного кровотока, концентрация 2, 3-БФГ снижается и составляет уже 7439,85 ± 69,10 мкмоль×л$^{-1}$, а активность бифосфоглицератмутазы снижается до 201,47 ± 16,12 мкмоль×г$^{-1}$×мин$^{-1}$, то активность бифосфоглицератфосфатазы, разрушающей 2, 3-БФГ до 2-БФГ, что обеспечивает возвращение соединения в гликолиз, в данный момент времени слегка увеличивается до 39,18 ± 9,21. При поступлении эритроцитов в артериальный легочной ствол концентрация субстрата (2, 3-БФГ) достоверно снижается (почти в 2 раза по сравнению с контролем). Происходит это снижение в результате выраженной активности бифосфоглицератфосфатазы и ингибирования фермента синтеза этого соединения, т.е. бифосфоглицератмутазы.

3. Заключение

Таким образом, результаты измерений концентрации 2, 3-БФГ, снижающего сродство гемоглобина к кислороду, активности бифосфоглицератмутазы, катализирующей образование этого соединения, и бифосфоглицератфосфатазы, катализирующей распад 2, 3-БФГ и возвращение его в гликолиз, не в одной области, а в 7, включая артериальную, венозную и капиллярную сети, позволили установить, что параметры всех трех показателей резко изменяются в зависимости от нахождения эритроцитов в той или иной области кровообращения.

Более того, установлено, что за 1 цикл кровообращения прохождения крови от легкого до легкого динамика концентрации 2, 3-БФг и активности ферментов изменяется фактически 3 раза.

В легких, где происходит связывание кислорода гемоглобином, концентрация 2, 3-БФГ и активность бифосфоглицератмутазы минимальны, а бифосфоглицератфосфатазы, наоборот, максимальна. В капиллярной же сети наблюдается обратное.

Исследование позволяет считать, что образование 2, 3-БФГ в эритроцитах происходит только тогда, когда эритроциты находятся в контакте с эндотелиоцитами капиллярной сети. В остальных участках кровеносной системы образовавшееся соединение разрушается, и в области легких оно обнаруживается уже в следовых количествах. Вероятно, что причиной подобной флюктуации являются факторы, присущие эндотелиоцитам капиллярной сети мозга (составляя часть гемато-энцефалического барьера) и которые отсутствуют в других сосудах, особенно в альвеолярных капиллярах.

Литература

[1] *Биохимия мозга* / Под ред. И.П. Ашмарина, П.В. Стукалова, Н.Д. Ещенко. – СПб.: Издательство С. –Петербургского университетеа, 1999. – 328 с.

[2] *Вторичная тканевая гипоксия* / Под ред. А.З. Колчинской. – Киев: Наук. Думка, 1983. – 256 с.

[3] Ленинджер А. *Основы биохимии:* В 3-х томах. **Т. 1.** – М.: Мир, 1985. – 367 с.
[4] Мецлер Д. *Биохимия. Химические реакции в живой клетке* **Т. 1.** – М.: Мир, 1980 – 407 с.
[5] Мецлер Д. *Биохимия. Химические реакции в живой клетке* **Т. 2.** – М.: Мир, 1980 – 606 с.
[6] Страйер Л. *Биохимия:* В 3-х томах, **Т.1**. – М.: Мир, 1984. – 232 с.
[7] Страйер Л. *Биохимия:* В 3-х томах, **Т.2.** – М.: Мир, 1985. – 312 с.
[8] Уайт А., Хендлер Ф., Смит Э., Хилл Р., Леман И., *Основы биохимии:* В 3-х томах, **Т. 3.** – М.: Мир, 1981. – 726 с.
[9] Benesch R.E., Benesch R. *The Mechanism of Interaction of Red Cell Organic Phosphates with Hemoglobin*, Adv. Protein Chem. № 28 (1974), pp. 211-217.
[10] Siesjo B.K. *Hypoxia and brain metabolism,* Adv. Neurol. № 24 (1980), pp. 175-200.
[11] Rose Z.B. *Enzymes controlling 2, 3-diphosphoglycerate in human erytrocytes*, Fed. Proc. № 23 (1970), pp. 1105-1111

ИННОВАЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ СИНТЕЗА ГИДАНТОИНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ИЗ МОЧЕВИНЫ И α-КЕТОГЛУТАРАТА

В.А. Козлов[1], К.Г, Матьков[2], А.Н Лыщиков[3]

[1]ГОУ ВПО Чувашский государственный педагогический университет ул. К. Маркса, 38, г. Чебоксары, 428000, Россия E-mail: pooh12@yandex.ru
ФГОУ ВПО Чувашский государственный университет, [2]кафедра биохимии, [3]кафедра органической химии, Московский пр-т, 14, 428015, г. Чебоксары

1. Введение. При разработке сред для консервации органов нами было обращено внимание на то, что среда ЭВС-1 после добавления 5мМ α-кетоглутарата профилактирует набухание инкубируемых срезов коркового вещества почки достоверно эффективнее через сутки хранения при +4°С, чем свежеприготовленная [1, 2]. Поэтому мы предположили, что какие-то компоненты среды вступают в химическую реакцию с образованием одного или нескольких соединений, обладающих противоотечным действием. Наиболее вероятными кандидатами казались мочевина и α-кетоглутарат, поскольку мочевина относится к хаотропным соединениям и склонна к образованию уреидной группы. Уреидная группа, в частности, присутствует во всех основных противосудорожных средствах ряда производных гидантоина и в карбамазепине. Все эти соединения обладают единым свойством хаотропных соединений: изменять физико-химические свойства биологических мембран, и корректировать проницаемость мембран для ионов Na и K. Кроме того, гидантоины, вероятно, профилактируют набухание головного мозга, предшествующее развитию очередного эпилептического припадка. Косвенным доказательством того, что именно мочевина и α-кетоглутарат вступают в химическую реакцию и образуют новое соединение, явились наши эксперименты с той же средой, но в отсутствие одного из этих соединений. Если среда, содержащая и мочевину и α-кетоглутарат превентировала набухание срезов коркового вещества почки при гипотермической инкубации (24 ч при +4° С), то в среде без одного из этих двух соединений срезы набухали [1, 2]. Для выявления этого гипотетического вещества нами были проведено данное исследование.

2. Цель исследования. Целью исследования стало изучение возможности спонтанного неферментативного синтеза гидантоиновых производных из мочевины и α-кетоглутаровой кислоты и изучение их влияния на параметры водного набухания переживающих срезов почек крыс.

3. Материалы и методы. Синтез искомого соединения проводили несколькими способами:

1) нагреванием раствора содержащего эквимолярные количества мочевины и α-кетоглутарата (по 0,1 М каждого соединения) на водяной бане до 80°С с последующим охлаждением на воздухе;

2) инкубацией эквимолярных количеств мочевины и α-кетоглутарата при комнатной температуре;

3) инкубацией эквимолярных количеств мочевины и α-кетоглутарата при +4°С.

Синтезированное соединение получило рабочее название КМ-1. Для определения его структуры кристаллизацию проводили путем спонтанного выпаривания в течение 2-3 мес. Структура синтезированного КМ-1 определена методом спектроскопии ЯМР ^{1}H. Спектр ЯМР ^{1}H зарегистрирован на приборе Bruker DRX-500 с рабочей частотой 500,13 MHz, растворитель DMSO – d6. Внутренний стандарт ГМДС.

Опыты с гипотермической инкубацией срезов почек. Поскольку исходные вещества являются естественными животными метаболитами, то возможно их неферментативное или ферментативное взаимодействие in vivo с образованием изучаемого КМ-1. Для проверки этого предположения мы провели опыт по гипотермической инкубации (+4°С, в течение 24 ч) срезов коркового вещества почки крысы в средах ЭВС-1, ЭВС-1в (Табл.).

Таблица Состав инкубационных сред, мМ

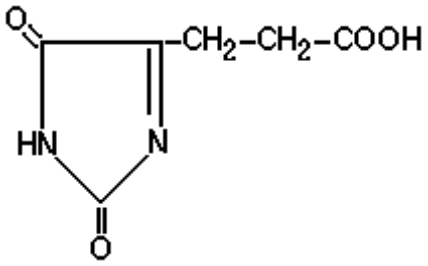
Состав	ЭВС-1	ЭВС-1в	ЭВС-НТ
NaCl	48,4	48,4	63,4
KCl	48,81	48,81	48,81
$CaCl_2$	2,25	2,25	2,25
KH_2PO_4	1,19	1,19	1,19
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	1,19	1,19	1,19
$NaHCO_3$	25,0	25,0	–
CH_3COONa	16,6	16,6	5,0
Маннитол	260,0	260,0	–
Мочевина	50,0	–	50,0
Лактоза	–	–	150,0
pH	7,85	7,85	8,4

В эти среды вносили по 5 мМ или α-кетоглутарата, или L-аргинина, или орнитина (Рис. 1). Кроме того, была проведена гипотермическая инкубация срезов в среде ЭВС-НТ с градиентом концентраций КМ-1 (0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 мМ). pH-метрию растворов осуществляли с помощью иономера ЭВ-74. Всего для опытов были использованы почки 20 белых беспородных крыс-самцов массой 140-160 г содержавшихся на стандартном рационе вивария. Перед изъятием почек крыс подвергали эфирной эвтаназии.

Исследование гидратированности срезов. Гидратированность срезов исследовали методом гравиметрии по потере воды при высушивании в сухожаровом шкафу и выражали в кг/кг сухой ткани.

Статистический анализ. Полученный цифровой материал обработан в среде табличного процессора Excel 2003 методами описательной и вариационной статистики с использованием t-теста Стьюдента. Данные представлены в виде M±m, где m – ошибка средней. Достоверное различие принималось при $p<0,05$.

4. Результаты и их обсуждение. Во время проведения синтеза бесцветный раствор мочевины и α-кетоглутарата приобретал соломенно-желтый оттенок. Реакция протекала как при нагревании, так и при комнатной температуре, так и при +4°С, кинетика реакции нами не исследовалась. По данным спектроскопии ЯМР ^{1}H, синтезированное соединение идентифицировано как 3 (2,5 диоксо-3-имидазолин-4-ил) пропионовая кислота (КМ-1):

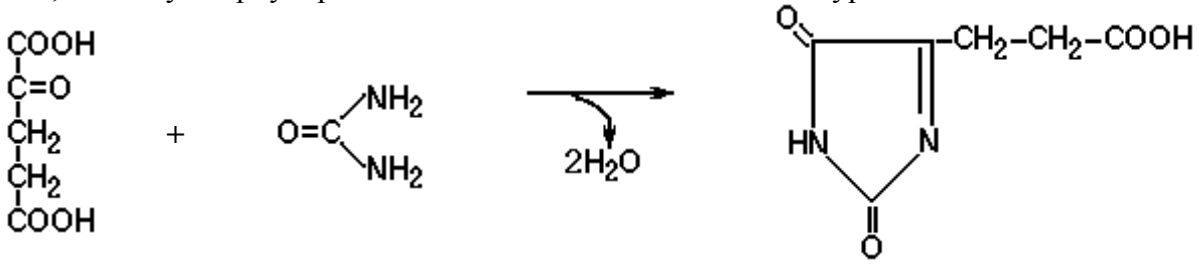


$C_6H_6N_2O_4$

М.в.=170,116

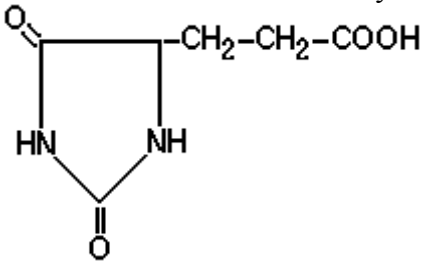
3 (2,5 диоксо-3-имидазолин-4-ил) пропионовая кислота (КМ-1)

Его спектр ЯМР ^{1}H характеризуется наличием двух мультиплетов метиленовых протонов с химическими сдвигами 1,9 м.д. и 2,25 м.д. и синглетом имидного протона с δ=8,1 м.д. Суммарную реакцию его синтеза можно записать уравнением:



α-кетоглутарат мочевина КМ-1

В водном растворе при pH=7,0 соединение, по-видимому, существует в форме цвиттериона, а при подкислении раствора может переходить из лактамной формы в лактимную. Полученное нами соединение соответствует по структуре дегидрогидантоин-5-пропионовой кислоте. Близким по структуре соединением является гидантоин-пропионовая кислота, образующаяся у человека, приматов и крыс в процессе катаболизма гистидина и имеющая следующее строение:



Гидантоин-5-пропионовая кислота

Гидантоин-5-пропионат – конечный продукт обмена гистидина образующийся в альтернативном пути его катаболизма из 4-имидазолон-5-пропионовой кислоты при участии ФАД [3]. Теоретически in vivo он может трансформироваться в дегидрогидатоин-5-пропионат в реакции дегидрирования с участием пиридиновых нуклеотидов ($НАД^+$, $НАДФ^+$) или ФАД. С учетом того, что дегидрогеназные реакции обратимы, возможен синтез гидантоин-5-пропионата из дегидрогидантоин-5-пропионата.

Исходя из того, что синтез дегидрогидантоин-5-пропионата может протекать в мягких условиях (in vitro), мы предположили, что он может образовываться в некоторых тканях, как спонтанно, так и ферментативно. Относительно высокие концентрации исходных соединений присутствуют в печени и почке. В обоих органах синтезируется мочевина и образуется α-кетоглутарат (при дезаминировании, трансминировании глутамата или в цикле Кребса).

С целью проверки нашего предположения об эндогенном синтезе дегидрогидантоин-5-пропионата мы провели опыт по инкубации срезов коркового вещества почки крысы с исходной средой, где отсутствовала мочевина, но присутствовал α-кетоглутарат (рис. 1).

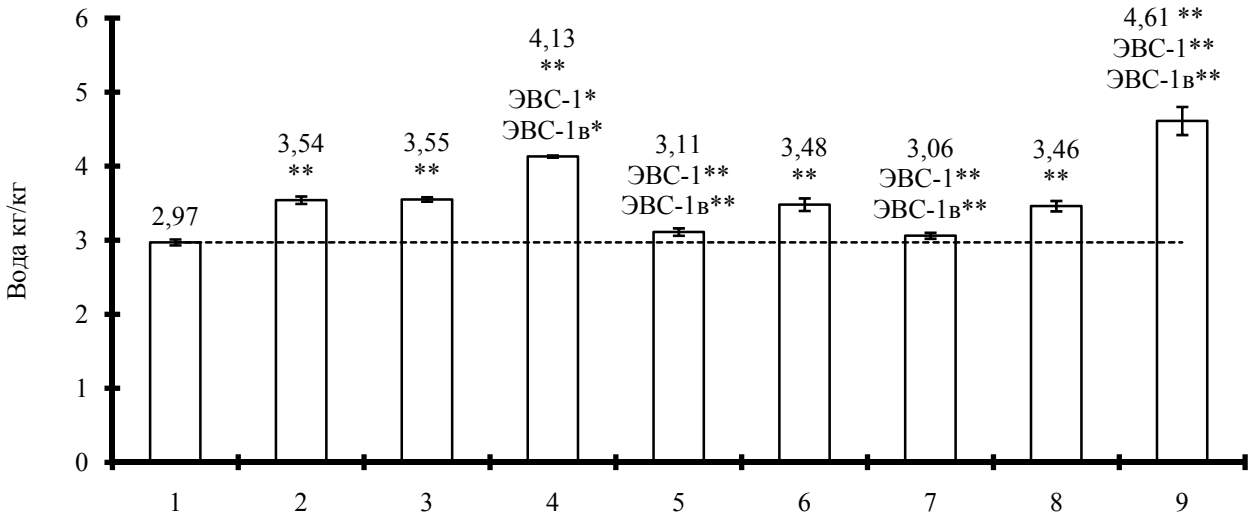


Рис. 1. Гидратированность срезов почки в зависимости от присутствия или отсутствия в среде комбинации мочевины или ее предшественника L-аргинина и α-кетоглутарата, n=44.

1 – интактные срезы; 2 – ЭВС-1; 3 – ЭВС1в; 4 – ЭВС1в + α-кетоглутарат; 5 – ЭВС1 + α-кетоглутарат; 6 – ЭВС1в + аргинин; 7 – ЭВС1в + аргинин +α-кетоглутарат; 8 – ЭВС1в + орнитин; 9 – ЭВС1в + орнитин +α-кетоглутарат;

Среднее значение измерения гидратированности 44 срезов коркового вещества почки ± ошибка средней в каждом случае.

** $p<0,0001$ к интактным срезам, ЭВС-1* $p<0,001$ к среде ЭВС-1, ЭВС-1** $p<0,0001$ к среде ЭВС-1, ЭВС-1в* $p<0,001$ к среде ЭВС-1в, ЭВС-1в** $p<0,0001$ к среде ЭВС-1в

Из данных, приведенных на рис. 1, следует, что содержащая мочевину среда ЭВС-1 плохо превентирует набухание срезов почки и после 24 ч инкубации при +4°С, наблюдается 19% набор воды, по сравнению с интактными срезами той же почки. В не содержащей мочевины среде ЭВС-1в величина набухания аналогична. Введение в ЭВС-1в 5 мМ α-кетоглутарата усиливает гидратацию более чем в 2 раза. Добавление 5 мМ α-кетоглутарата к среде ЭВС-1 профилактирует набухание, статистических различий с интактными срезами нет, а по отношению к ЭВС-1 и ЭВС-1в оно достоверно ни-

же. Введение 5 мМ предшественника мочевины аргинина в ЭВС-1в не вызывает никакого эффекта, гидратированность срезов сопоставима с набуханием в ЭВС-1 и ЭВС-1в. Но введение аргинина вместе с α-кетоглутаратом также эффективно предупреждает набухание, как и введение α-кетоглутарата в среду ЭВС-1. Аналогично аргинину, орнитин 5 мМ не влияет на величину набухания срезов в среде ЭВС-1в, однако добавление 5 мМ α-кетоглутарата не только не превентирует, но усиливает набухание, которое даже больше, чем только в присутствии одного α-кетоглутарата в ЭВС-1. Очевидно, что отсутствие эффекта связано с тем, что орнитиновый цикл в почке, в отличие от печени, редуцирован. Активность орнитинтранскарбомоилазы низкая (фермент, катализирующий образование цитруллина из орнитина и карбамоилфосфата) и поэтому орнитин не участвует в синтезе мочевины. Тогда как активность фермента аргиназы катализирующей гидролитическое расщепление аргинина до мочевины и орнитина в почке высокая. Таким образом стимуляция эндогенного синтеза мочевины в условиях её отсутствия в среде инкубации восстанавливала дегидратирующий эффект α-кетоглутарата, это, по нашему мнению, косвенно доказывает возможность синтеза дегидрогидантоин-5-пропионата из мочевины и α-кетоглутарата в корковом веществе почки.

Изучение влияния КМ-1 на параметры гидратации срезов коркового вещества почки показало, что это вещество эффективно концентрационнозависимо в параметрах от 2,0 до 10 мМ профилактирует набухание срезов (рис. 2).

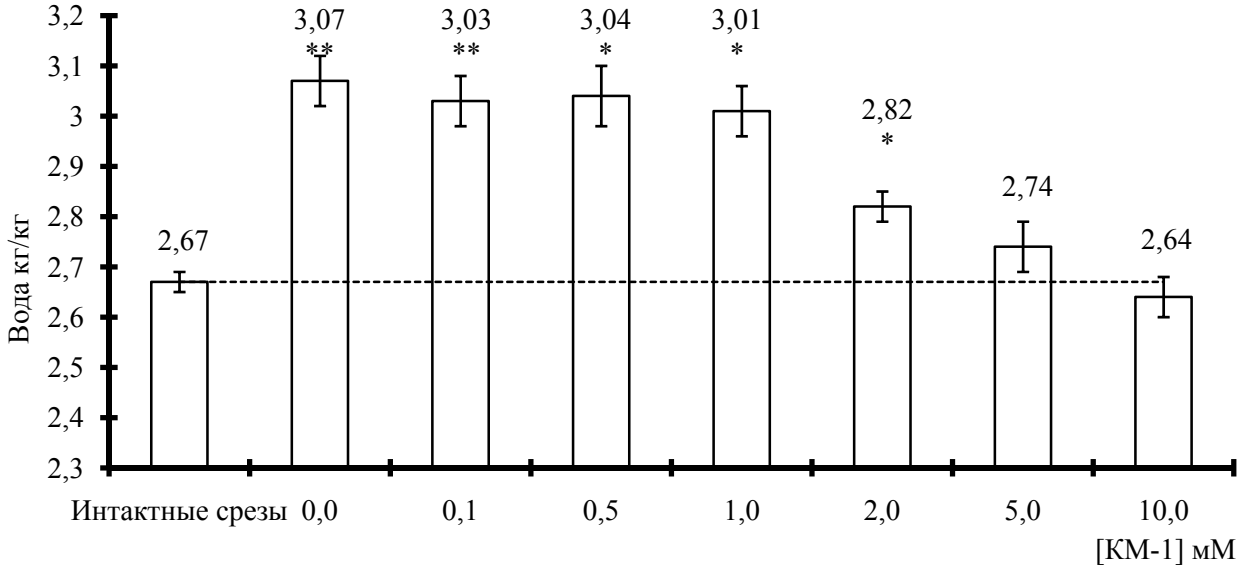


Рис. 2. Зависимость гидратированности срезов коркового вещества почки от концентрации КМ-1 в среде ЭВС-НТ.

Среднее значение измерения гидратированности 18 срезов коркового вещества почки ± ошибка средней в каждом случае. * $p<0,01$, ** $p<0,001$ к интактным срезам

Биологическая целесообразность существования дегидрогидантоин-5-пропионата в живых объектах может быть объяснена необходимостью связывания мочевины для снижения ингибирующего эффекта её высоких концентраций на клеточные ферменты. Предположительно, дегидрогидантоин-5-пропионат может участвовать в поддержании pH клетки, связывая или отдавая протоны. Так введение в среду ЭВС-НТ 5 мМ препарата КМ-1 вызывает снижение pH от 8,4 до 6,9. Взаимодействуя через карбоксил с

аминогруппой остатка лизина в белке, дегидрогидантоин-5-пропионат может химически модифицировать белок, изменяя его функциональную активность.

Возможно, дегидрогидантоин-5-пропионат каким-то образом принимает участие в защите клеток почки и печени от набухания при изменении водного баланса, например, при питье, что прямо следует из наших экспериментов с профилактикой набухания срезов почки. Необходимо проведение исследований ранее неизвестного метаболического пути образования дегидрогидантоин-5-пропионовой кислоты в биологических объектах и установление ее физиологической роли.

Обнаруженное нами явление, с нашей точки зрения, может быть использовано для некаталитического синтеза гидантоиновых производных. Кроме того, синтез мочевины осуществляется в печени, в т.н. орнитиновом цикле, и в почках. В почках орнитиновый цикл «урезан», поэтому возникает возможно его сопряжения с синтезом оксида азота (рис. 3). В результате снижение синтеза мочевины в почках может сопровождаться увеличением синтеза оксида азота до токсических концентраций. Для предупреждения этого явление возможно введение дополнительного количества естественных метаболитов синтеза мочевины, либо разработка препаратов, регулирующих этот процесс.

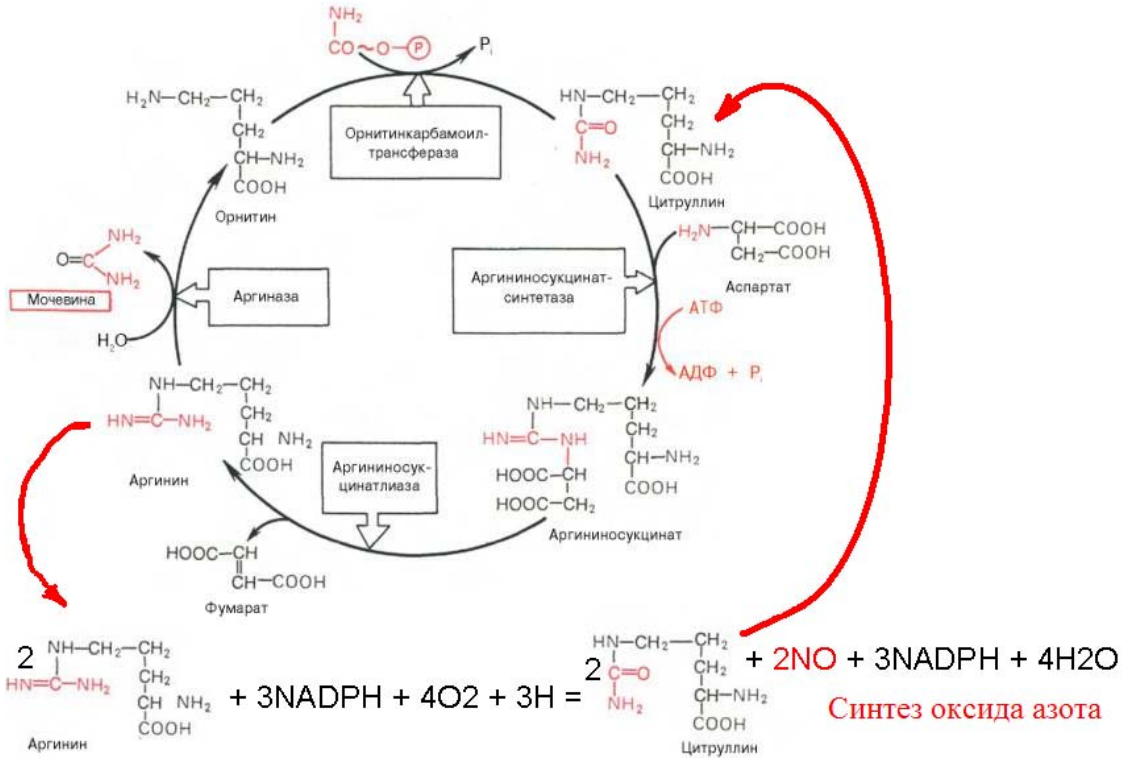


Рис. 3. Возможное сопряжение в почках синтеза оксида азота с синтезом мочевины

5. Выводы

1. Мочевина и α-кетоглутарат способны в широком температурном диапазоне к спонтанному образованию дегидрогидантоин-5-пропионовой кислоты in vitro.
2. α-кетоглутарат профилактирует набухание срезов почки в тесте гипотермической инкубации только в присутствии мочевины, либо ее метаболического предшественника аргинина.
3. Дегидрогидантоин-5-пропионовая кислота профилактирует набухание срезов почки в тесте гипотермической инкубации.

Литература
[1] Матьков К.Г. Козлов В.А. Толмачев А.С. Степанова Т.А. *Нефрология,* 5(3) (2001) 107.
[2] Матьков К.Г. *Нефрология*, 7 (Прил. 1) (2003) 218.
[3] Дэгли С. Никольсон Д. *Метаболические пути*, Изд-во Мир, Москва (1973).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ФАЗОВОГО УГЛА КАК МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОИМПЕДАНСНОГО АНАЛИЗА СОСТАВА ТЕЛА

Д.В. Николаев [1], С.Г. Руднев [2], Э.Г. Мартиросов[3], Т.А. Суйкова [4]

[1]НТЦ «Медасс», [2]ИВМ РАН, [3] МГФСО, [4]ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

Как известно, лишних данных не бывает, поэтому при использовании методов многомерного анализа результатов измерения в диагностике, как правило, удается получить дополнительную очень важную информацию об изучаемом объекте. При анализе результатов биоимпедансного анализа состава тела современная вычислительная техника позволяет без дополнительных временных и энергетических затрат исследователя получить дополнительную, клинически важную, информацию, рассчитывая величину фазового угла. В исследованиях состава тела in vivo широкое распространение имеют непрямые методы (известны лишь единичные случаи использования прямых методов химического и анатомического изучения состава тела). Биоимпедансный анализ (БИА) зарекомендовал себя как надежный, безопасный и относительно точный полевой метод оценки состава тела, успешно развивающийся на протяжении последних 25 лет. Одной из трудностей развития метода является проблема физиологической интерпретации результатов биоимпедансных измерений [2]. Другая трудность связана с использованием формул для оценки состава тела, зависящих от свойств популяции.

Значения фазового угла, определяемого как арктангенс отношения двух основных измеряемых параметров биоимпедансного анализа – реактивного (Xc) и активного сопротивлений (R), первоначально использовались для диагностики нарушений метаболизма, и основные исследования в этой области были связаны с сопоставлением значений фазового угла с физиологическими параметрами, такими как основной обмен (3). Взаимосвязь между величинами активного и реактивного сопротивлений в зависимости от частоты зондирующего тока показана на рис. 1. Фазовый угол зависит от пола и возраста индивида. Эта зависимость показана в табл. 1 в виде интервалов нормальных значений (Selberg, Selberg, 2002). Изучение прогностической значимости фазового угла у пациентов хирургических отделений и онкологических больных, пациентов отделений интенсивной терапии, привело к увеличению знаний о границах изменчивости рассматриваемого показателя при различных условиях и состояниях пациентов. На основе знания возрастных закономерностей нормальной изменчивости фазового угла были построены оценки критических значений признака для выявления групп риска.

Снижение величины фазового угла с возрастом свидетельствует о взаимосвязи фазовго угла с общей работоспособностью и состоянием здоровья организма, а не только с пищевым статусом. Значения фазового угла у больных в период гемодиализа были существенно ниже, чем у здоровых людей (медиана 5.16° для мужчин и 4.01° для женщин) [1]. В том же исследовании были выявлены еще более низкие значения фазо-

вого угла при диабете. У больных раком легких среднее значение фазового угла составило 4.57°, выживаемость пациентов имела высокую линейную корреляцию с данным показателем [17]. В работе [1] были сопоставлены первичные данные биоимпедансного анализа с физическими, диетологическими и прогностическими параметрами в группе здоровых людей, госпитализированных пациентов и пациентов с циррозом печени, нуждающихся в консервативном или хирургическом нетрансплантационном лечении.

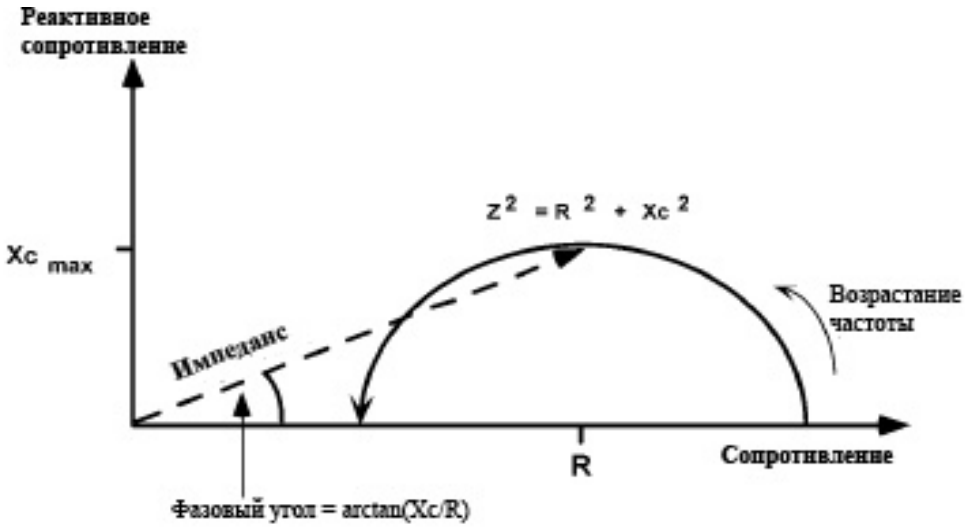


Рис. 1. Соотношение реактивного и активного сопротивлений в зависимости от частоты тока

Таблица 1. Нормальные значения фазового угла у здоровых людей (Selberg, Selberg, 2002)

Возрастная группа	Фазовый угол		
	Мужчины (n = 832)	Женщины (n = 1135)	P^2
18–20 лет	7.90 ± 0.47 (6.97, 8.75) [17]	7.04 ± 0.85 (5.90, 8.91) [20]	<0.001
20-29 лет	8.02 ± 0.75 (6.83, 9.17) [178]	6.98 ± 0.92 (5.64, 8.55) [171]	<0.001
30-39 лет	8.01 ± 0.85 (6.64, 9.48) [178]	6.87 ± 0.84 (5.57, 8.36) [242]	<0.001
40-49 лет	7.76 ± 0.85 (6.53, 9.00) [121]	6.91 ± 0.85 (5.57, 8.33) [165]	<0.001
50-59 лет	7.31 ± 0.89 (6.12, 8.68) [106]	6.55 ± 0.87 (5.48, 7.96) [205]	<0.001
60-69 лет	6.96 ± 1.10 (5.40, 8.88) [111]	5.97 ± 0.83 (4.69, 7.48) [180]	<0.001
> 70 лет	6.19 ± 0.97 (4.77, 8.01) [121]	5.64 ± 1.02 (4.22, 7.04) [152]	<0.001

[1] Данные представлены в виде среднее ± ст. отклонение, в круглых скобках указаны значения 5-го и 95-го перцентилей. В квадратных скобках значения *n* для отдельных возрастных групп.
[2] Критерий Стьюдента.

У здоровых людей значения фазового угла принадлежат верхней части интервала допустимых значений (рис. 2). У больных людей значения фазового угла, как правило, попадают в нижний интервал – тем меньше, чем хуже прогноз. Использование стандартизованной шкалы нормальных значений фазового угла дает более надежные результаты по сравнению с традиционными методами выявления групп риска.

Частота тока 50 кГц в одночастотном БИА была впервые использована в работе Nyboer (1970), который установил, что она соответствовала максимальной величине реактивного сопротивления мышечной ткани. И хотя характеристическая частота для всего тела несколько ниже 50 кГц, одночастотный БИА был признан пригодным для

оценки клеточной массы тела (КМТ) и объема воды в организме (ОВО) у разных групп пациентов [18, 19].

В ходе биоимпедансных измерений пациент лежит лицом вверх на непроводящей поверхности с руками и ногами, разведенными в стороны под углом 30°. При стандартной схеме измерений электроды крепятся на запястье и голеностопе доминантной стороны тела. Фазовые углы для всего тела и отдельных участков тела рассчитываются в радианах, по формуле ц=arctan (Xc/R) и преобразуются в градусы умножением на 57,296 (180/π). В работе [1] в пяти группах пациентов проводились исследования для оценки интервалов значений, анатомических коррелятов фазового угла, изменений фазового угла у госпитализированных больных и прогностической значимости данного показателя по сравнению с традиционной оценкой пищевого статуса у больных циррозом печени.

Исследуемая группа 1 состояла из 50 здоровых людей [30 женщин и 20 мужчин, средний возраст 36 (SD) (11) лет, рост 172 (11) см, масса тела 70 (14) кг]. Оценку состава тела проводили методом БИА, а также оценивали содержание калия в организме методом измерения радиоактивности всего тела с точностью 3%.

Исследуемая группа 2 состояла из 5 госпитализированных больных, которым требовались рекомендации врача-диетолога [3 мужчины и 2 женщины, возраст 43 (11) года, рост 173 (7) см, масса тела 59 (10) кг]. В этой группе определяли значения импеданса всего тела и различных участков тела.

Исследуемую группу 3 составила неоднородная группа пациентов Военно-медицинской школы Ганновера, которым требовалась рекомендация врача-диетолога. Всего 1035 пациентов (589 мужчин, 446 женщин): мужчины в возрасте 49 (16) лет (диапазон 15-89 лет), женщины в возрасте 44 (19) года (диапазон 15-88 лет), длина тела 175 (7) см (мужчины), 164 (6) см (женщины), масса тела 64.7 (13.6) кг (мужчины), 54.9 (11.9) кг (женщины).

Исследуемая группа 4 состояла из 55 пациентов 18-70 лет (17 женщин и 38 мужчин) с доказанным биопсией циррозом печени [20 постгепатический, 10 алкогольный, 9 желчный, 5 аутоиммунный, 6 эндогенный, 7 другие]. Наряду со стандартным БМА проводилась оценка разгибающей силы плеча, сгибающей силы бедра, мышечной силы руки и 24-часовой экскреции креатинина.

Исследуемую неоднородную группу 5 составили 305 пациентов с доказанным биопсией циррозом печени (162 мужчины и 143 женщины с диагнозами: 107 постгепатический, алкогольный, 61 желчный, 29 эндогенный, 8 аутоиммунный, 8 метаболический, 4 Budd-Chiari, 27 – другие). У них оценивали ряд диетологических параметров, которые сопоставляли со временем дожития.

Гистограмма фазового угла всего тела (группа 3), разделенная на интервалы 0.5, имела симметричный колоколообразный вид, типичный для распределения Гаусса. Полученный диапазон значений 5.4-7.8 для группы 1 сопоставили с опубликованными данными по величине фазового угла у здоровых людей (табл. 2) и с результатами анализа времени дожития (группа 5). Значения ниже 4.4 были классифицированы как низкие, а в интервале 4.4-5.4 – как сниженные. У 14 пациентов (1.1%) значения фазового угла превышали 7.8.

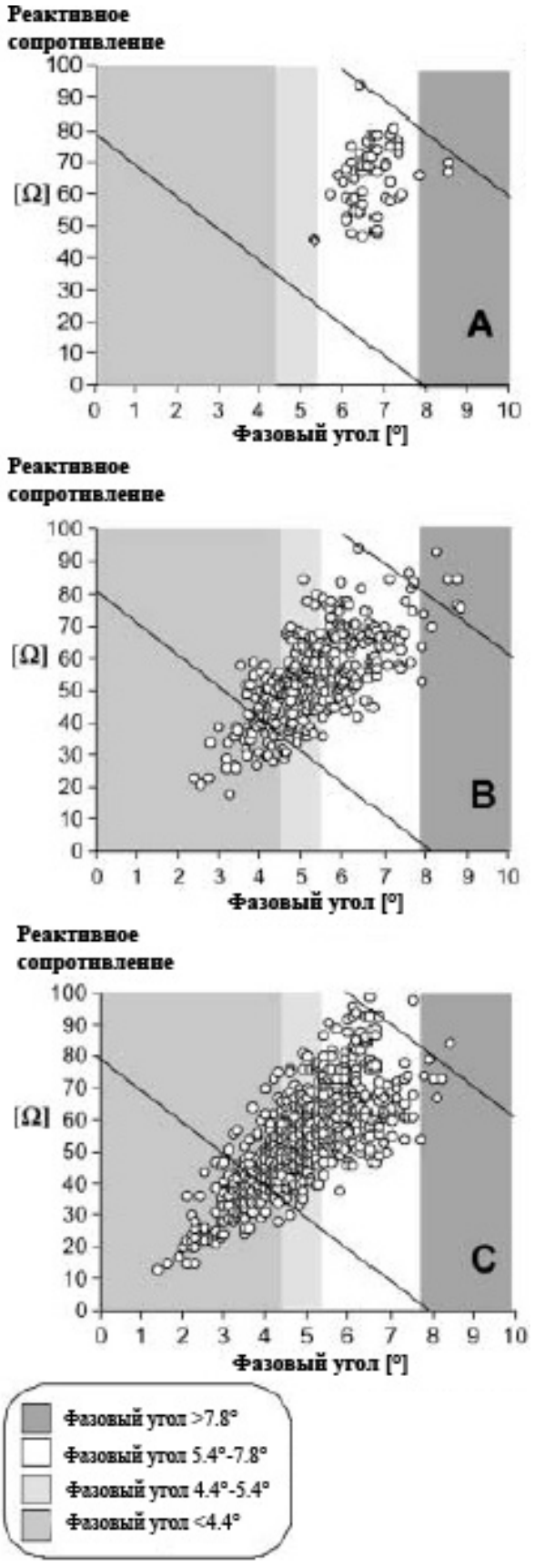


Рис. 2. Диаграмма рассеяния величин реактивного сопротивления и фазового угла у здоровых людей (A, n=53, группа 1), больных цирррозом печени (B, n=305, группа 5), и в неоднородной группе госпитализированных больных (C, n=1035, группа 3). Данные в группах 5 (n=3) и 3 (n=3) по больным со значениями фазового угла выше 10 опущены. Область между наклонными линиями соответствует «нормальной» группе согласно графическому методу Biagram Talluri и Magia (1995); пациенты вне этой области классифицируются как имеющие отклонения 1.

В группе 4 средние значения разгибающей силы плеча и сгибающей силы бедра у мужчин и женщин составили 13.2 (7.0) кг и 27.1 (10.9) кг. Средние значения сгибающей силы бедра были на 12 (30)% или на 4.3 (8.3) кг ниже ожидаемых значений. Полученные значения коррелировали с такими показателями состава тела, как активное сопротивление, КМТ, фазовый угол, экскреция креатинина и мышечная масса по данным антропометрии ($P<0.01$). Диаграмма рассеяния Xc и фазового угла для группы 5 показана на рис. 2B. Среднее значение фазового угла для всех 305 пациентов было 5.4 (1.5), содержание калия 81 (32) г.

Были получены следующие результаты.

Диаграмма рассеяния Xc и значения фазового угла у 50 здоровых людей группы 1 показаны на рис. 2 A. Фазовый угол 6.6 (0.6). Средние значения фазового угла у мужчин и женщин существенно не различались. Диапазон значений фазового угла определяли для смешанной группы, который составил 5.4-7.8. Значения КМТ по данным БИА и по калию-40 хорошо коррелировали между собой ($r=0.95$). Переменная возраста не имела значимой корреляции с фазовым углом ($r=0.2$, n.s.).

Результаты оценки фазового угла для всего тела, туловища и конечностей у 5 пациентов группы 2 показаны в табл. 2. Средние значения фазового угла для туловища были существенно выше, чем для всего тела и конечностей. Значения фазового угла в группе 3 составили 4.9 (1.2). Среднее зна-

чение фазового угла было значительно ниже, чем у здоровых людей группы 1 [4.9 по сравнению с 6.6), P <0.001]. Значения фазового угла у мужчин и женщин были сравнимы между собой.

Таблица 2. Значения фазового угла для туловища, конечностей и всего тела (Selberg, Selberg, 2002)

Пациент	Рука	Обе руки	Нога	Обе ноги	Конечности (А)	Все тело (Б)	Туловище
1	5.51	5.49	8.09	6.77	6.47	6.50	10.01
2	5.37	4.98	6.02	4.87	5.31	5.14	10.15
3	3.90	4.46	6.02	5.89	5.07	4.88	6.17
4	3.66	3.82	4.24	4.14	3.97	4.28	3.69
5	4.33	4.43	4.42	4.35	4.38	4.43	8.58
Среднее	4.55	4.64	5.76	5.20	5.04	5.05	7.72 (В)
Ст. откл.	0.85	0.63	1.55	1.11	0.96	0.88	2.7

А. Средние значения всех четырех измерений конечностей.
Б. Стандартное расположение электродов.
В. P<0.05 по отношению к фазовому углу всего тела.

Фазовый угол слабо коррелировал с экскрецией креатинина (r=0.21, P<0.05), общим содержанием калия (r=0.19, P<0.05), антропометрической оценкой мышечной массы (r=0.16, P<0.05), окружностью плеча (r=0.17, P<0.05) и не зависел от массы (r=0.09, n.s.) и длины тела (r=0.06, n.s.). Значения фазового угла также слабо зависели от степени гидратации (асцит r=0.20, отек r=0.12; P <0.05). 13 пациентов (37%) умерли за период наблюдения, среднее время дожития составило 24 (18) месяцев. Средние значения фазового угла у таких пациентов был значительно ниже, чем у выживших пациентов (медиана 5.0 по сравнению с 5.5, P <0.01). Взаимосвязь величины фазового угла и шкалы Child-Pugh показана на рис. 3, а время дожития пациентов, сгруппированных по величине фазового угла, показано на рис. 4.

Пациенты, со значениями фазового угла менее 5.4 имели достоверно меньшее время дожития (P <0.01). Использование пошаговой регрессионой модели Кокса дало возможность провести анализ взаимосвязи различных диетологических параметров с временем дожития. Регрессионный анализ выявил существенную связь лишь для фазового угла (P<0.05).

Таким образом, фазовый угол можно в первом приближении рассматривать как количественный индекс состояния мышечной ткани, непосредственная оценка которого в клинической диагностике была недоступна [4]. Скелетно-мышечная ткань конечностей оказалась основным коррелятом фазового угла. Известно, что вклад величины активного сопротивления руки и ноги к общему R намного выше, чем туловища, масса которого составляет около 50% от общей [5]. В работе [Organ et al. 1994] было показано, что туловище дает не более 8 % от величины импеданса всего тела.

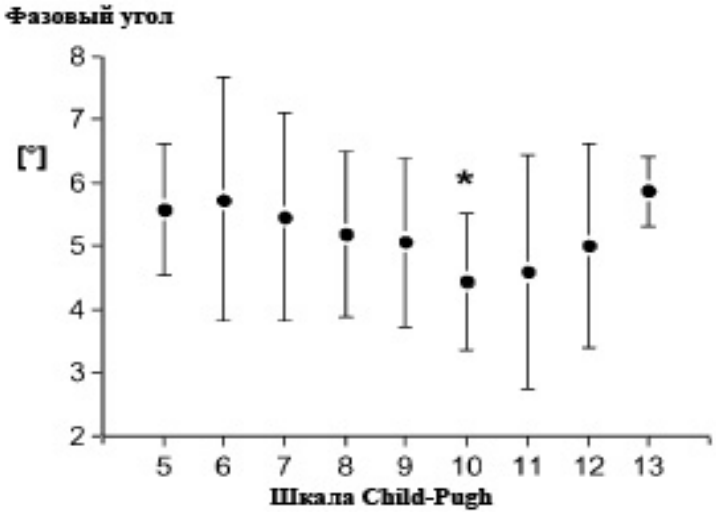


Рис. 3. Средние значения фазового угла у больных циррозом печени, сгруппированные по шкале Child-Pugh (Pugh и др. 1973; n=305). Средние значения фазового угла у пациентов, имеющих по шкале Child-Pugh значения 6 и 10 баллов, значимо различались (P<0.05)

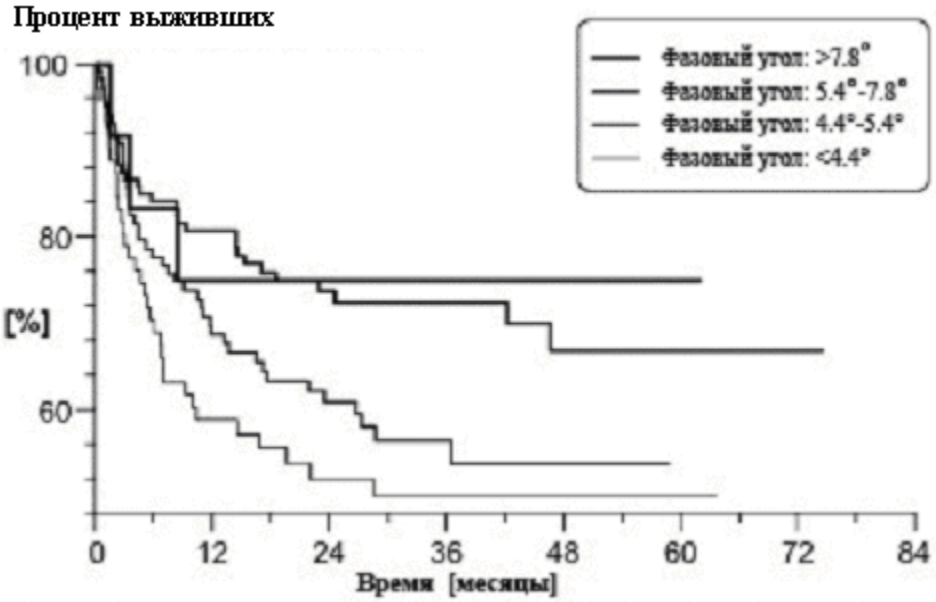


Рис. 4. Время дожития больных циррозом печени (исследуемая группа 5, n=305), данные сгруппированы по величине фазового угла. У пациентов со значениями фазового угла менее 5.4 время дожития значимо меньше, чем у остальных пациентов (P<0.01) (Selberg, Selberg, 2002)

Повышенные значения фазового угла у здоровых людей (рис. 1А), вероятно, указывают на хорошее состояние клеточных мембран, а также высокое содержание скелетных мышц и КМТ. По этой причине фазовый угол используется в формулах для оценки КМТ следующего вида: КМТ=(тощая масса)×constant×log(фазовый угол) [7]. Данное соотношение показывает, что изменения соотношения объемов внеклеточной и клеточной жидкости (ВКЖ/КЖ), вероятно связано с изменениями фазового угла. Известно, что соотношение ВКЖ/КЖ является чувствительным индикатором пониженного питания [8,9], и фазовый угол оказался хорошим коррелятом для данного признака.

Отношение пулов обмениваемого натрия и калия клеток (Nae/Ke) можно оценить по данным БИА [10]. Отношение Nae/Ke было изначально описано Tellado и соавт. [11] как прогностический маркер, поэтому связь фазового угла с временем дожития понятна. Значения фазового угла у больных циррозом печени связаны с временем дожития (табл. 3). Пациенты с низкими и пониженными значениями фазового угла явно имели меньшее время дожития (рис. 4). При этом фазовый угол не имел простой зависимости от стадии болезни (рис. 5).

Таблица 3. Факторный анализ детерминант фазового угла у пациентов с циррозом печени

Фактор I		**Фактор II**		**Фактор III**		**Фактор VI**	
К	0.73	Альбумин	0.71	ЖМТ	0.89	ФУ	0.78
Мышцы	0.76	ХЭ	0.79	ИМТ	0.73	Время дожития	0.62
БМТ	0.90	г-глобулины	0.81	Кожные складки (а)	0.73		
КМТ	0.86	ПВ	0.71				

(а) Сумма четырех кожно-жировых складок (на трицепсе, бицепсе, животе, под лопаткой)
К – содержание калия в организме, БМТ – тощая масса, КМТ – клеточная масса, ХЭ – холинестераза, ПВ – протромбиновое время, ИМТ – индекс массы тела, ФУ – фазовый угол. Факторный анализ производился с использованием ортогональной трансформации и varimax ротации данных, полученных у пациентов группы 5. Представлены только факторы, имеющие вес выше 0.6

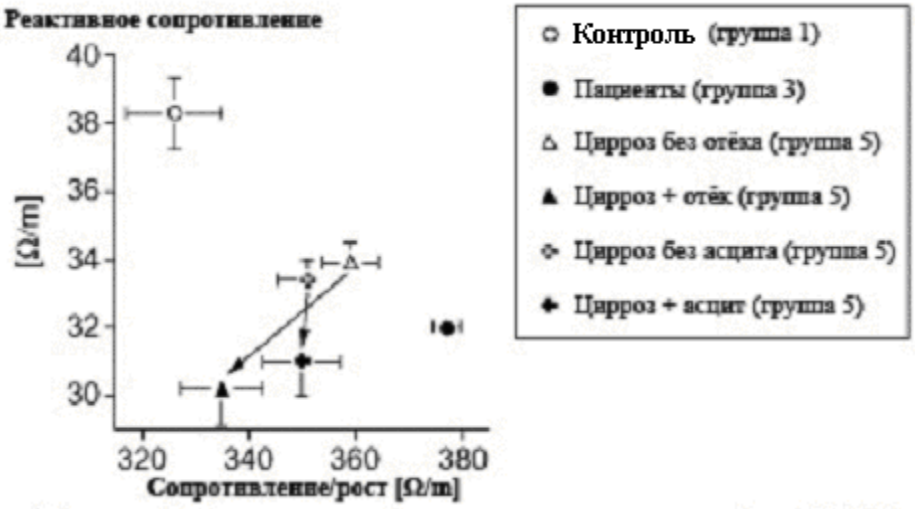


Рис. 5. Соотношение активного и реактивного сопротивления по Piccoli и соавт. (1994). Госпитализированные пациенты (n=1035) характеризуются более низкими значениями фазового угла (наклон вниз вектора импеданса) и увеличенной длиной вектора импеданса. Стрелки показывают различия пространственного положения векторов импеданса у пациентов с циррозом (Ci) и отеком (n=103) или асцитом (n=158). Периферический отек характеризуется укорочением вектора импеданса, а наличие выраженного асцита связано с направлением вектора импеданса вниз и с более низкими значениями фазового угла

В другом исследовании Rutkove и соавт. [16] оценили нормальные значения фазового угла (10.1±1.8°) и удельного сопротивления (122 ± 17 Ом·см) для мышц бедра у 45 здоровых взрослых людей. При этом у 25 обследованных с нейромышечными заболеваниями значения фазового угла были значительно ниже (<7 градусов), а удельного активного сопротивления – существенно выше, и варьировали в диапазоне 140-

300 Ом·см. У пациента с боковым амиотрофическим склерозом за период наблюдения 500 дней было отмечено прогрессирующее снижение величины фазового угла с 10,5 до 4° при минимальных изменениях удельного активного сопротивления. У пациента с диагнозом полимиозит наблюдалось значение фазового угла меньшее нормы для здорового человека и пониженный мышечный тонус. После проведенной кортикостероидной терапии у пациента увеличился мышечный тонус и нормализовалось значение фазового угла. Интересно, что изменения фазового угла предшествуют изменениям других диагностических и прогностических параметров. Первые работы в данном направлении показывают потенциальную значимость БИА локальных участков тела как практичного метода неинвазивной диагностики структуры и функции нейромышечных структур. В работе Maggiore и др. [12] показано, что БИА не позволяет выявить потерю мышечной массы у ряда пациентов с клинически выраженной их потерей. Взаимосвязь отношения ВКЖ/КЖ с фазовым углом объясняет, почему истощение мышечной ткани у таких пациентов не всегда сопровождается снижением фазового угла. Авторы предположили, что ФУ является маркером плохого питания, которое характеризуется увеличением объема ВКЖ, снижением объема КЖ и, возможно, пониженным мышечным тонусом (рис. 6). Таким образом, фазовый угол можно использовать для выявления пациентов с недоеданием и имеющих высокие риски [4]. Важно отметить значимую корреляцию фазового угла со временем дожития при сепсисе [13] и бактериемии [14]. Данные оценки фазового угла для всего тела у здоровых людей показаны в табл. 4. Нижняя граница нормального диапазона значений фазового угла находится в пределах между 4.4 и 6.2, последний – в группе молодых мужчин.

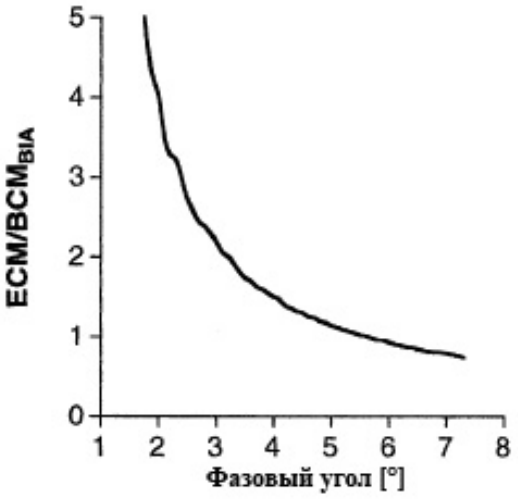


Рис. 6. Взаимосвязь отношения внеклеточной и клеточной массы (ВКЖ/КЖ) и фазового угла у пациентов группы 3 (n=1035). Отмечается пологий ход кривой в диапазоне 0,5-1,2 отношения ECM/BCM (Selberg, Selberg, 2002)

Таблица 4. Нормативные значения фазового угла у здоровых людей (БИА всего тела, частота 50 кГц)

Автор и год	n	Пол	Среднее	Диапазон (a)
Selberg, Selberg (2002)	50	20 м, 30 ж	6.6°	5.4°-7.8°
Baumgartner и др.(1988)	73	29 м	7.0°	5.3°-8.8°
		44 ж	6.3°	4.9°-7.7°
Mattar (1996)	265	87 м, 178 ж	6.8°	4.4°-9.6° (c)
Pilla и др. (1990) (b)	15	15 м	7.5°	6.2°-8.8°
Zarowitz и Pilla (1989)	114	47 ж	8.2°	6.0°-10.4°
		67 ж (d)	6.7°	4.9°-8.5°
Talluri и Magia (1995)	888		6.4°	4.6°-8.1° (e)

a. Диапазон представлен 2 стандартными отклонениями от среднего значения
b. Диапазон для возраста 24-35 лет
c. Максимальные границы диапазонов для обоих полов и разных возрастных групп
d. Универсальный диапазон для здоровых людей

На основе анализа данных для группы здоровых людей (группа 1) и госпитализированных пациентов значения фазового угла, большие 5.4, были классифицированы как нормальные, в диапазоне 4.4-5.4 – как пониженные, и менее 4.4 – как низкие. Высокие значения фазовых углов наблюдаются у атлетов [15]. Значения фазового угла выше 7.8 в работе (Selberg, Selberg, 2002) наблюдались у незначительного числа пациентов (1.1%-3.9%). Высокие значения фазового угла связаны с увеличением ИМТ (группа 3), общего калия и времени дожития (группа 5). Повышенные значения фазового угла могут считаться благоприятным прогностическим признаком.

Литература

[1] Selberg O. Selberg D. *Eur. J. Appl. Physiol*. V. 86 (2002) 509-516.
[2] Holt T.L. Cui C. Thomas B.J. Ward L.C. Quirk P.C. Crawford D. Sheperd R.W. *Nutrition*. V.10. (1994) 221–224.
[3] Baumgartner R.N. Chumlea W.C. Roche A.F, *Am. J. Clin. Nutr.* V.48. (1988) 16–23.
[4] Heymsfield S.B. McManus C. Stevens V. Smith, *J. Am. J. Clin. Nutr.*. V.35 (1982) 1192–1199.
[5] Chumlea W.C. Baumgartner R.N. *Can. J. Sport Sci.* V.15 (1990) 172–179.
[6] Organ L.W. Bradham G.B. Gore D.T. Lozier S.L. *J. Appl. Physiol.*. V.77 (1994) 98–112.
[7] Lautz H.U. Selberg O. Korber J. Burger M. Muller M.J. *Clin. Invest.*. V.70 (1992) 478–486.
[8] Cohn S.H. New concepts of body composition. In: Ellis KJ, Yasumura S, Morgan WD (Eds.) *In vivo body composition studies. Bocardo Press*, Oxford, (1987) 1–11.
[9] Shizgal H.M. *Surg. Gynecol.* Obstet. V.152 (1981) 22–26.
[10] Shizgal H.M. *Surg. Forum*. V.39 (1988) P.67–74.
[11] Tellado J.M. Garcia-Sabrido J.L. Hanley J.A. Shizgal H.M. Christou N.V. *Ann. Surg*. V.209 (1989) 81–87.
[12] Maggiore Q. Nigrelli S. Ciccarelli C. Grimaldi C. Giuseppe A.R. Michelassi C. *Kidney Int*. V.50 (1996) 2103–2108.
[13] Kreymann G. Paplow N. Muller C. Plonsker M. Wolf M. *Crit. Care Med*. V.23. (1995) 584–555.
[14] Schwenk A. Ward L.C. Elia M. Scott G.M. *Infection*. V.26. (1988) 277–282.
[15] Lukaski H.C. Bolonchuk W.W. Siders W.A. Hall C.B. *J. Sports Med. Phys. Fitness*. V.30. (1990) 434–440.
[16] Rutkove S.B. Aaron R. Schiffman C.A. *Muscle Nerve*. V.25 (2002) 390–397.
[17] Toso S. Piccoli A. Gusella M. et al, *Nutrition*. V.16 (2000) 120-124.
[18] Chertow G.M. Lazarus J.M. Lew N.L. Ma L. Lowrie E.G. *Kidney Int*. V.52. (1997) 1617-1621.
[19] Houtkooper L.B. Lohmann T.G. Going S.B. Howell W.H. *Am. J. Clin. Nutr*. (1996) S436-S448.
[20] Nyboer J. *Ann. N.Y. Acad. Sci*. V.170 (1970) 410–420.

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА ФАЗОВОГО УГЛА КАК ИНДИКАТОР ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА (по данным одночастотного биоимпедансного анализа)

С.Г. Руднев[1], О.А. Казакова [2], Э.Г. Мартиросов [3], Д.В. Николаев [4]

[1]ИВМ РАН, [2]МГУ им. М.В. Ломоносова, [3]МГФСО, [4]НТЦ «Медасс», г. Москва

В опубликованной в настоящем сборнике статье уже обсуждались вопросы применимости фазового угла для анализа результатов одночастотного биоимпедансного анализа. Исследование этого параметра может быть применено как для нормирования групп здоровых и больных людей [1], так и для формирования прогностического заключения. Первичными (измеряемыми) параметрами метода одночастотного биоимпедансного анализа являются величины активного (R) и реактивного (Xc) сопротивления, образующие вектор импеданса. Для оценки состава тела используются дополнительные параметры, такие как длина тела (ДТ), масса тела (МТ), а также пол и возраст пациента. Типичная регрессионная формула для оценки состава тела методом биоимпедансного анализа имеет вид

$$a_1\,ДТ^2/R + a_2\,ДТ + a_3\,Возраст + a_4\,Пол + a_5,$$

где a_i – числовые параметры (весовые коэффициенты), характеризующие "свойства" рассматриваемой популяции. Из этих параметров наибольший "вес" всегда имеет параметр a_1. Иногда в качестве зависимых переменных также используются величины реактивного сопротивления (Xc), общего импеданса и массы тела. В последние годы растет интерес к непосредственному использованию в задачах клинической диагностики и эпидемиологического мониторинга первичных параметров импеданса и их соотношений, "не зависящих" от популяции [2, 3]. К таким показателям относится величина фазового угла (ФУ), определяемая как арктангенс отношения Xc/R, выраженный в градусах [4]. Считается, что величина ФУ зависит от состояния клеточных мембран, внутриклеточных органелл, наличия в исследуемой области включений с высокими значениями диэлектрической постоянной (например, пузырьков воздуха в тканях легких и мышечных мешков) – то есть факторов, влияющих на реактивное сопротивление. С другой стороны, ФУ зависит от гидратации тканей и концентрации электролитов, определяющих величину активного сопротивления.

При пониженных значениях фазового угла происходит сокращение времени дожития у больных СПИДом, туберкулезом и циррозом печени [2]. В спортивной медицине повышенные значения ФУ принято связывать с высоким функциональным состоянием и тренированностью атлетов. Цель работы состояла в оценке нормальных диапазонов изменчивости ФУ в зависимости от пола и возраста и сопоставлении полученных результатов с данными зарубежных исследований.

Материалы и методы. Биоимпедансное обследование состава тела проводилось у здоровых людей – посетителей четырех фитнес клубов г. Москвы (n=3671) по стандартной четырехполярной схеме с наложением электродов на голень и запястье [5, 6]. Для сравнения использованы результаты биоимпедансного анализа спортсменов высокой квалификации (n=230).

Результаты. В табл. 1 и 2 приведены оценки величины фазового угла у посетителей фитнес клубов в зависимости от возраста у мужчин и женщин соотв. Максимальные средние значения фазового угла наблюдаются в возрасте 20-29 лет. Для сравнения,

на рис. 1 и 2 эти данные показаны вместе с результатами проведенного в США аналогичного обследования общей популяции с размером выборки 1967 человек [7].

Таблица 1. Биоимпедансные оценки величины фазового угла у мужчин, занимающихся фитнесом, в зависимости от возраста (среднее ± стандартное отклонение)

Показатель	Возраст, лет					
	15-19 лет n=33	20-29 лет n=387	30-39 лет n=698	40-49 лет n=351	50-59 лет n=69	60-65 лет n=10
ФУ	7,25 ± 0,85	7,83 ± 2,29	7,51 ± 1,33	7,35 ± 1,28	7,32 ± 1,49	6,10 ± 1,02

Таблица 2. Биоимпедансные оценки величины фазового угла у женщин, занимающихся фитнесом, в зависимости от возраста (среднее ± стандартное отклонение)

Показатель	Возраст, лет					
	15-19 лет n=64	20-29 лет n=810	30-39 лет n=804	40-49 лет n=310	50-59 лет n=100	60-65 лет n=14
ФУ	6,21 ± 1,146	6,29 ± 1,82	6,17 ± 2,03	6,19 ± 1,51	5,95 ± 1,24	5,60 ± 1,72

Из данных следует, что в отношении возрастных трендов имеющиеся данные в целом соответствуют друг другу. С учетом стандартизации процедуры измерений, наблюдаемые различия средних могут объясняться спецификой рассматриваемых выборок. Интервалы неопределенности на рис. 1 и 2 соответствуют величине стандартного отклонения по зарубежным данным. В табл. 3 показаны корреляции изучаемого признака с двумя показателями физической работоспособности – активной клеточной и скелетно-мышечной массой. Данные приведены в сравнении с группой спортсменов высокой квалификации. Оценки фазового угла у спортсменов составили 8,23 ± 0,68 (среднее ± стандартное отклонение) для мужчин и 7,21 ± 0,68 для женщин. Полученные средние были значимо выше, чем у лиц, занимающихся фитнесом. На рис. 3 и 4 показаны графики корреляции фазового угла у лиц, занимающихся фитнесом, с другим показателем физической работоспособности – величиной безжировой (тощей) массы.

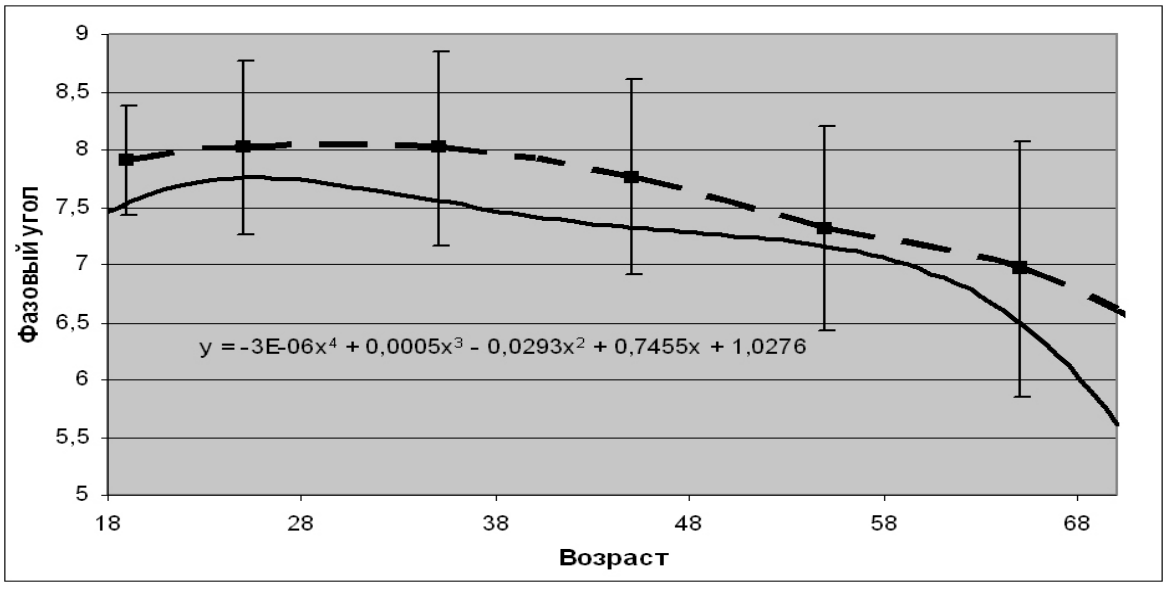


Рис. 1. Возрастная динамика фазового угла у мужчин, занимающихся фитнесом (сплошная линия). Пунктирная линия соответствует опубликованным зарубежным данным

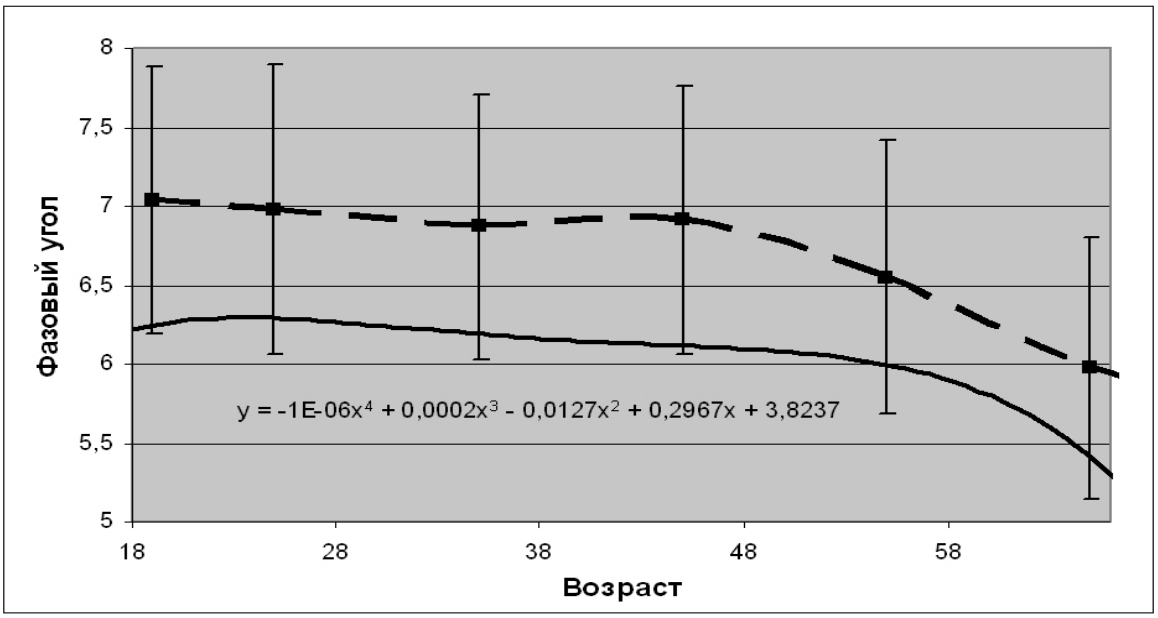


Рис. 2. Возрастная динамика фазового угла у женщин, занимающихся фитнесом (сплошная линия). Пунктирная линия соответствует опубликованным зарубежным данным

Таблица 3. Корреляции фазового угла с активной клеточной и скелетно-мышечной массой у спортсменов и посетителей фитнес клубов соответствующего возраста (15-35 лет)

Величины		Спорт		Фитнес	
		Мужчины (n=138)	Женщины (n=92)	Мужчины (n=740)	Женщины (n=1393)
Фазовый угол	АКМ	0,30	0,48	0,62	0,82
Фазовый угол	$СММ_{БИА}$	0,01	0,18	0,13	0,13

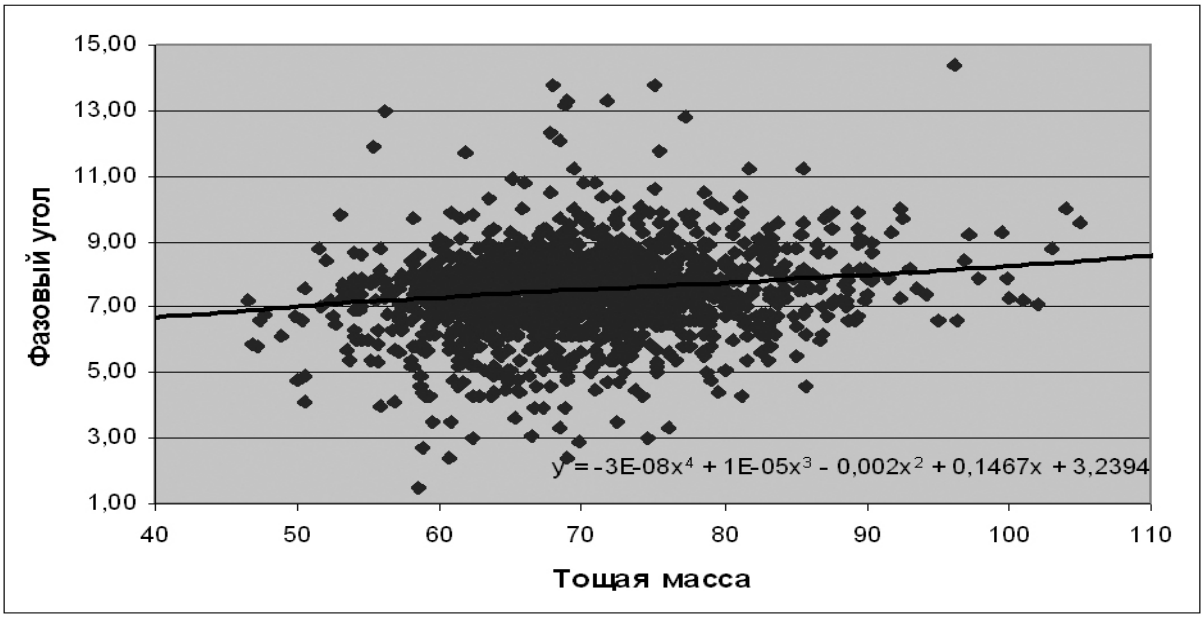


Рис. 3. Корреляции фазового угла с величиной тощей массы у мужчин, занимающихся фитнесом (n=1561)

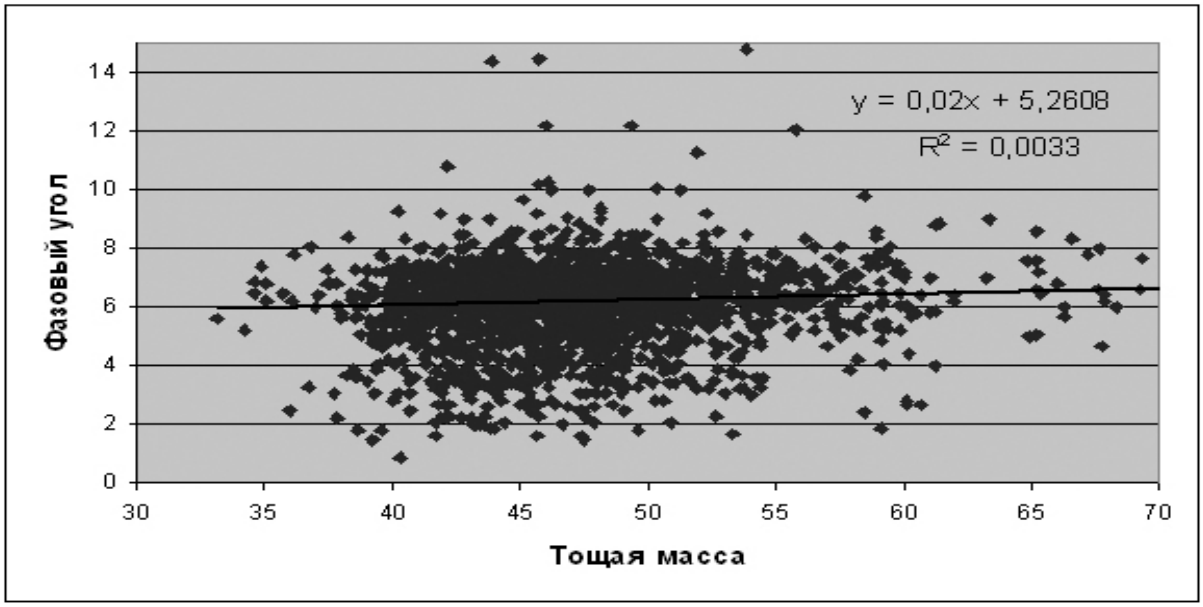


Рис. 4. Корреляции фазового угла с величиной тощей массы у женщин, занимающихся фитнесом (n=2110)

Обсуждение и выводы. На основе результатов биоимпедансного анализа посетителей фитнес клубов построены оценки диапазона нормальной изменчивости фазового угла у мужчин и женщин в возрасте 15-65 лет. Для российских популяций такое исследование проводилось впервые. Полученные данные в целом соответствуют результатам зарубежных исследований для общей популяции. Фазовый угол является чувствительным индикатором функционального состояния организма.

По нашим данным, средние значения фазового угла у спортсменов высокой квалификации оказались значимо выше. В отличие от спортсменов, у занимающихся фитнесом фазовый угол хорошо коррелировал с активной клеточной массой. В обеих группах изучаемый показатель практически не зависел от величин безжировой и скелетно-мышечной массы. Построенные оценки интервала нормальных значений фазового угла могут быть использованы в клинической медицине для характеристики выраженности функциональных нарушений у больных хроническими заболеваниями и оценки эффективности лечебных воздействий.

Литература

[1] Николаев Д.В. Руднев С.Г. Мартиросов Э.Г. Суйкова Т.А.*Исследование величины фазового угла как метод увеличение эффективности биоимпедансного анализа состава тела* / Наст. сборник

[2] Lukaski H.C. *Acta Diabetol*. V.40 (2003) S196-S199.

[3] Wells J.C.K. Williams J.E. Fewtrell M. Singhal A. Lucas A. Cole T.J. *Int. J. Obesity*. V.31, №3 (2007) 507-514.

[4] Cole K.S. *J. Gen. Physiol.* V.15 (1932) 641-649.

[5] Васильев А.В. Хрущева Ю.В. Николаев Д.В. Чедия Е.С. Пушкин С.В. Руднев С.Г. Гаврик М.В. *Матер. 8-й научн.-практ. конф. "Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы*", Москва (2006) 62-78.

[6] Мартиросов Э.Г. Николаев Д.В. Руднев С.Г. *Технологии и методы определения состава тела человека.* М.: Наука (2006) 248с.
[7] Barbosa-Silva M.C.G. Barros A.J.D. Wang J. Heymsfield S.B. Pierson R.N. *Am. J. Clin. Nutr.* V.82 (2005) 49-52.

БАЗОВЫЕ ОСНОВЫ БИОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

А.В. Смирнов, Д.В. Николаев

НТЦ «Медасс», Москва

Биоимпедансная спектрометрия (БИС), является перспективным средством исследования биологических объектов не только в целом, но и на региональном уровне. Эта возможность БИС значительно расширяет применимость данного метода исследования как в клинике, так для решения других задач, в том числе, исследовательского характера. Основные понятия и термины БИС изложены в [1,2]. В данной работе приведены результаты измерения импедансных спектров различных регионов тела человека. Эти результаты сопоставлены с теоретическими представлениями. По аналогии со спектрометрическими методиками, применяющимися в биохимии, физике и других областях, с результатами, получаемыми электроимпедансной спектрометрией in vitro, от БИС ожидается получение данных, идентифицирующих вид исследуемой живой ткани и характеризующей ее текущее состояние. Известны результаты, определяющие рубцовую, ишемизированную и здоровую ткань на открытом сердце, отечное и нормальное состояние эпидермиса после воздействия химическими реагентами, рубцовое и неизмененное состояние стенки мочеточника [3]. Цель настоящего исследования – анализ методических и технических аспектов изучения методом БИС свойств доступных с поверхности тела, достаточно крупных анатомических регионов. Измерения выполнялись с помощью биоимпедансного анализатора АВС-01 "Медасс". Этот прибор позволяет измерять активную и реактивную составляющие импеданса на 31 частотах, распределенных по логарифмическому закону в диапазоне 5-500 кГц. Диапазон измерения активной составляющей импеданса 10-900 Ом, реактивной составляющей 10-300 Ом. Анализатор подключается к персональному компьютеру через интерфейс USB.

Приводимые далее результаты получены с применением программы ABC01-024, поддерживающей измерения импедансного спектра для одного тетраполярного отведения на всех частотах. Длительность одного цикла измерения спектра от 0,3 до 1,3 с. Помимо импеданса между потенциальными электродами измеряются межэлектродные импедансы между прилегающими парами токовых и потенциальных электродов, используемые для коррекции влияния паразитных емкостей прибора и кабелей на основной измеренный импеданс [4]. Программа формирует временные тренды составляющих импеданса и позволяет выполнять фильтрацию по времени для устранения флуктуаций. Импедансный спектр отображается в виде частотных зависимостей R (активной составляющая), X (реактивной составляющая), Z (модуля импеданса), а также в виде годографа X(R). Предусмотрено построение частотных зависимостей не только абсолютных значений указанных физических величин, но и их значений, нормированных на значения при заданной опорной частоте, производных по частоте и ряд других вариантов. Результаты измерений могут экспортироваться в MS Excel и другие программы

для дальнейшей обработки. Субстратом, материальным носителем измеренных параметров импеданса принято считать: для R- активного, омического сопротивления проводящие объемы внутриклеточную и интерстициальную жидкость, плазму крови, лимфу, фракции третьего пространства, жира, соединительной и костной тканей. Для X, реактивного, емкостного сопротивления субстратом являются границы сред с различными величинами диэлектрической проницаемости. Это, прежде всего клеточные мембраны, поверхности клеточных органелл, а также поверхности соединительнотканных пленок (диафрагма, оболочки мышечных мешков), поверхности областей, заполненных воздухом (например, в альвеолах) и в значительно меньшей степени поверхности костей. Как составляющая реактивного сопротивления может восприниматься емкость всего тела относительно окружающих предметов.

Для лучшего понимания электропроводящих свойств живых тканей принято использовать модели на основе электрических эквивалентных схем. Простейшая модель (рис. 1,а) содержит омические сопротивления межклеточной и внутриклеточной жидкостей R_e, R_i и емкость клеточных мембран C_m. Годограф X(R) имеет вид полуокружности ("Модель а" на рис. 2). Правый конец дуги соответствует частоте 5 кГц, а левый – 500 кГц. Более близкими к реальным объектам являются схемы, содержащие несколько параллельных CR-цепей (рис. 1,б). При этом годограф имеет вид деформированной дуги окружности, центр которой лежит ниже оси абсцисс ("Модель б" на рис. 2). Далее рассмотрим импедансные спектры, получаемые (в стандартном отведении биоимпедансной процедуры оценки состава тела) при измерениях на человеке. Для них характерен подъем значений X на высоких частотах (рис. 3, график "Человек", получен при измерении импеданса в отведении RN, то есть, от правого запястья до правой щиколотки). Этот обладающий хорошей повторяемостью эффект ранее отмечался также зарубежными исследователями, работавшими на серийных приборах [5]. Причиной такого поведения зависимости X от частоты является емкость Ср, включаемая на эквивалентной схеме (рис. 1,б) параллельно биообъекту. Влияние Ср на импедансный спектр эквивалентной схемы также показано на рис. 3 (графики "Модель" и "Модель с Ср"). Происхождение этой емкости, по-видимому, связано с геометрическими и морфологическими свойствами самого биообъекта и окружающих его объектов, но не с измерительным прибором, так как в нашем случае входная емкость анализатора и емкость кабеля учитываются при калибровке. Это подтверждается совпадением измеренных и расчетных значений R и X с отклонением не более 2 Ом для всего диапазона частот при измерении на резистивно-емкостном эквиваленте объекта (рис. 4).

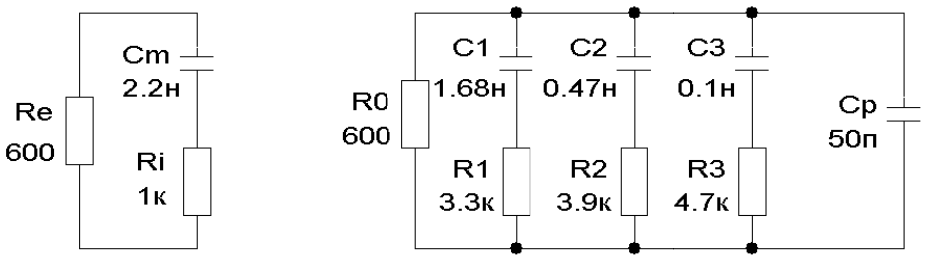


Рис. 1. Эквивалентные схемы биообъектов

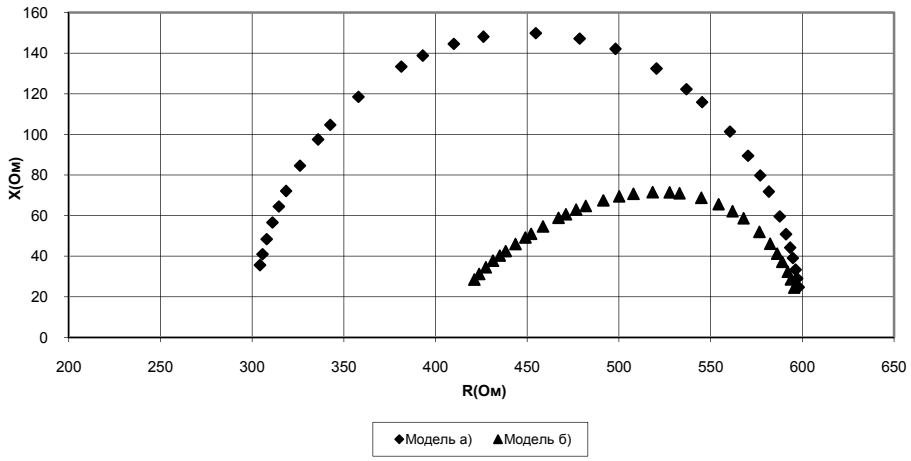


Рис. 2. Годографы импедансных спектров моделей по рис. 1

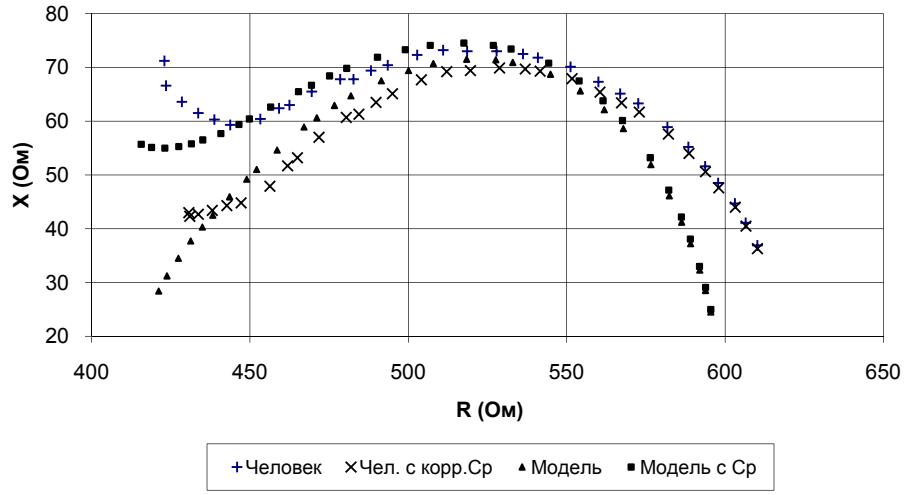


Рис. 3. Влияние паразитной емкости на импедансные спектры

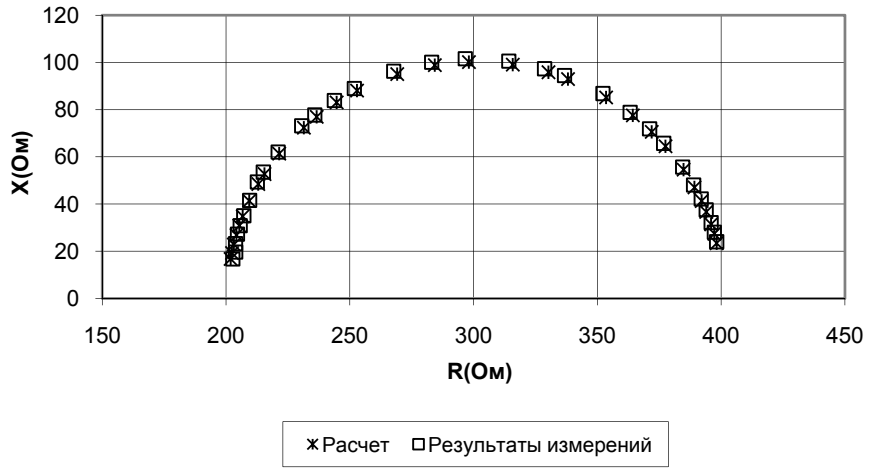


Рис. 4. Расчетный и измеренный импедансные спектры эквивалента объекта

В программе АВС01-024 имеется возможность введения поправки на величину параллельной емкости. Эффект этой операции иллюстрируется на рис. 3, где график "Чел. с корр. Ср" получается из графика "Человек" при задании Ср = 50 пФ. При этом форма годографа становится ближе к таковой для модели. К сожалению, пока невозможно дать ответ на вопрос о природе и величине Ср в каждом конкретном измерении, или, говоря проще, на какую величину надо корректировать Ср, и надо ли вообще это делать. Однако эта проблема относится только к измерениям реактивной составляющей импеданса. Если рассмотреть спектры активных составляющих R импеданса для тех же объектов, что на рис. 3, то можно увидеть, что изменения R при подключении или устранении Ср не превышают 2-3% во всем диапазоне частот (рис. 5). Следовательно, результаты измерений R можно считать достаточно достоверными.

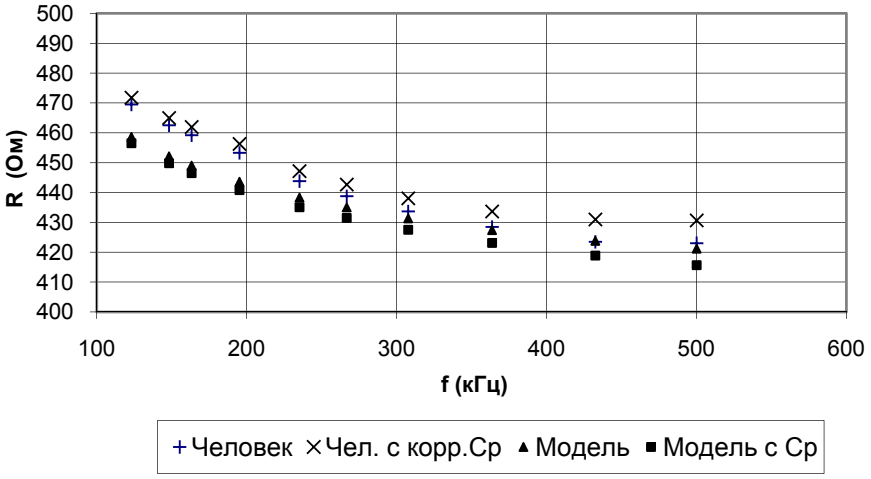


Рис. 5. Влияние паразитной емкости на активную составляющую импеданса

Далее сравним импедансные спектры нескольких человек. На рис. 6 графики "Ряд 1" и "Ряд 2" получены с молодых спортивных мужчин, "Ряд 3" – с пожилого мужчины с небольшим избыточным весом, "Ряд 4 " – для женщины со значительным избытком жировой массы. Все измерения проводились в отведении RN. Для сравнения дан годограф импедансного спектра эквивалентной схемы по рис. 1,б ("Ряд 5").

Для повышения сопоставимости, во-первых, оставим только активные составляющие импедансов, а во-вторых, перейдем к нормированным спектрам вида R(f)/R(fоп). В качестве опорной частоты $f_{оп}$ возьмем 5 кГц, так как для нее влияние паразитной емкости минимально. Качественное различие нормированных спектров на рис. 7 очевидно. Количественное исследование может представлять интересную задачу идентификации свойств биологического объекта по его спектральным характеристикам.

На рис. 8 приведены импедансные спектры в абсолютных значениях (а) и в относительных значениях при $f_{оп}$ = 5 кГц (б) для всего тела (отведение RN), руки и ноги одного и того же человека. Качественно спектры руки и ноги похожи на спектр всего тела, что вполне понятно, так как конечности вносят основной вклад в импеданс тела. Можно ожидать, что и для отдельных регионов тела, в частности, для конечностей окажутся информативными частотные зависимости активной составляющей импеданса. Что касается реактивной составляющей, то ее измерения позволяют фиксировать суще-

ственные изменения исследуемых тканей на низких частотах (ориентировочно – до 50 кГц), на которых влияние паразитной емкости несущественно. На рис. 9 показаны фрагменты импедансных спектров коленного сустава до (верхний график) и после (нижний график) массажа. Положения электродов между двумя измерениями не менялись. Видно, что существенно изменились значения именно Xc. Интерпретация этого результата не входит в задачи данной статьи.

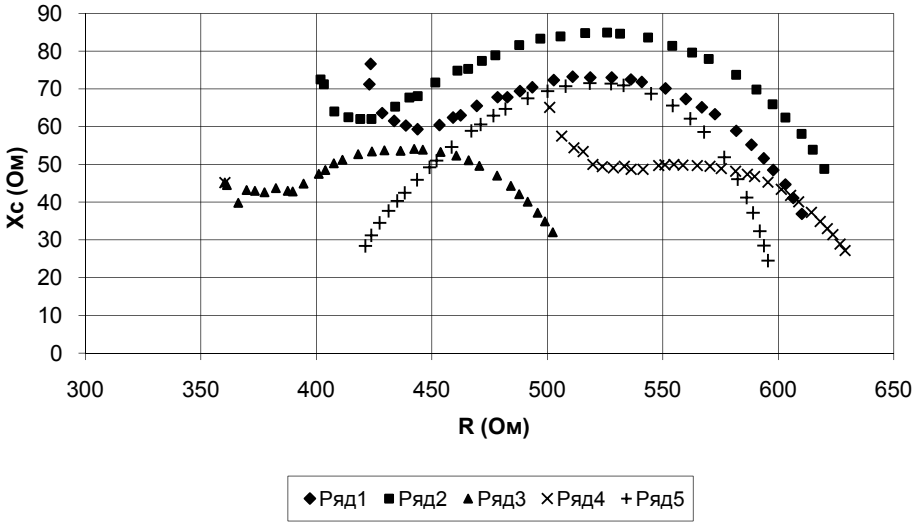


Рис. 6. Импедансные спектры разных людей

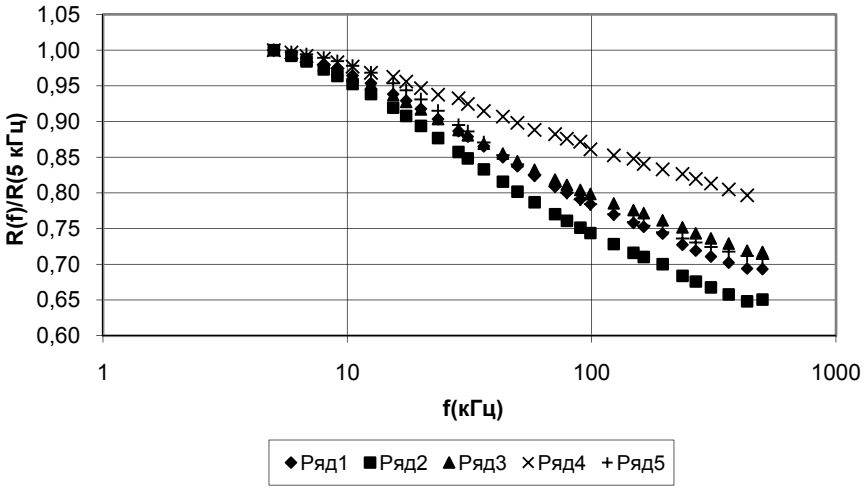
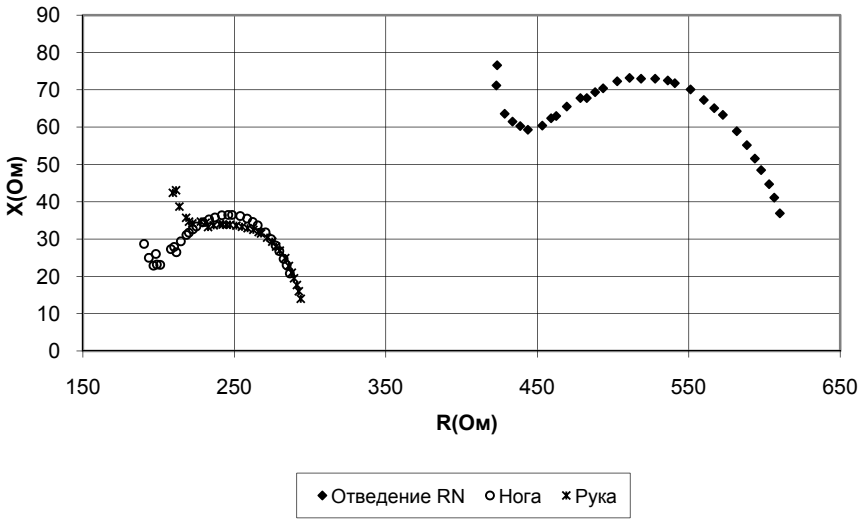
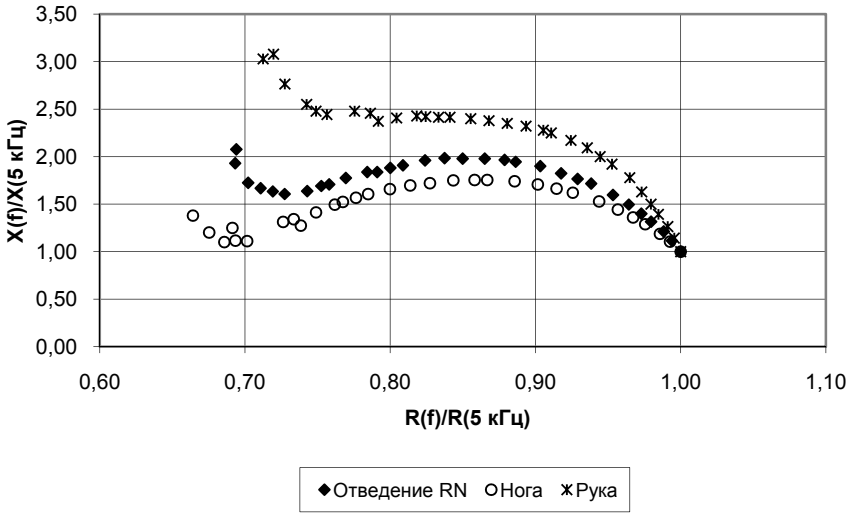


Рис. 7. Спектры активных составляющих импедансов разных людей



а)



б)

Рис. 8. Импедансные спектры всего тела и конечностей

Совершенно другой вид имеют импедансные спектры туловища. Годограф на рис. 10 получен при измерениях поперек живота, причем, электроды накладывались непосредственно на края исследуемого сегмента. Правый верхний конец графика соответствует частоте 5 кГц. Важно отметить, что при введении поправки на Ср в пределах -100..100 пФ точки графика смещаются не более чем на 1 Ом как по R, так и по X. Это является следствием низкого сопротивления исследуемого сегмента. Можно предположить, что наблюдаемый график соответствует участку левого спада дуги классического годографа по рис. 1, а вершина дуги достигается при более низких, чем 5 кГц частотах.

Необычный импедансный спектр показан на рис. 11. Измерения проводились по схеме "χ", в соответствии с которой токовые электроды накладываются, например, на правую руку и левую ногу, а напряжение измеряется между левой рукой и правой ногой. В результате должно получаться значение импеданса туловища. На рис. 11 верхний конец годографа соответствует низким частотам, а нижний конец – высоким часто-

там. Аномальность спектра в области высоких частот заключается, во-первых, в том, что активная составляющая импеданса возрастает, а во-вторых, в том, что реактивная составляющая принимает отрицательные значения.

Помимо измерений составляющих в статике, значительный интерес может представлять анализ динамики R и X. На рис. 12 показаны тренды значений R, X и Z, полученные при измерениях импеданса между запястьями двух рук на частоте 308 кГц. На графиках R и Z отчетливо видны колебания, создаваемые дыханием. Существенно более высокочастотные колебания, создаваемые пульсацией крови, просматриваются на тренде X. С ростом частоты зондирующего тока амплитуды колебаний составляющих импеданса обоих типов возрастают. Возможно, частотные зависимости этих амплитуд окажутся полезными при исследованиях процессов дыхания и кровотока.

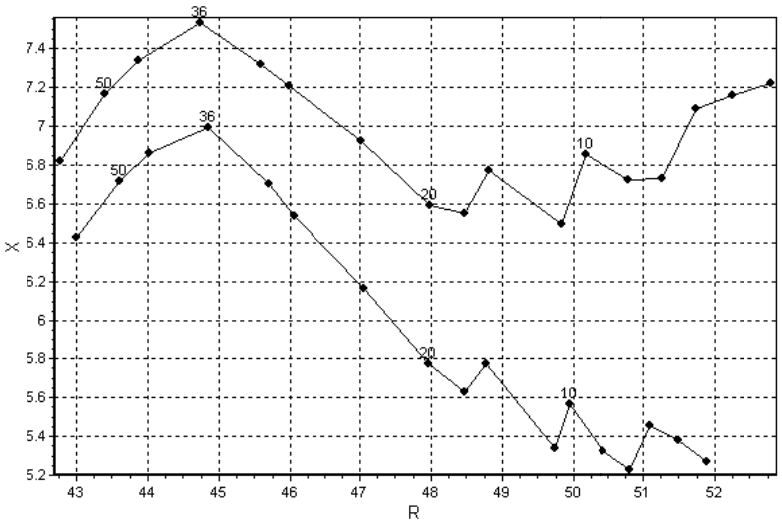


Рис. 9. Фрагменты импедансных спектров коленного сустава до и после массажа

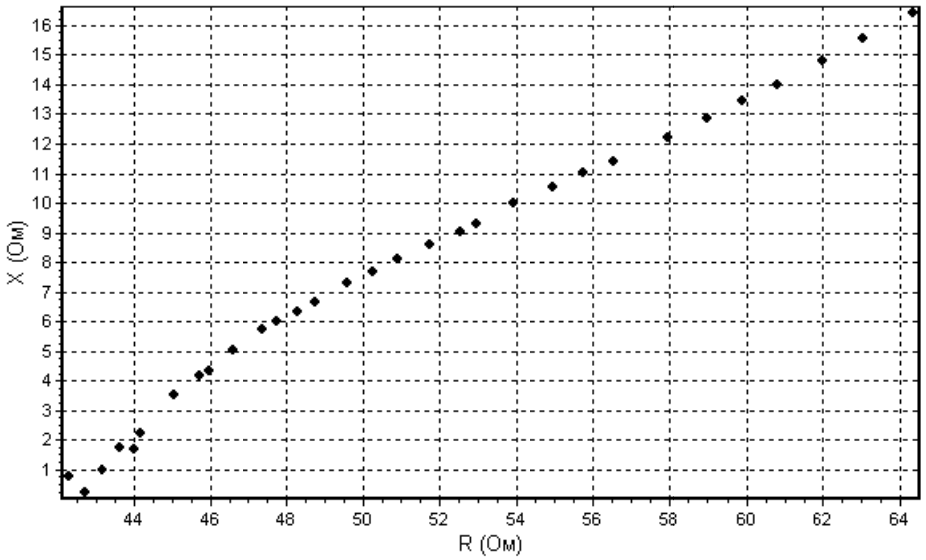


Рис. 10. Импедансный спектр участка туловища

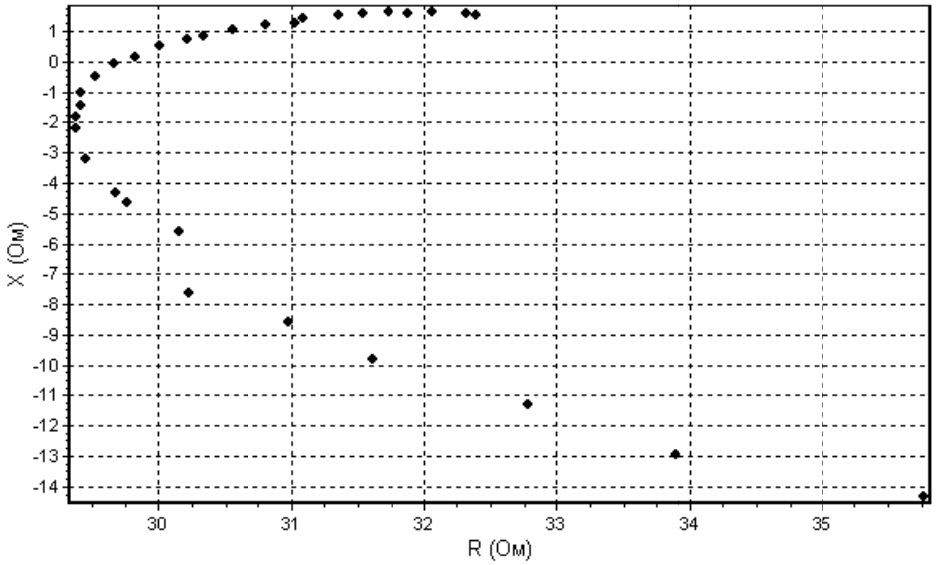


Рис. 11. Импедансный спектр туловища, измеренный в отведении "χ"

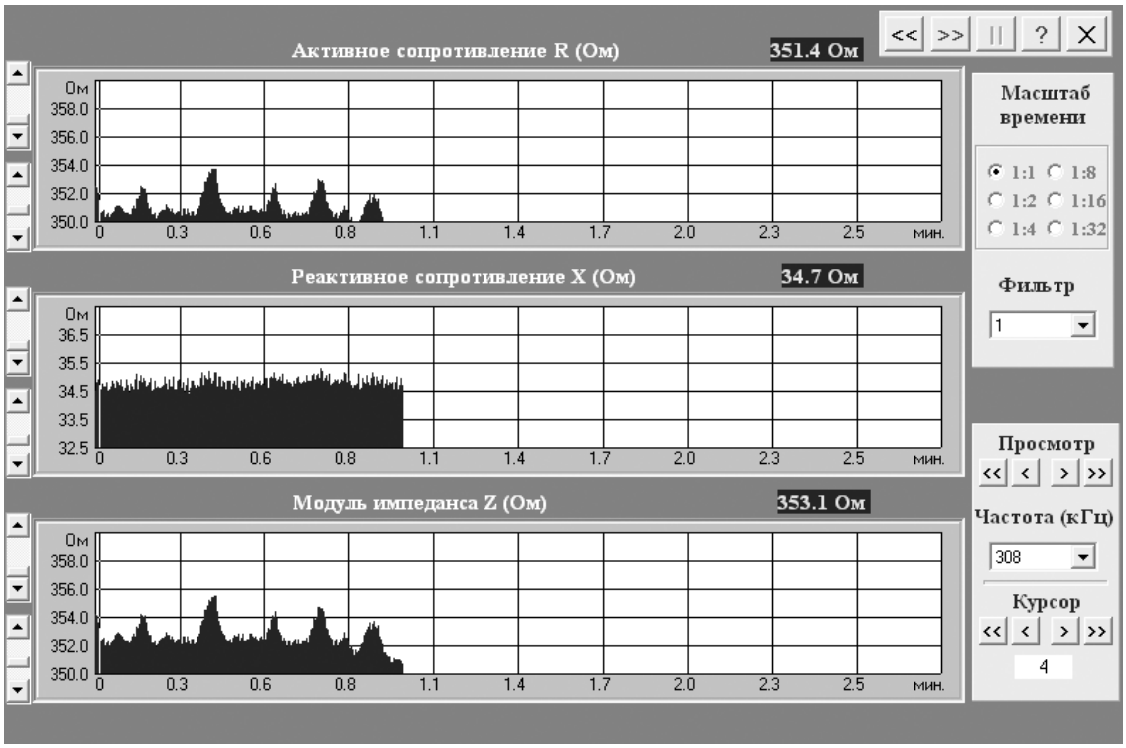


Рис. 12. Отображение динамики изменений составляющих импеданса

Выводы

1. Получение достоверных результатов с помощью импедансного спектрометра АВС-01 "Медасс" во всем диапазоне частот от 5 до 500 кГц для активной составляющей импеданса возможно при любых величинах модуля измеряемого импеданса в пределах диапазона измерений прибора, а для реактивной составляющей – только при относительно небольших значениях модуля измеряемого импеданса. Это связано с влиянием паразитных емкостей объекта и его окружения.

2. Полезная информация может содержаться не только в значениях отдельных точек частотных зависимостей составляющих импеданса, но и в форме этих зависимостей. Для извлечения этой информации необходимо развитие соответствующих методов обработки результатов измерений.

3. Значительный интерес может представлять изучение частотных зависимостей динамики изменений составляющих импеданса, создаваемых дыханием, пульсовым кровенаполнением и другими физиологическими процессами.

4. При некоторых вариантах формирования зоны исследования (наложения электродов) могут получаться аномальные импедансные спектры. Необходимо выяснить, почему получаются такие спектры, и выработать рекомендации по проведению измерений.

Литература

[1] S. Grimnes, O.G. Martinsen, *Academic Press* (2000) 360.
[2] А.В. Смирнов, А.А .Цветков, С.А. Туйкин, *Сборник трудов восьмой научно-практической конференции "Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы"*, Москва (2006) 26-30.
[3] Д.В. Николаев, А.В. Смирнов, А.Г. Тарнакин, Е.А. Гвоздикова, *Сборник трудов четвертой научно-практической конференции "Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы"*, Москва (2002) 198-204.
[4] А.В. Смирнов, А.А. Цветков, *Сборник трудов седьмой научно-практической конференции "Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы"*, Москва (2005) 61-66.
[5] M.P. Bolton, L.C. Ward, A. Khan, I. Campbell, P. Nightingale, O. Dewit, M. Elia. *Physiol. Meas.* 19 (1998) 235-245.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДОВ ПОЛИАТЛОНА, КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МНОГОБОРЦА И ПОСТРОЕНИЯ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА

Т.С. Гильмутдинов

Марийский государственный университет, пл. Ленина, 1, г. Йошкар-Ола, 424000, Россия

Сложность построения тренировочного процесса в полиатлоне заключается в различных физиологических характеристиках видов, включенных в его содержание. Глубокое изучение физиологических характеристик полиатлона, отдельных его видов, поиск оптимальных тренировочных средств и методов, несомненно, повысит эффективность тренировочного процесса.

В процессе тренировки в каждом виде полиатлона формируются комплексы приспособительных реакций, обеспечивающих морфологическую и функциональную адаптацию систем организма применительно к требованиям вида спорта. Все адаптационные процессы при спортивной деятельности протекают путем перестройки регуляторных механизмов с использованием физиологических реакций организма.

Знание особенностей адаптационных реакций в различных видах полиатлона позволяет использовать физиологические резервы для оптимальной адаптации с учетом объема и интенсивности тренировочных воздействий, влияния других факторов, воздействующих на организм во время напряженных тренировочных занятий и соревнований.

Спринтерский бег в полиатлоне состоит из бега на 60 и 100 м. Скорость продвижения зависит от темпа, амплитуды движения, силы и скорости мышечных сокращений. Это достигается высокой согласованной активностью нервных центров головного и спинного мозга, управляющих ими мышечными группами, образованием необходимого количества энергии для выполнения максимальной работы в короткое время. Бег на 100 м происходит в условиях анаэробного энергообеспечения работающих мышц с преобладанием распада богатых энергией фосфорных соединений – АТФ и КрФ. В целом анаэробный компонент при спринтерском беге на 100 м составляет около 90 % от общей энергопродукции. Это характеризует бег на 100 м по энергообмену, как работу максимальной анаэробной мощности. От его величины зависит результат в коротком спринте. Легочная вентиляция на финише достигает 60 % от максимальной рабочей вентиляции для данного спортсмена (60-80 л/мин).

Содержание в крови лактата достигает (до 15 ммоль/л), что является отражением преобладания процессов анаэробного энергообеспечения выполняемой работы.

Аэробное энергообеспечение выражается в обеспечении ресинтеза АТФ за счет непрерывного поступления кислорода в митохондрии мышечных клеток (окислительный механизм, который обладает наибольшей энергетической емкостью).

При многократном повторении скоростных упражнений в условиях тренировки и беге на короткие дистанции необходимо быстро восстанавливать работоспособность. А для этого необходим достаточно высокий уровень аэробного энергообеспечения. На фоне достигнутого объема аэробной работы возрастает тренировочный эффект под влиянием работы анаэробной направленности. Скорость в беге на 100 м обеспечивается максимально быстрыми движениями, в которых обязательным является силовой компонент. Показателем более совершенной регуляции движений в спринте является укорочение фазы отталкивания. Ее продолжительность составляет у мастеров спорта 80-100 мс, у спринтеров 1-2 разрядов – 115-120 мс, у новичков – 125-132 мс.

Бег на 1000-3000 м по времени выполнения находится между бегом на средние и длинные дистанции. Энергообеспечение при беге на 3000 м характеризуется увеличением суммарной энергии. В беге на 3 км он составляет 450 ккал. К 3-5 минуте в беге на 3 км полностью развертываются дыхательные процессы. Потребление кислорода достигает 95-100 % от индивидуальной величины МПК, а минутный объем крови и легочная вентиляция достигают максимальных для данного спортсмена величин. Это и ведет преобладанию аэробного энергообеспечения работающих мышц, которая составляет 60-70 % от общей энергопродукции. При беге на 1000-3000 м показатели кислородтранспортной системы (ЧСС, минутный объем кровотока, легочная вентиляция, скорость связывания в легких кислорода приближается к максимальным значениям). ЧСС составляет 180-200 уд/мин, глубина – ½ жизненной емкости легких (ЖЕЛ). Систолический объем крови – 170-180 мл, сердечный выброс -30-35 л/мин, увеличение легочной вентиляции происходит до 120-140 л/мин. В покое сердце у полиатлонистов работает более экономно, которая составляет от 42 до 56 уд/мин. Экономизация в работе сердца – это результат адаптационных морфофункциональных изменений в деятельности сердца. Бег на 1000-3000 м обуславливает развитие выносливости скелетных мышц

к длительной работе. В результате систематической тренировки происходят приспособительные компенсаторные изменения в мышечных волокнах. Увеличивается число капилляров, приходящихся на одно мышечное волокно, особенно в наиболее активных мышечных группах, подвергающихся тренировке на выносливость. Быстрые и медленные мышечные волокна могут иметь общие капилляры, однако средняя плотность капиляров больше вокруг медленных волокон, чем вокруг быстрых. Повышенная плотность капилляров работающих мышц увеличивает поверхность диффузии, облегчая переход кислорода в мышечные клетки и углекислого газа из мышечных клеток в кровь. Следовательно, у многоборцев более эффективно реализуется обеспечение скелетных мышц кислородом.

Плавание. В летнем полиатлоне плавание проводится на дистанциях 50-100 м. Горизонтальное положение тела, давление воды на грудную клетку затрудняют внешнее дыхание. Занятие плаванием способствует увеличению жизненной емкости легких, (ЖЕЛ) так у мужчин мастеров спорта по летнему полиатлону составляет 5,5-6,5 л, а у некоторых доходит до 7 л. ЧСС во время плавания составляет 170-196 уд/мин, частота дыхания 42 раза в 1 минуту, легочная вентиляция составляет 94-120 л/мин. МПК при плавании на 6-8 % ниже, чем во время бега. Величина сердечного выброса достигает 25 л/мин у мужчин и 20 л/мин у женщин. МПК составляет 5-6 л/мин или 65-70 мл/кг*мин. Расход энергии при плавании в 4 раза больше, чем при ходьбе с такой же скоростью. Энергетическая емкость проплывания 1 км у нетренированных женщин составляет 250-300 ккал, у нетренированных мужчин – 400-500 ккал.

Во время плавания происходит перераспределение кровотока в связи с увеличением кровоснабжения. Объем циркулирующей увеличивается не только в активных мышечных группах, но и в относительно неактивных органах и тканях тела. Происходит усиление капилляризации ведущих мышечных групп, их кровоснабжения. Повышается активность ферментов окислительного метаболизма, увеличивается количество митохондрий и содержание миоглобина. Наряду с повышением активности ферментных систем и другими адаптивными изменениями в мышечных волокнах, эти приспособительные процессы сказываются на повышении аэробных возможностей; создается большой аэробный потенциал в работающих мышцах. Один из механизов такого явления - увеличение объемов работы пловцов в упражнениях аэробной зоны.

Метание. В полиатлоне выполняется метание гранаты на дальность с разбега в коридор шириной 15 м. Вес метательного снаряда (гранаты) составляет для мужчин 700 г и 500 г для женщин. Метание на дальность в первую очередь характеризуется способностью к проявлению мощного мышечного усилия. Основным фактором достижения спортивного результата помимо совершенного владения техникой является уровень взрывной силы. При выполнении упражнений в метании спортивного снаряда на дальность преобладает анаэробное расщепление мышечных фосфагенов – АТФ и КрФ. Энергообразование характеризуется высокой мощностью, то есть высвобождением большого количества энергии в единицу времени.

Тотальные размеры тела (длина и масса тела, размах рук) положительно влияют на результаты в метаниях. В процессе тренировки в метаниях увеличивается физиологический поперечник мышц за счет утолщения мышечных волокон (гипертрофия), возрастает число капилляров, окружающих мышечные волокна. В процессе тренировки происходит функциональная специализация нервно-мышечного аппарата к скоростно-силовой работе, связанной с проявлением взрывной силы.

Пулевая стрельба. В полиатлоне выполняется стрельба из пневматической винтовки или пистолета, а так же допускается стрельба из малокалиберной винтовки. В пулевой стрельбе одним из основных требований является тончайшая мышечная дифференцировка. Тренировки в стрельбе способствуют развитию статической выносливости, уравновешенности. Каждый выстрел требует задержки дыхания в течении 6-8 секунд, что способствует развитию дыхательной системы. Достаточно высокие требования предъявляются к силовой выносливости. Стрельба стоя способствует развитию мышц спины и плечевого пояса.

Анализ физиологических характеристик видов полиатлона показывает, что уровень спортивной подготовленности зависит от множества факторов, которые тесно переплетены между собой. Наибольший эффект достигается при комплексном развитии физических качеств, не выходя за границы адаптационных возможностей организма в каждом из видов полиатлона. Трениировка в каждом виде полиатлона накладывает определенный адаптационный след в формировании морфофункциональной структуры спортсмена, одновременно вместе с оказанием общего воздействия на организм формирует и специфическую функциональную специализацию присущую конкретному виду. При построении тренировочного процесса необходимо учитывать физиологические характеристики видов полиатлона, с учетом положительного переноса и доведя до минимума отрицательный.

Литература

[1] Гильмутдинов Т.С. *Полиатлон*. № 1-2. С. 2-4 (2002)

[2] Уваров В.А. Гильмутдинов Т.С. *Полиатлон: Учебное пособие.* \ Мар. гос. ун-т.- Йошкар-Ола. 120 с. (2003)

II. КЛУБ ПРОФЕССОРСКОЙ МЫСЛИ «МЕЖВУЗОВСКИЙ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ИННОВАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР»

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ЭХО И МОДЕЛЬ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ В 0,84% РАСТВОРЕ NaCl

И.И. Попов[1], В.А. Козлов[2], В.Т. Нигматуллина[1], А.М. Гладышев[1]

[1]ГОУ ВПО Марийский государственный университет, пл. Ленина, 1, г. Йошкар-Ола, 424000, E-mail: popov@marsu.ru

[2]ГОУ ВПО Чувашский государственный педагогический университет ул. К. Маркса, 38, г. Чебоксары, 428000, Россия E-mail: poop12@yandex.ru

Ранее нами сообщалось о формировании диэлектрического эха в солевых газированных углекислотой растворах [1], представляющее собой импульсное уменьшение диэлектрической проницаемости среды после воздействия на нее двух разнесенных во времени импульсов электрического поля. В этой публикации показано, что вращательные движение возбужденных внешним электрическим полем частиц солевого раствора имеют резонансные частоты, измеряемые в миллигерцах. Природа таких сверхмедленных вращательных колебаний связана с ассиметрией форм колеблющихся частиц раствора, в начальный момент обладающих разной поляризуемостью в различных направлениях. В связи с получением новых экспериментальных данных наши представления о причине неоднородности подобных сред расширились.

Данная работа посвящена более детальному исследованию проблемы формирования диэлектрического эха в водном 0,84% растворе NaCl. Интерес к данной проблеме с одной стороны связан с тем, что теория формирования диэлектрического эха в солевых растворах не разработана, поскольку не выяснена природа его генерации. С другой стороны, полностью не изучены вопросы структуры воды, растворения в ней различных веществ и гидратации ионов в связи с отсутствием прямых методов исследования этих процессов. Кроме того, раствор такой концентрации NaCl является простейшей моделью плазмы крови, что уже само по себе представляет значительный теоретический и практический интерес.

Причиной формирования эхо-сигналов, возбуждаемых импульсным внешним воздействием, является неоднородность исследуемой среды, представляющей систему локальных осцилляторов [2]. Класс неоднородностей, включенных в жидкости весьма широк: это могут быть твердые частицы, жидкие капли, газовые пузырьки (для некоторых жидкостей – электронные пузырьки (баблоны)). Твердые частицы неправильной формы являются осцилляторами лишь при включении внешнего поля. Описание их движения в жидкости точно то же, что для газовой среды. В данной работе как осцилляторы рассматриваются кластеры воды, гидратированные ионы натрия, ионы хлора и свободные молекулы воды. Все эти объекты могут быть рассмотрены как твердые заряженные теля, имеющие собственный момент инерции и способные к ориентации в поле. Колебания локальных осцилляторов проявляют себя через излучаемое или рассеянное поле той или иной природы, которое обуславливает отклик системы на внешнее

воздействие. Примером такого отклика является осциляторное эхо. Теория осциляторного эха в неоднородных средах описана в монографии [2].

Экспериментальная установка представляла собой пластиковый цилиндрический сосуд, объемом 1,0 л, содержащий дистиллированную воду, либо 0,84% раствор NaCl, либо насыщенный раствор NaCl который помещали между обкладками регистрирующего конденсатора, электрическое поле которого ориентировали в горизонтальной плоскости (рис. 1, 2). Сосуд с приклеенными к нему обкладками регистрирующего конденсатора располагали внутри формирователя прямоугольных импульсов постоянного электрического поля, электрическое поле которого ориентировано в вертикальном направлении (рис. 1, 1). На обкладки формирователя прямоугольных импульсов постоянного электрического поля последовательно подавали два разделенных во времени возбуждающих импульса. Диэлектрическое эхо регистрировали с помощью микропроцессорного измерителя емкости (рис. 1, 5), сопряженного с персональным компьютером. Возбуждение и регистрацию диэлектрического эха проводили в температурном диапазоне 18-28ºС. Параметры двух разнесенных во времени и прямоугольных импульсов постоянного электрического поля и временной интервал между ними задаются согласно программе управления экспериментом. Обкладки регистрирующего конденсатора 2 подключаются к входу микропроцессорного измерителя емкости 5, информация с которого с частотой 1 Гц поступает в персональный компьютер 6. Дискретность регистрации емкости составляла 1 пФ в диапазоне от 0 до 1000 пФ.

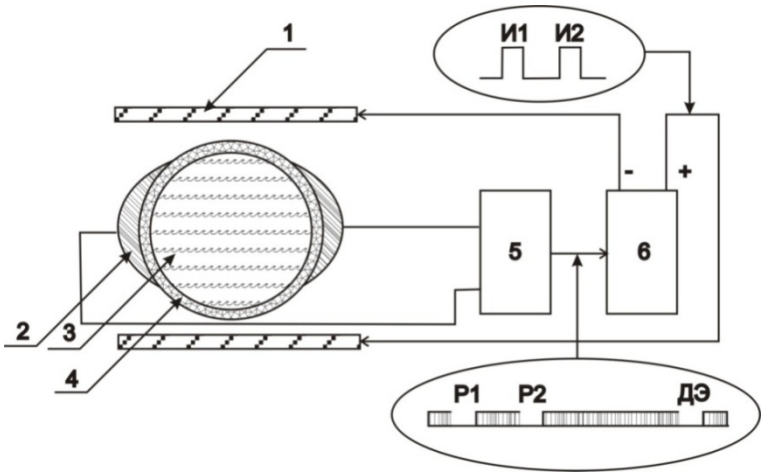


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования диэлектрического эха в ненасыщенных солевых растворах [[1]]
1 – формирователь прямоугольных импульсов постоянного электрического поля;
2 – обкладки регистрирующего конденсатора;
3 – солевой раствор;
4 – пластиковый цилиндрический сосуд;
5 – микропроцессорный измеритель емкости;
6 – персональный компьютер;

И1 и И2 – возбуждающие импульсы напряженности однородного электрического поля;
Р1 и Р2 – реакция диэлектрической проницаемости раствора в момент воздействия возбуждающих импульсов;
ДЭ – диэлектрическое эхо.

Порядок проведения эксперимента был следующим. Исследователь задает на персональном компьютере длительность возбуждающих импульсов и временной интервал между ними, время всего эксперимента, количество повторов одного и того же эксперимента. Затем запускает эксперимент, переводя управляющую программу в режим приема первичной информации с микропроцессорного измерителя емкости. Каждую секунду управляющая программа вносит дополнения в диаграмму зависимости емкости регистрирующего конденсатора от времени. Одновременно снимается диаграмма зависимости емкости второго (опорного) регистрирующего конденсатора, находящегося за

пределами обкладок воздушного конденсатора. То есть показания второго регистрирующего конденсатора не зависят от воздействия возбуждающих импульсов. Одновременно с показаниями регистрирующих конденсаторов на экране монитора показываются в том же масштабе времени возбуждающие импульсы напряженности однородного электрического поля. Возможен режим многократного проведения эксперимента в автоматическом режиме с пропорциональным изменением длительности возбуждающих импульсов и временного интервала между ними, общего времени эксперимента на величину, задаваемую с пульта компьютера. Возможен режим однократного эксперимента. Управляющая программа позволяет выделять интересующий фрагмент показываемой диаграммы и увеличивать его, а также выводить на печать содержимое экрана монитора. При отображении на мониторе емкости регистрирующих конденсаторов автоматически выбирается масштаб изображения, позволяющих максимально использовать площадь экрана монитора. Во время эксперимента в компьютере автоматически формируются три файла с информацией о возбуждающих импульсах и изменении емкости двух регистрирующих конденсаторов. Поскольку конструктивные параметры регистрирующих конденсаторов в процессе эксперимента поддерживаются неизменными, то по изменению их емкости можно судить об относительном изменении диэлектрической проницаемости раствора. Потому сигнал резкого изменения емкости первого регистрирующего конденсатора после воздействия возбуждающих импульсов назван нами диэлектрическим эхом.

Методика эксперимента включает следующие действия: подготовку солевого раствора для регистрирующих конденсаторов; набор с пульта компьютера режимов проведения эксперимента и регистрации сигнала диэлектрического эха, содержания параметров возбуждающей последовательности импульсов постоянного электрического поля; измерение емкости регистрирующего конденсатора без раствора, с раствором без воздействия возбуждающих импульсов; одновременную регистрацию возбуждающих импульсов и изменения диэлектрической проницаемости в регистрирующем конденсаторе, не подвергнутом воздействию возбуждающих импульсов и в регистрирующем конденсаторе, находящемся между плоскими электродами формирователя возбуждающих импульсов.

Данный эксперимент проходил в условиях экранизации резонансной среды от внешних электрических полей и с ее защитой от внешних вибраций.

Результаты исследования и их обсуждение. Генерация двух последовательных возбуждающих импульсов не сопровождалась регистрацией диэлектрического эха в дистиллированной воде и насыщенном растворе NaCl. В 0,84% растворе NaCl при температуре более 18ºС диэлектрическое эхо наблюдалось после последовательной подачи двух возбуждающих импульсов. А при 18ºС и ниже, диэлектрическое эхо не регистрировалось. С нашей точки зрения, полученные результаты можно интерпретировать следующим образом. Дистиллированная вода однородна по составу, поскольку состоит только из диполей воды, собранных в тетраэдрическую кристаллическую структуру (рис. 2а).

Поскольку отдельно взятые диполи в результате теплового движения переходят из кластера в кластер, а также могут перейти в свободное состояние, то кластеры воды существуют стохастически и поэтому называются мерцающими. Время нахождения единичного диполя в кластере 10^{-9}с. Кроме того, отдельные тетраэдры, образуя между собой водородные связи, создают ячеистую, стохастически постоянную структуру. Между ячейками этой структуры могут находиться свободные, ни с чем не связанные

диполи воды. Перемещения молекул воды в такой структуре носят коллективный характер, а строение средней кинетической единицы, прочность водородных связей и ажурность всей системы в целом определяются условиями существования (температурой, давлением и содержанием растворенных частиц) [3]. В водном растворе хлорида натрия ионы связаны сильными взаимодействиями с молекулами первого слоя гидратной оболочки, слабым ион-ионным взаимодействием и, в сравнении с ним, более сильным диполи воды связаны диполь-дипольным взаимодействием (водородной связью). Из анализа структуры следует, что для элементарного транспортного акта необходим как разрыв водородной, так и ионной связи, однако вклад в энергию активации водородной связи выше, чем электростатического взаимодействия [4]. При этом ионы натрия имеют такой размер радиуса, что встраиваются в тетраэдрическую структуру воды и, тем самым, не только не разрушают ее, но увеличивают число водородных связей (рис. 2б) [4].

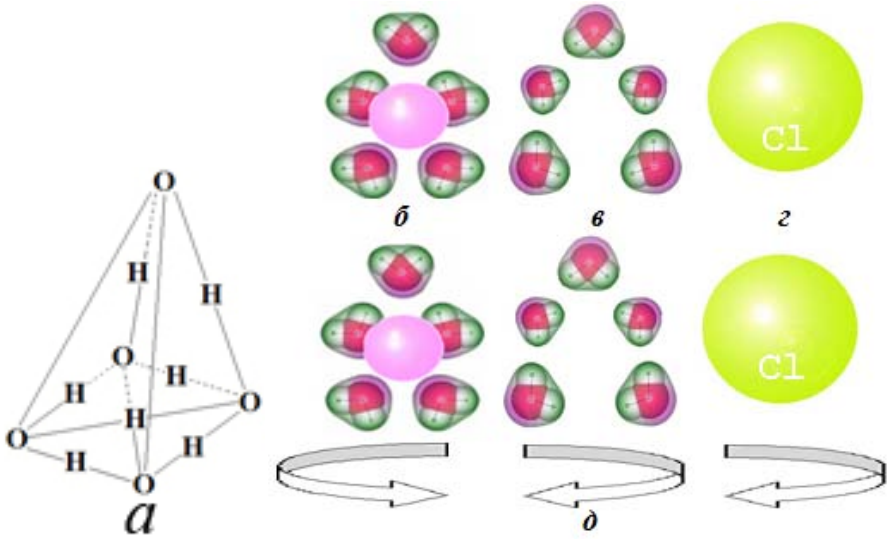


Рис. 2. Взаимоотношения тетраэдрического кластера воды *а)* и *в)* и растворенных в ней ионов *б)* – натрия и *г)* – хлора вне электрического поля и в электрическом поле *д)*
Тепловое движение кластеров свободной воды и ионов вне электрического поля разупорядочено: *б), в), г)*; в электрическом поле оно переходит в упорядоченное вращательное движение с появлением токов вращения: *д)*.

Таким образом, в водном растворе хлорида натрия существует, как минимум, четыре вида заряженных устойчивых объектов, имеющих разную массу: свободные диполи воды (18 у.е.), тетраэдрические кластеры воды (90 у.е.), гидратированные ионы натрия (113-131 у.е.) и, по-видимому, не гидратированные ионы хлора (35,5 у.е.) (рис. 2б, в, г). Cl^-, вероятно, при 20ºС не гидратированы, поскольку образование гидратной оболочки зависит от радиуса иона и температуры раствора. Чем больше радиус иона, тем выше предельная температура гидратации. Для Na^+ она равна 20ºС [5]. Все эти объекты (в дальнейшем – заряженные сферические объекты) в растворе, не подвергшемся воздействию электрического поля, находятся в состоянии стохастического теплового движения в ячеистой структуре воды. Поскольку эти заряженные сферические объекты отличаются от структуры воды, различны по массе и заряду, то их допустимо рассматривать как локальные неоднородности. Дистиллированная вода и насыщенный раствор

NaCl изотропны и не содержат неоднородностей, поэтому диэлектрическое эхо в них не генерируется. Диэлектрики, молекулы которых являются диполями, то есть центры распределения положительного и отрицательного заряда в них не совпадают, представляют собой полярные диэлектрики. К ним относятся вода, соли, спирты и другие вещества ионного строения. Молекулы создают в некоторой точке пространства собственное поле, но, поскольку они участвуют в тепловом движении, то ориентированы хаотически. Поэтому напряжённости этих полей взаимокомпенсируются, и диэлектрик поля не создаёт. Но, если поместить полярный диэлектрик в электрическое поле, то на положительные полюса диполей будет действовать сила, направленная по линиям напряжённости поля, а на отрицательные – против линий напряжённости. Тепловое движение не прекращается, но большее число диполей будет вдоль поля ориентированно. В результате смещения положительных и отрицательных зарядов диэлектрика в противоположные стороны возникает его поляризация.

Соответственно выше рассмотренным процессам, происходящим в полярных диэлектриках при воздействии на них электрического поля, в нашем случае под воздействием электрического поля на 0,84% раствор NaCl, заряженные сферические объекты выстраиваются по силовым линиям. В результате этого поступательное тепловое движение преобразуется в упорядоченное вращательное движение заряженных объектов с возникновением, т.н. токов смещения (рис. 2д). Вследствие этого, после окончания первого импульса, заряженные сферические объекты, в соответствии с законом сохранения импульса, продолжают вращательное движение. При этом они представляют собой систему осцилляторов, сфазированных в момент воздействия возбуждающего импульса. Вращательное движение осцилляторов будет сохраняться до тех пор, пока система не получит дополнительную энергию, необходимую для восстановления стохастического теплового движения. Таким образом, появление токов смещения и сохранение момента импульса обеспечивает фазовую память резонансной среды. После воздействия второго возбуждающего импульса, согласно теории осцилляторного эха [2] в силу наличия нелинейных свойств резонансной среды в ней происходят процессы, приводящие к восстановлению начальной фазы вращения осцилляторов, заданной первым возбуждающим импульсом. Этот момент сфазировки осцилляторов характеризуется резким уменьшением диэлектрической проницаемости среды в течение временного интервала, соизмеримого с длительностью возбуждающего импульса. Этот эффект назван нами регистрацией диэлектрического эха резонансной среды.

Таким образом, нами установлено, что обязательными условиями формирования диэлектрического эха в воде является наличие гидратированных ионов.

Работа поддержана грантом РФФИ № 06-02-16416а, а также НТП «Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 гг.) по мероприятию 1 в рамках тематического плана Марийского государственного университета.

Литература

[1] Попов И.И. Гладышев А.М. *Известия РАН, сер. физ*. (2007) № 4.
[2] Маныкин Э.А. Самарцев В.В. *Оптическая эхо-спектроскопия.* М. Наука (1984).
[3] Яшкичев В.И. *Вода. Движение молекул, структура, отклик на внешнее воздействие.* М. Агар (1998).
[4] Шапошник В.А. *Вестн. ВГУ. сер. хим. физ. биол. фармац*. №2 (2003) 81-85.
[5] Шноль С.Э. *Физико-химические факторы биологической эволюции*. М.: Наука (1979).

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЭНЗИМОМИКОЗНОГО ИСТОЩЕНИЯ ЗЕРНОВЫХ

Э.М. Шарапов[1], В.А. Козлов[2], И.И. Попов[1], Н.Н. Апаева[1], А.К. Свечников[1], Т.Л. Балдина[1]

[1] ГОУ ВПО Марийский государственный университет пл. Ленина, 1, г. Йошкар-Ола, 424000, E-mail: popov@marsu.ru
[2]ГОУ ВПО Чувашский государственный педагогический университет ул. К. Маркса, 38, г. Чебоксары, 428000, Россия E-mail: poop12@yandex.ru

Не решенной проблемой сельского хозяйства является болезнь зерновых культур – энзимо-микозное истощение, сущность которого заключается в том, что в условиях избыточно влажного лета (частые дожди, либо туманы) происходит повреждение зерна на корню. Первоначально при этом происходит вытекание содержимого зерна с частичной потерей его крахмала и белка, а затем наблюдается повреждение зерна патогенными грибами. Стекание зерна, как сложный комплекс механических, биологических и физиологических процессов в созревающем зерне и на его поверхности под влиянием избыточного увлажнения подробно описал М.С. Дунин [1], первым предложивший термин — энзимо-микозное истощение семян. При этом наблюдается включение механизма несанкционированного гидролиза крахмала, вследствие которого, в основном, происходит убыль массы зерна. Причины этого явления остаются невыясненными [2, 3]. Основное направление его изучения — исследование изоферментного состава α-амилазы и ее белковых комплексов. Постулируется, что в связанном состоянии с белковым компонентом фермент пассивен [4]. Вместе с тем предполагается существование физиологического механизма торможения прорастания зерна в созревших колосьях, который может быть нарушен [4].

В наших исследованиях наличие в зерне яровой пшеницы был обнаружен аналогичный ингибирующий комплекс [5, 6]. В результате его изучения было установлено, что ингибирующий комплекс зерна яровой пшеницы подавляет активность α-амилазы зерна, что тормозит запуск механизмов прорастания зерна. Кроме того, нами было обнаружено, что ингибирующий комплекс зерна яровой пшеницы вымывается из зерна водой. Такая способность ингибирующего комплекса позволяет осуществлять динамическую регуляцию прорастания зерна в условиях увлажнения его поверхности. Однако этот механизм нарушается при избыточной увлажненности во время созревания и уборки вследствие вымывания ингибирующего комплекса, что запускает механизм энзимо-микозного истощения.

Методы и материалы. Растительный материал. Семена яровой пшеницы Triticum aestivum L. сорта «Лада», районированный в Республике Марий Эл.

Приготовление растворов ингибирующего комплекса. Настой зерна яровой пшеницы приготовляли следующим образом: 6 кг зерен яровой пшеницы 12 раз по 500 г в тканевых мешочках замачивали в течение 8 ч в 1500 мл дистиллированной воды. Для этого в сосуд объемом 3 л наливали 1500 мл воды куда на 8 ч помещали семена яровой пшеницы в мешочке. После этого семена доставали из воды и отжимали. Объем воды после каждого замачивания доводили до 1500 мл и снова помещали новый мешочек с семенами. После двенадцатикратного замачивания настой использовали для проращивания семян яровой пшеницы во влажной камере чашек Петри.

Проращивание семян яровой пшеницы в присутствии ингибитора. На дно чашек Петри высевали по 25 семян яровой пшеницы. Дно укрывали дисками из фильтровальной бумаги. Фильтровальную бумагу смачивали 5 мл рабочего раствора, представлявшего собой настой зерна яровой пшеницы. Кроме того, в опытах с исследованием дозозависимости параметров проращивания из настоя зерна яровой пшеницы приготовляли рабочий раствор, путем смешивания исходного материала с дистиллированной водой в соотношении 5:0; 4:1; 3:2; 2:3; 1:4; 0:5 (контроль).

Чашки Петри с семенами, после посева, помещали в термостат и проращивали при Т 25°С. Результаты подсчитывали через 4 сут.

Изучение способности ингибирующего комплекса яровой пшеницы проникновению внутрь зерна. Для этого растения с двух одинаковых площадей в 1 м^2 озимой пшеницы и озимой ржи скашивали и укладывали на стерню в виде небольших валков. Для провоцирования прорастания зерна в колосе валки, находящиеся на стерне, опрыскивали водой с помощью ранцевого опрыскивателя 5 раз в течение дня. Объем воды на одно опрыскивание каждого валка составлял 10 л. Один валок был опытным, другой валок каждого растения был контрольным. Опытные валки озимой пшеницы и озимой ржи после каждого опрыскивания собирали в сноп и колосьями помещали в емкость с раствором препарата на 1 мин. Затем вынимали, давали стечь излишкам препарата со снопа и укладывали снова на стерню в виде валка. После полива опытные и контрольные валки укрывали пленкой. Остаточный раствор препарата использовали повторно.

Полученный цифровой материал обработан методами описательной и вариационной статистики с расчетом средней и среднеквадратичного отклонения Достоверность различий выборок, после исследования вида распределения, оценивали по критерию t Стьюдента, достоверными считали различия при $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Проращивание семян яровой пшеницы в настое собственного зерна, сопровождалось достоверным уменьшением длины проростков по сравнению с контролем (табл.).

Таблица Влияние водного экстракта зерен яровой пшеницы на длину проростков семян яровой пшеницы Triticum aestivum L. сорта «Лада», мм

Варианты опыта	Вариант проращивания	M±m	
Контроль (семена без замачивания)	Дистиллированная вода	4,85±0,13	p< 0,05
	Настой семян	3,8±0,17	p< 0,05
Замачивание 8 часов	Дистиллированная вода	4,43±0,19	p< 0,05
	Настой семян	3,56±0,26	p< 0,05

Этот эффект был дозозависим, то есть, в эксперименте с проращиванием зерен в линейке растворов экстракта в дистиллированной воде (см. методы и материалы) наблюдалось нарастание длины проростков при уменьшении концентрации экстракта (рис. 1). На рис. 2 показана полная задержка прорастания неразбавленным экстрактом. Отчетливо видно, что в контрольном эксперимента на 4 сут наблюдается интенсивный рост корешков, тогда как в эксперименте рост полностью заторможен.

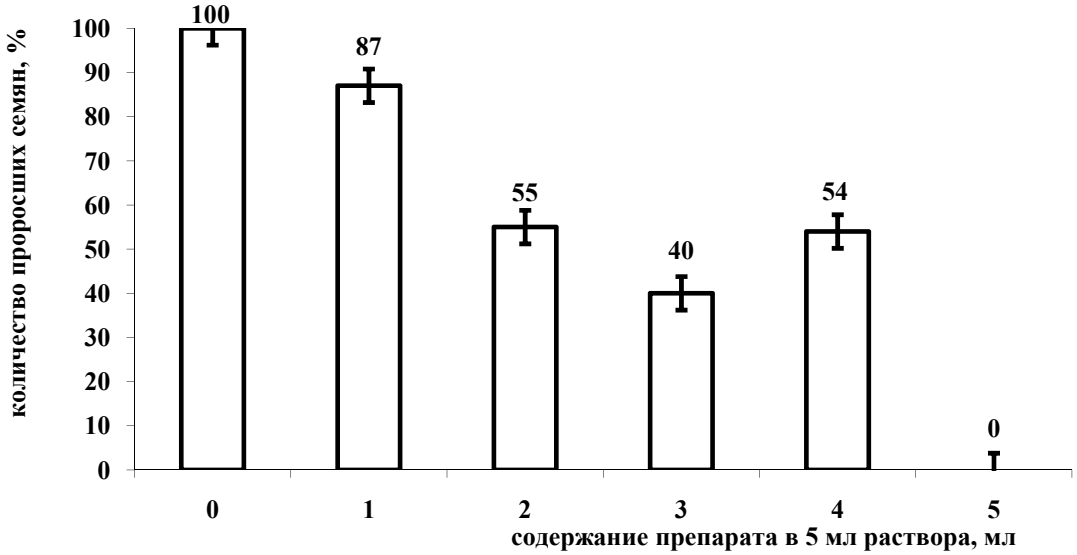


Рис. 1. Задержка прорастания семян яровой пшеницы (Triticum aestivum L.) в зависимости от количества ингибирующего комплекса из отрубей пшеницы $V_{пр}$ в 5 мл раствора экстракта.

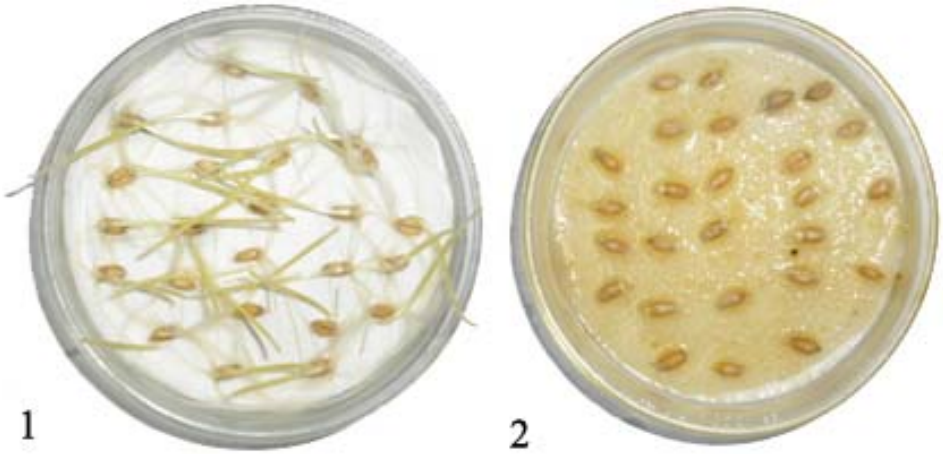


Рис. 2. Полная задержка прорастания семян яровой пшеницы (Triticum aestivum L.) пятью миллилитрами рабочего раствора, выделенных из отрубей пшеницы:
1 – контроль (фильтровальная бумага, смоченная дистиллированной водой);
2 – опыт (фильтровальная бумага, обработана раствором, содержащим максимальное количество препарата)

Из анализа данных, полученных в эксперименте, следует, что в покровах зерна яровой пшеницы содержатся вымываемые водой вещества, способные приостановить процесс прорастания собственного зерна.

При проведении деляночных опытов так, как это описано выше, было установлено, что орошение контрольных валков приводит к 100% проращиванию зерна в колосе, как озимой ржи, так и озимой пшеницы (рис. 3_1, 4_1). В опыте, когда валки после каждого увлажнения были обработаны экстрактом семян озимой пшенице, (рис. 3_2) не было ни одного проросшего зерна. В опыте с озимой рожью единичные случаи прорастания зерна наблюдались (рис. 4_2).

Из результатов данного эксперимента следует, что:

1) в покровах семян яровой пшеницы содержится водорастворимый ингибирующий комплекс, подвергаемый водному вымыванию при переувлажнении растений;

2) этот комплекс, при искусственном внесении его в валок, способен проникать из внешней среды внутрь зерна.

Таким образом, из наших экспериментов следует, что в зерне содержится вещество (или вещества), тормозящие проращивание зерна. Наиболее вероятно точкой приложения обнаруженного ингибитора прорастания зерна является α-амилаза, фермент, активация которого запускает разложение крахмала, содержащегося в зерне, на сахара, обеспечивающие рост зародыша. Торможение образования сахаров препятствует истощению зерна, поскольку содержащийся в нем крахмал, в связи с его плохой растворимость в воде, в неизменном виде удерживается в зерне. То есть, зерно содержит вещества, участвующие в ауторегуляции процесса прорастания.

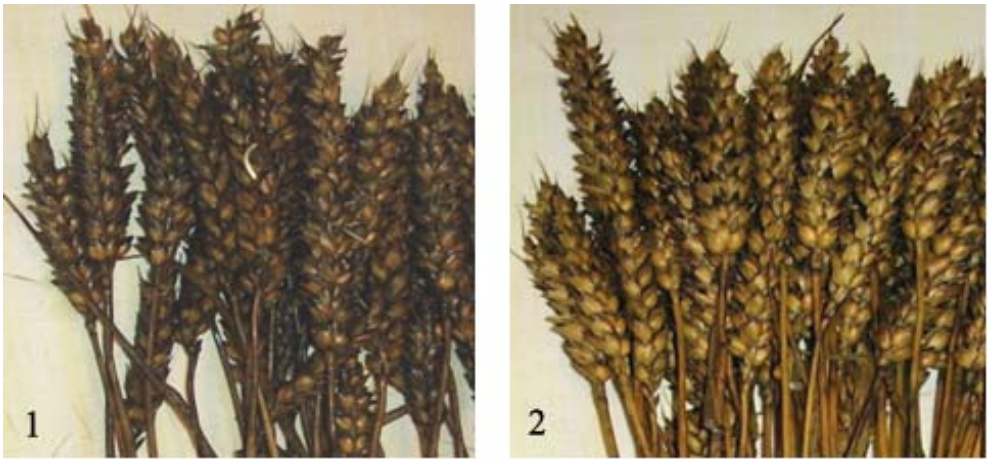


Рис. 3. Внешний вид колоса яровой пшеницы при избыточном экспериментальном увлажнении: 1 – контроль; 2 – опыт.

В результате обработки водой валков пшеницы яровой наблюдалось типичное для энзимомикозного истощения зерна проращивание зерна в колосе – 1. При дополнительной обработке валко настоем из семян пшеницы повреждения и прорастания зерна не наблюдалось – 2.

Рис. 4. Внешний вид колоса яровой ржи при избыточном экспериментальном увлажнении: 1 – контроль; 2 – опыт.

В результате обработки водой валков яровой ржи наблюдалось аналогичное проращивание зерна в колосе – 1. При дополнительной обработке валко настоем из семян пшеницы повреждения и прорастания зерна практически не наблюдалось – 2.

Целью наших дальнейших экспериментов будет исследование влияния обнаруженного ингибитора на рост патогенных грибов. Положительный результат экспериментов будет свидетельствовать о наличии у зерновых полноценного механизма защиты зерна от энзимо-микозного истощения в физиологических условиях.

Работа поддержана ФСРМФП в НТС, Старт 2007, Государственный контракт № 4875р/7291 от 26.03.2007.

Литература

[1] Дунин М.С. *Иммуногенез и его практическое использование,* Рига, Литгосиздат (1946) 145с.

[2] Холодный Н.Г. *К познанию снижения урожая зерновых культур, обусловленного дождливой погодой. Избранные труды Т. 3,*. Киев. АН СССР (1957) 421-426.

[3] Темирбекова С.К. *О проблеме энзимомикозного истощения семян в растениеводстве,* М.: Россельхозакадемия (2000) 306 с.

[4] Thimann K.V. *Plant growth. Fundamental aspects of normal and malignant growth*. Amsterdam. Elsevier Publ. (1960) 748.

[5] Шарапов Э.М. Марьин Г.С. Юнусов Г.С. Апаева Н.Н. *Акт. вопр. совершенств. технол. производства и переработки продукции сельского хозяйства,* Й-Ола (2007) 314-317.

[6] Шарапов Э.М. Попов И.И. Козлов В.А. Шарапов М.Э. Способ ингибирования α-амилазы. Приоритетный № 2007103203/13(003447) от 29.01.2007

АКТУАЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ И ПУТИ ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

И.И. Попов[1], В.А. Козлов[2] , Т.С. Гильмутдинов[1], В.Н. Гаврилов[3], В.А. Уваров[4]

[1]ГОУ ВПО Марийский государственный университет,
(424000, Россия, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1,) E-mail: popov@marsu.ru
[2]ГОУ ВПО Чувашский государственный педагогический университет,
(428000, Россия, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 38)
E-mail: pooh12@yandex.ru
[3]Автономная некоммерческая организация «Военно-спортивный фонд», г. Москва
[4] ГОУ ВПО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»
(119992, г. Москва, Ленинские горы)
"МГУ, физвоспитание" <KNMC-EAU@yandex.ru>

Одной из актуальных проблем является создание индустрии оздоровления населения и ее практической реализации. Важнейшей задачей которого является разработка научно-теоретических и практических основ формирования здоровья, технологий и индустрии оказания услуг по контролю и поддержанию высокого уровня здоровья человека, являющейся огромной возобновляемой рыночной нишей. Поэтому решение задачи оценки и коррекции уровня здоровья человека немедикаментозными средствами является весьма актуальной проблемой не только с позиции решения социальных задач но и по развитию инновационно-технологической деятельности общества. Двигательная деятельность может осуществляться, как при выполнении естественных действий по созданию условий жизнеобеспечения человека, так и при выполнении физических

нагрузок во время занятий физической культурой или спортом. Одним из важных факторов обеспечения полезности двигательной деятельности является сбалансированность микроэлементного и витаминного обеспечения питания с объемом физических нагрузок.

В современных научных кругах сложилось устойчивое мнение о том, что здоровье народа примерно на 50% предопределяется образом жизни; на 20% – окружающей средой; на 20% – генетической наследственностью и на 10% – медициной. Низкий уровень физического развития, двигательной и функциональной подготовленности молодежи является следствием своеобразной «задержки» морфофункционального развития их организма с прогрессирующей отрицательной тенденцией от года к году. В настоящее время даже в образовательных учреждениях увеличивается объем умственной деятельности, что приводит к малоподвижному образу жизни. Малоподвижный образ жизни не требует больших энергетических затрат, сокращает потребность организма в кислороде, что приводит к заболеванию сердечно-сосудистой и дыхательной систем, опорно-двигательного аппарата. Если в 60-70-е годы наблюдалось явление акселерации среди подрастающего поколения, то в настоящее время проведенный «Общероссийский мониторинг состояния физического здоровья населения, физического развития детей, подростков, молодежи» от 29 декабря 2001 г. № 916 показал, что такое явление не просматривается. Наибольшую тревогу вызывает физическое состояние и подготовленность молодежи допризывного возраста. Актуальность данной проблемы возрастает в связи с предстоящим переходом на одногодичную службу и службу по контракту.

У одной части детей и молодежи наблюдается недостаточный вес, слабое физическое развитие. У другой части обнаруживается излишнее содержание жирового компонента превышающее физиологическую норму. В связи с этим очевидна проблема внедрения в практику физического воспитания детей и молодежи наиболее эффективных, доступных, привлекательных научно-обоснованных как традиционных, так и нетрадиционных форм массовой коррекционно-оздоровительной физической культуры.

Не оправдало надежд физкультурно-спортивное движение «Президентские состязания», на которое возлагались большие надежды и были брошены огромные финансовые средства. Тестовые испытания обладали невысокой степенью информативности и не предусматривали переход к занятиям спортом. Это движение не учитывало реакцию организма человека на физические нагрузки в условиях его недостаточного обеспечения витаминами и микроэлементами. К тому же падение интереса [1, 3] к процессу мониторинга физической подготовленности учащихся общеобразовательных школ в рамках спортивно-оздоровительной программы «Президентские состязания» по мере знакомства с ней учителей физической культуры свидетельствует о низкой эффективности данного подхода к проблеме оздоровления детей, подростков и молодежи.

Вопреки очевидному эффекту, увеличение продолжительности как жизни в целом, так и периода активной жизни, снижение заболеваемости и болезненности населения, обусловленное этим увеличение эффективности труда и снижение потерь трудоспособности по болезни и инвалидности, наблюдавшиеся на протяжении второй половины XX века в результате проведения и внедрения широкомасштабных медицинских исследований, бытует совершенно неадекватное мнение о неэффективности вложения средств в здравоохранение. В частности, это обусловлено желанием получения быстрых денег от капиталовложений и неумением вкладывать деньги в здравоохранение.

В обществе существует проблема низкой физической подготовленности детей подростков и молодежи. В частности, она связана с тем, что 70% заканчивающих об-

щеобразовательную школу, имеют, как минимум, одно хроническое заболевание. Очевидно, что решить эту проблему только средствами медицинского контроля и коррекции не удастся, и не удалось до сих пор, не смотря на проведение многочисленных государственных программ по оздоровлению населения. Одной из причин этого является витаминномикроэлементный дисбаланс, обусловленный истощением почв и сформировавшейся индустрией общественного питания, учитывающей, в основном, интересы производителя, а не потребителя. Поскольку и витамины, и микроэлементы обеспечивают необходимую активность ферментных систем, витаминномикроэлементный дисбаланс усугубляется при предъявлении повышенных физиологических требований к ферментативным системам, что наблюдается у людей с повышенной физической и умственной активностью, особенно в условиях тренировочного процесса, направленного на улучшение физической подготовленности.

Результаты регулярных массовых обследований, проводимых Институтом питания РАМН, однозначно свидетельствуют о недостаточном потреблении витаминов и ряда микроэлементов (*Fe, I, Se, Ca*) у большей части детского и взрослого населения России. Особенно неблагополучно обстоит дело с обеспеченностью витамином С, недостаток которого по обобщенным данным выявляется у 80-90% обследуемых, а глубокий дефицит у 50-80%. У 40-80% населения выявлена недостаточная обеспеченность витаминами *B1, B2, B6*, фолиевой кислотой. Более 40% населения России испытывает дефицит β-каротина (предшественник витамина *A* и ряда гормонов) [2].

Дефицит витаминов обнаруживается не только зимой и весной, но и в летне-осенний период, что свидетельствует о формировании у большинства населения России крайне неблагоприятного круглогодичного типа полигиповитаминоза. Полигиповитаминозы часто сочетаются с дефицитом микроэлементов. Обеспеченность витаминами у детей и подростков не превышает 20-40%, а белково-витаминный дефицит испытывают до 90% детей России [2].

Выявляемый дефицит:

1) носит характер сочетанной недостаточности витаминов *C*, группы *B* и каротина, т.е. является полигиповитаминозом;
2) обнаруживается не только весной, но и в летне-осенний, наиболее обеспеченный фруктами и овощами период года и таким образом является постоянно действующим неблагоприятным фактором;
3) у значительной части детей, беременных и кормящих женщин поливитаминный дефицит сочетается с недостатком железа, что служит причиной широкого распространения скрытых и явных форм железодефицитной анемии;
4) в большинстве регионов России полигиповитаминоз сочетается с недостаточным поступлением *I, Se, Ca* и ряда других микроэлементов;
5) обнаруживается практически во всех группах населения во всех регионах страны [2].

Выраженная несбалансированность питания, наблюдаемая на всей территории Российской Федерации, обусловлена двумя основными причинами: диетологическими и эндемическими. Таким образом, недостаточное потребление микронутриентов является массовым и постоянно действующим фактором, отрицательно влияющим на здоровье, рост, развитие и жизнеспособность нации.

Другая проблема — резкое снижение витаминов в промышленно-получаемых продуктах питания, что требует необходимость регулярного дополнительного приема витаминов в чистом виде (поливитаминно-минеральные комплексы), эффективность которых не доказана. Поэтому в настоящее время умеренный дефицит нескольких ви-

таминов одновременно стал общемировой проблемой, а в России, в связи с ситуацией хронического голода у больших групп населения (потребление менее 1800 Ккал/сут), стал национальным бедствием. Даже при достаточном суточном калораже, несбалансированное питание, и, в частности, витаминодефицитные состояния, рассматривается сегодня ВОЗ как проблема голодания; это оказывает прямое влияние на уровень заболеваемости и смертности всего населения. Более того, согласно данным, предоставляемым Институтом питания РАМН, даже сбалансированный рацион является дефицитным по основным витаминам на 20-30% [2]. Эта ситуация усугубляется недостаточной информированностью населения, отсутствием экономических возможностей и желания вести здоровый образ жизни. Дефицит витаминов чаще полиэтиологичен. Встречается в виде множественных сочетаний недостатка нескольких витаминов, каждый из которых в данном конкретном случае может быть в большем или меньшем количестве. Поэтому клиническая картина витаминного дефицита значительно меняется. Основные, «малые», проявления этого состояния: быстрая утомляемость и частые простуды.

Эта проблема решается с помощью нескольких подходов:

- медицинский – в основном производится лечение заболеваний, вызванных или спровоцированных микроэлементным и/или витаминным дисбалансом, без диагностики и коррекции этого дисбаланса. Эта терапия может дополняться полимикроэлементновитаминными препаратами, без контроля эффективности;
- индустриальный – производится и продается масса БАД, в лучшем случае содержащих суточные дозы витаминов и микроэлементов, чаще абсолютно неадекватных по составу, которые, в основном, распространяются через сетевой маркетинг с помощью совершенно невежественных распространителей. При этом, они рекламируются как более адекватная альтернатива полимикроэлементновитаминным препаратам и панацея от всех заболеваний. Диагностика эффективности также не осуществляется.

Основным недостатком обоих тактик является несформированность целевых групп населения. Это ведет к резкому снижению эффективности всей работы, увеличению числа осложнений в связи с бесконтрольным применением препаратов без показаний, отсутствию возможностей прямой оценки эффективности применяемых средств и методик.

Для преодоления тенденции снижения уровня здоровья детей, подростков и молодежи необходимо разработать в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» мероприятие по теме: «Научно-теоретические основы и методы практической реализации индустрии оздоровления детей, подростков и молодежи» с принятием неотложных первоочередных мер на государственном уровне:

1) незамедлительное внедрение ступенчатой единой системы тестирования физической подготовленности детей и учащейся молодежи на основе спортивно-технического комплекса «Готов к труду и защите Отечества», с тестовыми испытаниями разработанной группой авторов и апробированных в Республике Мордовия [3].

Внедрение комплекса позволит отслеживать соразмерность и соответствие уровня физической подготовленности детей, подростков и учащейся молодежи согласно возрастных требований;

2) заведение на каждого участника «Индивидуальной карты тестирования физической подготовленности с дополнительным включением параметров отражающих уровень физического развития и функционального состояния;

3) включить в программы физического воспитания в общеобразовательных, средних и высших учебных заведениях «полиатлон», как базовый вид спорта, проявивший себя наиболее эффективным средством обеспечения разносторонней физической подготовки детей и учащейся молодежи;

4) необходимо организовать подготовку специалистов по полиатлону с высшим и средним специальным физкультурным образованием в физкультурных вузах Российской федерации;

5) для контроля соответствия активной мышечной массы к общей массе внедрить систему контроля на основе «биоимпедансного» анализа [4], как наиболее доступного и высокоинформативного метода;

6) разработка мер по обеспечению эффективности двигательной деятельности через сбалансировованность микроэлементного и витаминного обеспечения питания человека с объемом выполняемых им физических нагрузок;

7) при этом необходимо учитывать возрастные физиологические изменения детей и молодежи;

8) необходимо предварительно выявить какие микроэлементы и витамины потребляются в недостаточном количестве;

9) диагностика витаминномикроэлементного дисбаланса у допризывной молодежи;

10) внедрение в практику работы физкультурно-оздоровительных центров, работающих с допризывной молодежью, витаминномикроэлементных БАД;

11) в рамках Концепции государственной политики в области здорового питания населения Российской Федерации [5] исследование пищевого поступления и выведения витаминов и микроэлементов рутинными лабораторными методами;

12) рутинные клинические исследования;

13) оценка вегетативного статуса;

14) активное формирование у населения нового пищевого поведения.

Реализация программы предполагается в общеобразовательных школах с полным и неполным средним образованием, в средних специальных и высших учебных заведениях, а также в школах в группах здоровья и группах, получающих социальную помощь в виде школьных обедов. Выбор групп обусловлено тем, что эти субпопуляции детей имеют явный дефицит витаминов и микроэлементов и, кроме того, они явно организованы. Кроме того, на поддержание физического статуса в этих группах уже выделяются средства, которые могут быть использованы более эффективно.

Литература

[1] Мониторинг физического развития и физической подготовленности: теория и практика [Текст]: монография / С.И. Изаак.- М.: Советский спорт (2005) 196 с.

[2] Доклад Института питания РАМН, *Вопр. питания, №1* (1999) 3-6.

[3] Актуальные проблемы разработки государственного физкультурно-спортивного комплекса Российской Федерации: (результаты апробации в респ. Мордовия) /М-во спорта, физкультуры и туризма РМ и др.; отв. Ред. Н.А. Смолькин; редкол.: В.А.Уваров и др. – Саранск (2005) 124 с.

[4] Мартиросов Э.Г. Николаев Д.В. Руднев С.Г. *Технологии и методы определения состава тела человека*. М.: Наука (2006) 248с.

[5] Постановление Правительства Российской Федерации № 917 от 10.08.1998 г.

III. ДОКЛАДЫ ПО ПРОГРАММЕ "У.М.Н.И.К" «ФОНД СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ МАЛЫХ ФОРМ ПРЕДПРИЯТИЙ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ»

СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВПРЫСКА ПЕРЕГРЕТОГО СПИРТОВОГО ТОПЛИВА

В.Н. Белогусев, А.В. Егоров

ГОУ ВПО Марийский государственный технический университет, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
e-mail: Sernyr86@mail.ru

1. Актуальность. Автомобильный транспорт особенно в последние десятилетия является одним из основных источников выбросов парникового углекислого газа и ряда токсических продуктов сгорания топлива. Это монооксид углерода, углеводороды, окислы азота. Наряду с этим автомобильный транспорт является одним из основных потребителей ископаемых углеводородов, некоторые из которых по оценкам экспертов могут закончиться уже в текущем столетии.

Таким образом, к настоящему времени перед человечеством стоят следующие задачи, требующие скорейшего решения – значительное сокращение выбросов парникового газа и поиск реальных альтернатив невозобновимым источникам энергии. Решение и первого и второго вопроса возможно путем замены традиционных топлив автотранспортных средств на альтернативные.

В последнее время в западных странах значительный интерес проявляется к спиртовым топливам в виду относительной простоты их получения [1]. Большую часть мирового автопарка составляют автотранспортные средства, снабженные бензиновыми двигателями [2], до 90% из них оснащаются топливными система распределенного впрыска топлива [3].

Таким образом, значительный вклад в решение глобальных проблем может внести замена традиционных топлив альтернативными – в частности спиртами. По такому пути идут ведущие западные автомобилестроительные корпорации, однако и они сталкиваются с серьезными проблемами. В частности, двигатель, работающий на чистом спирте, невозможно запустить при температуре атмосферного воздуха ниже 10 ^{o}C. Для компенсации этого недостатка используют 10-15%-е включения бензина в состав спирта. Такие бензоспиртовые смеси продаются на заправках западных стран под названием E85 и E90 (число обозначает процентное содержание спирта в смеси, E – этанол).

В настоящий момент на чистом спирте автотранспорт эксплуатируется только в странах с экваториальным, тропическим и субтропическим климатом. На широтах умеренного и холодного климата автотранспорт эксплуатируется на смесях E85, E90. Чистые спирты обладают значительно большей (приблизительно в 4 раза) удельной теплотой испарения по сравнению с бензинами, что делает затруднительным их использование в чистом виде.

2. Предлагаемое техническое решение. Базируется на концептуальной основе, заключающейся в том, что впрыск спирта необходимо осуществлять в перегретом виде, то

есть при температуре превышающей температуру его кипения при атмосферном давлении. Суть предлагаемого технического решения системы распределенного впрыска поясним с помощью рис. 1-4.

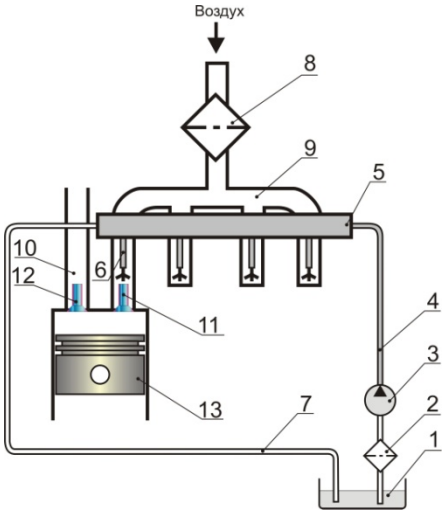


Рис. 1. Стандартная система распределенного впрыска бензина: 1 – топливный бак; 2 – топливный фильтр; 3 – топливный насос; 4 – напорный трубопровод; 5 – топливная рампа; 6 – форсунка; 7 – сливной канал; 8 – воздушный фильтр; 9 и 10 – впускной и выпускной коллектор; 11 и 12 – впускной и выпускной клапаны; 13 – поршень

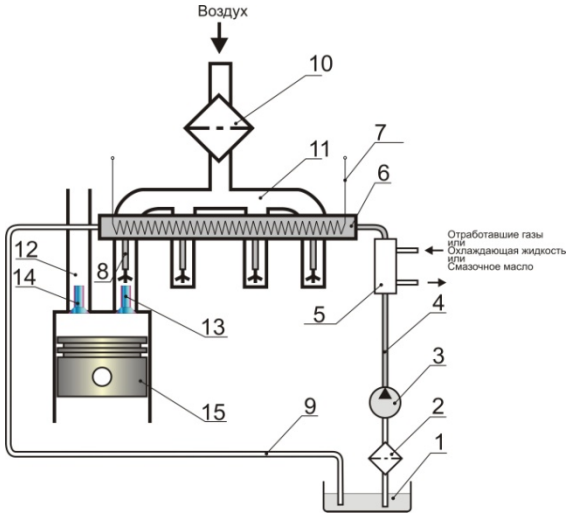


Рис. 2. Система распределенного впрыска перегретого топлива: 1 – топливный бак; 2 – топливный фильтр; 3 – топливный насос; 4 – напорный трубопровод; 5 – регенератор теплоты между напорным трубопроводом и каналом циркуляции отработавших газов и/или охлаждающей жидкости и/или смазочного масла; 6 – топливная рампа; 7 – электрический нагреватель; 8 – форсунка; 9 – сливной канал; 10 – воздушный фильтр; 11 и 12 – впускной и выпускной коллектор; 13 и 14 – впускной и выпускной клапаны; 15 – поршень

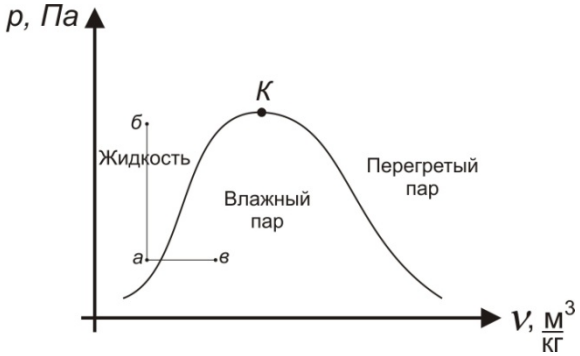


Рис. 3. Идеальный процесс изменения параметров топлива в стандартной системе распределенного впрыска: а-б – процесс повышения давления топлива насосом 3 (рис. 1), б-а – процесс падения давления топлива при его распылении через форсунку 6, а-в – процесс подвода теплоты от тарелки впускного клапана работающего двигателя к топливу

Рис. 4. Идеальный процесс изменения параметров топлива в системе распределенного впрыска перегретого топлива: а-б – процесс повышения давления топлива насосом 3 (рис. 2), б-в – процесс подвода теплоты к топливу в регенераторе 5 от отработавших газов и/или охлаждающей жидкости и/или смазочного масла; в-г – процесс подвода теплоты к топливу от электрического нагревателя 7, г-д – процесс падения давления топлива при его распылении через форсунку 8, д-е – процесс подвода теплоты от тарелки впускного клапана работающего двигателя к топливу

Запальная доза бензина в смесях Е85 и Е90 заменяется в предлагаемом техническом решении запальной дозой перегретого спирта, впрыскиваемого во впускной коллектор. Такое техническое решение предложено в патенте на изобретение Российской Федерации [4] и ряде заявок на изобретения автора.

Пренебрегая процессами теплообмена с воздухом в момент впрыска и полагая, что после впрыска все топливо в том или ином агрегатном состоянии будет находиться во взвешенном виде (не сконденсировавшемся) закон сохранения энергии запишется в следующем виде:

$$c_{p_{n.cn.}} M_{n.cn.} T_{n.cn.} = c_{p_{cn.}} M_{cn.} T_{cn.} + \lambda_{cn.} M_{cn.},$$

где $c_{p_{n.cn.}}, M_{n.cn.}, T_{n.cn.}$ – удельная теплоемкость, масса и температура перегретого спирта.

$c_{p_{cn.}}, M_{cn.}, T_{cn.}$ – удельная теплоемкость, масса и температура спирта, находящегося в состоянии насыщенной жидкости после впрыска во впускной коллектор.

$\lambda_{cn.}$ - теплота парообразования спирта при давлении, равном давлению во впускном коллекторе.

$M_{cn.}$ - масса пара, образовавшегося во впускном коллекторе, после впрыска перегретого спирта.

Зная абсолютное давление топлива в системе распределенного впрыска традиционной конструкции (0,5 МПа) [5], зная теплофизические параметры на линии насыщения спиртов, а именно теплоемкость и удельную теплоту парообразования, [6] определим количество спирта, которое может быть переведено в паровую фракцию сразу после впрыска во впускной коллектор, при условии, что температура перегрева спирта была максимально допустимой для рабочего давления топлива в системе впрыска, результаты представим на рис. 5.

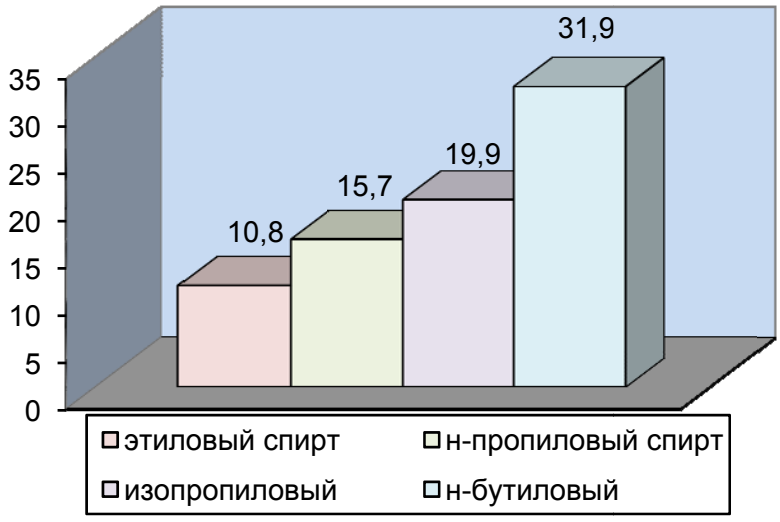


Рис. 5. Количество спирта, которое может быть переведено в паровую фракцию при его впрыске в предельно перегретом состоянии из традиционной системы распределенного впрыска топлива.

Как показано на рис. 5 высшие спирты имеют преимущества перед этиловым спиртом. Доля паровой фракции в таких спиртах после впрыска значительно больше доли паровой фракции этилового спирта.

Таким образом, используя предварительный перегрев спиртов в системах распределенного впрыска можно получить запальные дозы спиртов, находящихся в паровом состоянии. Причем запальная доза по массе будет не меньше запальной дозы бензина в бензоспиртовых смесях марки Е90.

Результаты теплового расчета четырехцилиндрового ДВС ВАЗ-2115 мощностью 57 кВт, при 5400 об/мин, степень сжатия 9,8 при нормальных атмосферных условиях при его работе на бензине и перегретых спиртах представлены на рис. 3.

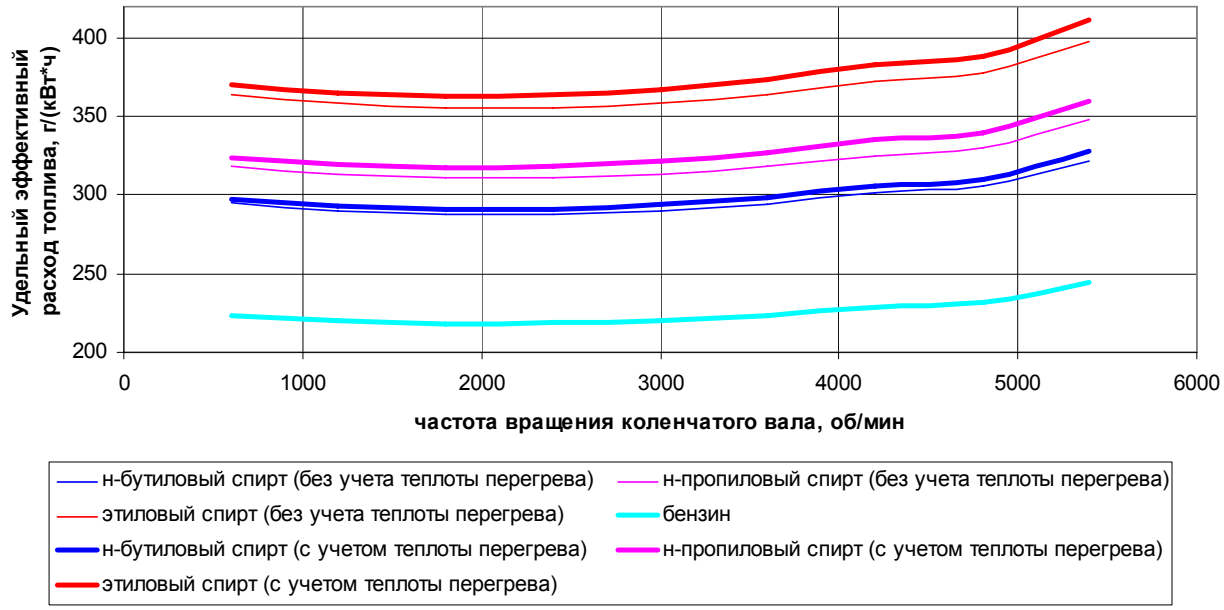


Рис. 6. Результаты численного моделирования удельного эффективного расхода топлива двигателем ВАЗ-2115 при работе на разных видах топлива.

Впрыск перегретого спирта во впускной коллектор вызывает увеличение средней температуры топливо-воздушной смеси, поступающей в цилиндры двигателя, что приводит к росту удельного эффективного расхода топлива (рис. 6).

Для традиционной системы распределенного впрыска топлива (давление топлива 0,5 МПа) средний рост температуры топливо-воздушной смеси при впрыске перегретых спиртов составит:

- при впрыске этилового спирта ~ 42 ^{o}C;
- при впрыске н-пропилового и изопропилового спиртов ~ 45 ^{o}C;
- при впрыске н-бутилового спирта ~ 23 ^{o}C.

Как показано на рис. 3 использование перегретого н-бутилового спирта приводит к меньшему росту удельного эффективного расхода топлива, поэтому его использование предпочтительнее.

Таким образом, с целью минимизации вредного воздействия перегрева топлива на удельный эффективный расход топлива перегрев топлива по большей части должен осуществляться лишь на стадии прогрева двигателя.

Согласно [7] рост температуры спиртового топлива приводит к сокращению содержания альдегидов в продуктах сгорания топлива, поэтому оптимальную степень перегрева спиртовых топлив можно будет установить лишь на основании экспериментальных исследований.

Литература
[1] *www.fueleconomy.com*
[2] *www.autostat.de*
[3] *www.tu-wien.at*
[4] Патент №2278990 *«Система приготовления топливовоздушной смеси для двигателя внутреннего сгорания с принудительным воспламенением».*
[5] *Системы управления бензиновыми двигателями*. Пер. с нем. *За рулем* (2005) 432 с.
[6] Варгафтик, Н.Б. *Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей*. – М. Наука (1972) 721.
[7] Карпов, С.А. *Применение алифатических спиртов в качестве экологически чистых добавок в автомобильные бензины*. Москва, Нефтегазовое дело (2006).

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ НА ОСНОВЕ НЕКОГЕРЕНТНОГО ФОТОННОГО ЭХА

К.Р. Каримуллин

Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН
420029, Казань, ул. Сибирский тракт 10/7
Казанский государственный университет, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18
e-mail: qamil@inbox.ru

1. Введение

Проблема разработки новых систем диагностики и неразрушающего контроля не перестает быть весьма актуальной на сегодняшний день. В различных областях науки и техники широко применяются методы лазерной диагностики [1]. Хорошо известны, например, методики лазерного зондирования атмосферы [2]. Особенно важной является задача поиска оптимальных способов диагностики биологических сред и исследования быстропротекающих химических реакций. Настоящая работа посвящена разработке лазерной оптоволоконной системы диагностики на основе явления некогерентного фотонного эха. Такие системы обладают высокой чувствительностью и хорошим временным разрешением, безопасны, реализация их технически проста. Подобные устройства могут найти широкое применение в биологии и медицине (анализ биосистем), оптическом производстве (спектроскопия оптически плотных материалов, стекол, пленок, оптических волокон), исследовании газовых сред и плазмы.

2. Фотонное эхо в исследовании вещества

Фотонное эхо (ФЭ) – нелинейное оптическое явление, состоящее в возникновении в резонансной среде под действием последовательности из двух и более лазерных импульсов неравновесной электрической поляризации и, как следствие, в генерации этой средой задержанного (относительно возбуждающих импульсов) во времени когерентного оптического импульса излучения в условиях существования в среде фазовой памяти [3]. В качестве модельных резонансных сред используются, как правило, ванфлековские парамагнетики, диапазон же исследуемых веществ очень широк. В работе устройств на основе фотонного эха могут найти применение, в основном, сигналы стимулированного фотонного эха (СФЭ). СФЭ – когерентный отклик резонансной среды на воздействие трех возбуждающих импульсов, генерируемый в момент времени: $t = \tau_{23} + 2\tau_{12}$, где τ – временной интервал между возбуждающими импульсами. В опти-

ческом диапазоне сигнал СФЭ излучается, твердотельной резонансной средой в направлении волнового вектора $\vec{k}_{СФЭ}$, удовлетворяющего условию пространственного синхронизма $\vec{k}_{СФЭ} = -\vec{k}_1 + \vec{k}_2 + \vec{k}_3$, где $\vec{k}_j$ – волновой вектор j –го возбуждающего импульса. Обратим внимание на то, что при $\vec{k}_2 = -\vec{k}_3$ имеем $\vec{k}_{СФЭ} = -\vec{k}_1$. Этот режим известен как обращенный [4] и именно он в основном используется в эхо-спектроскопии, из-за удобства оптической схемы и высокого отношения сигнал-шум. Следует отметить, что обращение испытывает не только волновой вектор сигнала, но и фаза, поляризация и волновой фронт фотонного эха, свойства эти также широко используются.

Можно показать, что интенсивность сигналов первичного и стимулированного фотонного эха, пропорциональна следующим релаксационным множителям:

$$\mathbf{I_{ПФЭ} \propto exp\left(-4\tau_{12}/T_2\right),\ I_{СФЭ} \propto exp\left(-4\tau_{12}/T_2 - 2\tau_{23}/T_1\right),} \qquad (1)$$

где τ_{12} – временной интервал между первым и вторым возбуждающими импульсами,

τ_{23} – временной интервал между вторым и третьим импульсами.

Из (1) следует, что, меняя временной интервал τ_{12} между лазерными импульсами при возбуждении первичного светового эха и фиксируя интенсивность этого сигнала, мы получаем кривую спада, из которой можно определить время поперечной необратимой (фазовой) релаксации T_2 (по обратной же величине можно судить об однородной ширине спектральной линии). Аналогично, меняя временной интервал τ_{23} при фиксированном интервале τ_{12}, получают кривую спада СФЭ, из которой определяют время продольной необратимой релаксации T_1. Отметим, что время релаксации T_1 практически равно времени "жизни" возбужденного состояния.

Однородная ширина спектральной линии в зависимости от резонансной среды обязана своим появлением, как правило, одному или нескольким доминирующим релаксационным или случайным процессам. По существу, это ширина одного спектрального "пакета", скрытая неоднородным уширением. Оптическая когерентная спектроскопия высокого разрешения обладает рядом методик для определения параметров, характеризующих однородную ширину и, следовательно, для исследования различных релаксационных процессов. Эхо-релаксометрия является, таким образом, мощным инструментом для исследования вещества.

Использованию фотонного эха для исследования атмосферы посвящена работа [5]. Предложенная там схема фотонного эхо-лидара (а также активного фотонного эхо-зеркала) представляет собой стандартный эхо-спектрометр [6], в котором первый возбуждающий (зондирующий) лазерный луч проходит через атмосферу. В качестве активной среды используется ячейка, наполненная молекулярным йодом, однако, применяются также и примесные кристаллы (например, ван-флековские парамагнетики). В лазерном зондировании атмосферы часто используется титан-сапфировый лазер. На основе этого лазера и примесных кристаллов, легированных трехзарядными ионами тулия (в качестве перспективных носителей информации, со временем фазовой памяти до нескольких часов) предполагается строить оптические эхо-процессоры. Исследование примесных кристаллов с ионами тулия для этих целей подробно описано в работе [6]. Таким образом, оказывается возможным совместить в устройствах диагностики на основе фотонного эха исследование лазерных импульсов зондирующих атмосферу с их продолжительным хранением и обработкой. В работе [5] указывалось также на тот

факт, что режим некогерентного фотонного эха может оказаться полезным в случаях, когда из-за сложных атмосферных условий зондирующее излучение в значительной степени теряет свою когерентность.

3. Некогерентное фотонное эхо и его использование в системах диагностики

Фотонное эхо принято относить к классу когерентных оптических переходных явлений. В традиционной схеме возбуждения ФЭ разность фаз импульсов на входе в образец оказывается заданной и стабильной, а сами импульсы являются взаимно когерентными. В случае возбуждения эхо-сигнала двумя независимыми импульсными источниками широкополосного света, такая взаимная когерентность отсутствует, но, тем не менее, фотонное эхо наблюдается [7]. Временное разрешение методики ФЭ определяется в общем случае не длительностью возбуждающих импульсов, а временем когерентности излучения источника (то есть обратной шириной спектра его излучения). Ключевым моментом здесь является то, что два луча получаются делением одного общего луча на полупрозрачной пластине. При этом они сохраняют взаимную когерентность при задержках меньших времени когерентности источника возбуждения. Тогда, при использовании для возбуждения ФЭ широкополосного источника, временное разрешение методики ФЭ может быть повышено и может достигать фемтосекундного диапазона. Взаимная некогерентность импульсов может достигаться не только за счет использования независимых источников возбуждения. Частичное нарушение взаимной когерентности может быть вызвано за счет распространения одного из возбуждающих импульсов, после деления пучка на полупрозрачной пластине, по оптоволокну. При этом степень взаимной когерентности импульсов будет определяться различными факторами: модовой структурой, длиной, качеством оптоволокна, а также характеристиками самих импульсов.

В работе [8] описан выполненный при участии автора эксперимент по НФЭ в кристалле рубина. Описана экспериментальная установка НФЭ, приведена осциллограмма сигналов эха, спектральная зависимость интенсивности сигналов некогерентного эха и исследована кривая спада (время релаксации T_2 = 98 нс). Именно эта работа, показавшая возможность сопряжения эхо-спектрометра с оптическим волокном, послужила отправной точкой для идеи разработки оптоволоконных систем дистанционной диагностики на основе некогерентного фотонного эха.

В основе создаваемой системы лежит фотонный эхо-спектрометр работающий в некогерентном режиме. Информация об изучаемой среде определяется из анализа кривых спада сигналов фотонного эха, возбуждаемого на резонансных переходах атомов (молекул) зондов, внедренных в исследуемое вещество. Как правило, методами стандартной эхо-спектроскопии проводятся измерения времен фазовой релаксации в упорядоченных твердотельных средах, при низких (“гелиевых”) температурах в наносекундном диапазоне длительностей. Для исследования неупорядоченных (в том числе и биологических) сред необходимое временное разрешение должно составлять десятки фемтосекунд. Для реализации пикосекундного и фемтосекундного разрешения возможно использование специальных некогерентных источников излучения, так называемых шумовых лазеров, характеризующихся широким (тепловым) спектром излучения.

Таким образом, рабочий образец, при работе в режиме некогерентного эха, может находиться при комнатной температуре, то есть, необходимость в криогенных жидкостях для охлаждения отпадает. Для регистрации слабых сигналов некогерентного эха может использоваться весьма чувствительный к малоинтенсивным световым потокам

метод счета фотонов [9]. Сама установка за счет использования оптоволокна вместо стандартной зеркальной оптики может быть существенно миниатюризована.

4. Значимость и эффективность проекта

Конечным продуктом реализации данного проекта является некогерентный фотонный эхо-спектрометр. Предлагаемая система дистанционной диагностики позволит: исследовать зондирующие среду сигналы с регулируемой временной задержкой; изучать быстропротекающие релаксационные процессы в фемтосекундном диапазоне длительностей; использовать преимущества фотонных эхо-методик (возможность исследования поляризации, обращения волнового фронта, аккумулирования сигналов); исследовать и в реальном масштабе времени обрабатывать спектры эхо-сигналов. В качестве исследуемых объектов могут выступать оптически плотные, прозрачные для лазерного излучения среды (кристаллы, полимерные пленки, покрытия, стекла, оптические волокна, различные биологические системы, жидкости, газообразные среды и плазма). Проект может быть реализован в срок 6-7 лет с учетом следующих этапов: разработка коммерческих образцов некогерентных источников излучения, оптимизация методики и экспериментальной техники некогерентного фотонного эха (с постепенным отказом от криогенных жидкостей для охлаждения активных элементов) с последующим созданием коммерциализуемого компактного эхо-спектрометра работающего в некогерентном режиме при комнатной температуре. Помимо этого предполагается развитие теоретического подхода к описанию явления, с опубликованием в открытой печати основных достигнутых в теории результатов и патентованием реализованных практических приложений по тематике проекта. При реализации конечного продукта в рамках данного проекта можно достичь существенного экономического эффекта в масштабах национальной экономики, за счет внедрения различных модификаций указанной системы диагностики сразу в нескольких областях науки и техники. Можно будет заменить громоздкие комплексы экспериментальной и измерительной аппаратуры на компактные спектрометры.

5. Заключение

В данной работе предложен перспективный, экономически выгодный, не имеющий аналогов проект реализации системы лазерной дистанционной диагностики на основе явления некогерентного фотонного эха. В качестве прототипа разрабатываемой системы, предложена конкретная схема эхо-спектрометра, работающего в некогерентном режиме. Обоснована экономическая эффективность, указаны предположительные сроки исполнения и основные этапы создания коммерческого образца конечного продукта проекта.

Работа поддержана ФСРМФП в НТС, программой У.М.Н.И.К. Государственный контракт №5346 р/7763 от 16 августа 2007 г

Литература

[1] Межерис Р. *Лазерное дистанционное зондирование* М: Мир (1987).
[2] Зуев В.Е. Зуев В.В. *Дистанционное оптическое зондирование атмосферы*, СПб.: Гидрометеоиздат (1992).
[3] Калачев А.А. Самарцев В.В. *Фотонное эхо и его применение*, Казань: КГУ (1998).
[4] Ахмедиев Н.Н. Зуйков В.А. и др. *Письма в ЖЭТФ* **45** (1987) 122.
[5] Попов И.И. Самарцев В.В. *Оптика атмосферы и океана*, **14** (2001) 455.

[6] Каримуллин К.Р. Зуйков В.А. Христофорова Д.А. Самарцев В.В. *Ученые записки Казанского университета. Серия физ.-мат. науки*, **149** (2007) 64.
[7] Beach R. Hartmann S.R. *Phys. Rev. Lett.* **53** (1984) 663.
[8] Samartsev V.V. Shegeda A.M. Shkalikov A.V. Karimullin K.R. Mitrofanova T.G. and Zuikov V.A. *Laser Phys. Lett.* **4** (2007) 534.
[9] Karimullin K.R. *Proceedings of SPIE*, **6181** (2006) 61810I-1.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ НОВООБРАЗОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ ТЕПЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Л.Г. Корнилова, А.Н. Леухин

Марийский государственный технический университет 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина 3
Тел. (8362) 455412

1. Актуальность. Преимущество метода термографии перед другими методами диагностики заключается прежде всего в том, что термографическая аппаратура не оказывает никакого воздействия на организм, она лишь воспринимает инфракрасное излучение с поверхности тела человека и преобразует его в видеоизображение (термографическое изображение), к тому же этот метод позволяет выявить патологические процессы не только в момент их манифестации, но и в случае их скрытого течения. Программное обеспечение современных тепловизоров не имеет возможности качественной оценки некоторых параметров исследуемых областей: таких как площадь, длина и кривизна. Определить эти и другие параметры возможно в том случае, если границы исследуемой области определены. Таким образом, для качественной оценки параметров злокачественных опухолей необходимо разработать метод выделения границ.

2. Алгоритм выделения границ опухолей на теплограмме. На первом этапе выделения границы, происходит сегментация (квантование) уровней яркостей изображения. Она проводится с целью разбиения сцены на части со сходными свойствами, например, на области с близкими значениями яркости. В сценах, характерной особенностью которых является сложный статистический характер яркости пикселов, сегментация проводится для разбиения сцены на статистически однородные части. Различным подходам к сегментации изображений посвящены обстоятельные обзоры [1].

Рассматриваемые теплограммы являются многоградационными. Цветовая модель изображения — RGB. Составляющими этой модели являются: красный (RED), зелёный (GREEN) и синий (BLUE) компоненты, каждый отдельный компонент является полутоновым. Для последующей обработки нам необходимо сегментировать полутоновый компонент для получения бинарного компонента. Рассмотрим глобально-оптимальную процедуру формирования порогового уровня для получения бинарной сцены. Будем рассматривать сцену F со статистически однородным фоном, характеризующимся гистограммой яркости $f_{\phi}(J)$. Примем для простоты, что яркости изображений различных объектов в ней близки между собой и характеризуются компактной гистограммой яркости $f_C(J)$ (рис. 1). При этих условиях для получения сцены $F_{б,0}$ можно сформиро-

вать одно значение $I_{глоб}$ порогового уровня ограничения сцены F по яркости. Этот уровень назовем глобально- оптимальным порогом $I_{глоб.опт}$.

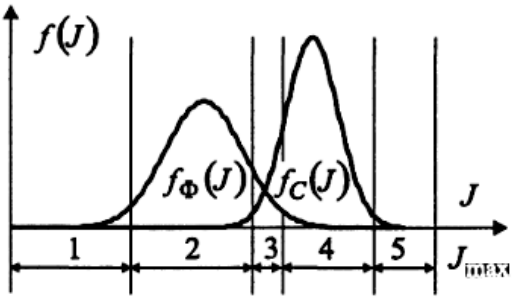


Рис. 1. Разбиение диапазона яркостей сцены на области

Весь диапазон яркостей сцены F, от 0 до I_{max}, условно разделим на пять областей. Если $I_{глоб}$ находится в первой области, то точки бинарной сцены будут, в основном, единичными, а если в пятой — то нулевыми. Вторая область характеризуется практическим отсутствием точек изображения, а четвертая — точек фона. Но в четвертой области потеряно много точек, составляющих изображение объекта.

Таким образом, нахождение величины $I_{глоб}$ во второй и четвертой областях приводит к недопустимо большим искажениям формы объекта и в этих областях диапазона яркостей также нецелесообразно выбирать порог. Как отмечается в целом ряде работ, например, в [1], единственной областью существования такого порога является третья. Сдвиг в этой области величины $I_{глоб}$ вправо приводит к тому, что линия контура будет преимущественно проходить по внутренним точкам изображения, а сдвиг влево дает противоположный эффект: линия контура проходит вблизи границы, но включает большое количество фоновых точек.

В соответствии с гистограммами распределения уровней яркости фона и изображения глобально – оптимальный порог можно определить из соотношения:

$$I_{глоб.опт} = R_{01}P(\mathbf{N} = \mathbf{Z})/R_{10}P(\mathbf{N} = \mathbf{\Gamma} + \mathbf{Z})$$

$I_{глоб.опт}$ — пороговое значение;

R_{01} и R_{10} — соответственно риски, связанные с ложной тревогой и пропуском;

$P(\mathbf{N} = \mathbf{Z})$ и $P(\mathbf{N} = \mathbf{\Gamma} + \mathbf{Z})$ априорные вероятности отсутствия и наличия сигнального контура $\mathbf{\Gamma}$ в контуре $\mathbf{N}$.

Для устранения высокочастотного шума полученное изображение фильтруется медианным фильтром, который в отличие от других линейных фильтров не приводит к размыванию границ. При сглаживании яркость рассматриваемого пикселя заменять не средним, а медианным значением яркости элементов выбранного окна, т.е. все элементы упорядочиваются в соответствии с уровнями их яркости в неубывающую последовательность. Последним этапом в предобработке будет являться обнаружение границы. Для этого оператор, по теплограмме, определяет область, границы которой необходимо выделить и задаёт её с помощью кода цвета, которым она обозначена. Процедура обнаружения сначала выделяет все области, код цвета которых мы задали, а далее, с помощью метода четырёхсвязных звеньев обнаруживает границы этих областей. Вторым, завершающим этапом в выделение границы опухоли, является непосредственное прослеживание границы контура и представление его в коде Фримана. Для удобства определения параметров найденного контура, необходимо перевести контур из кода Фримана в суммарный комплекснозначный код [2].

3. Прослеживание контура изображения алгоритмом Розенфельда. В настоящее время существует много методов выделения границ, однако в качестве базового алгоритма прослеживания линии контура, при котором последовательно, без разрывов выделяются контурные точки изображения, и формируется код контура, является алгоритм Розенфельда [3]. По сравнению с другими алгоритмами (например, алгоритм «жука») он не приводит к зацикливанию при любых конфигурациях контура и допускает простую реализацию. По данному алгоритму на n-м шаге прослеживания формируется строб C_n размером 3×3 элемента (рис. 2, а).

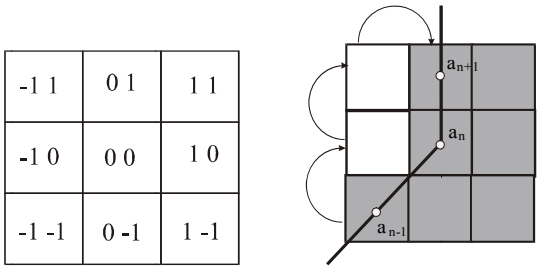
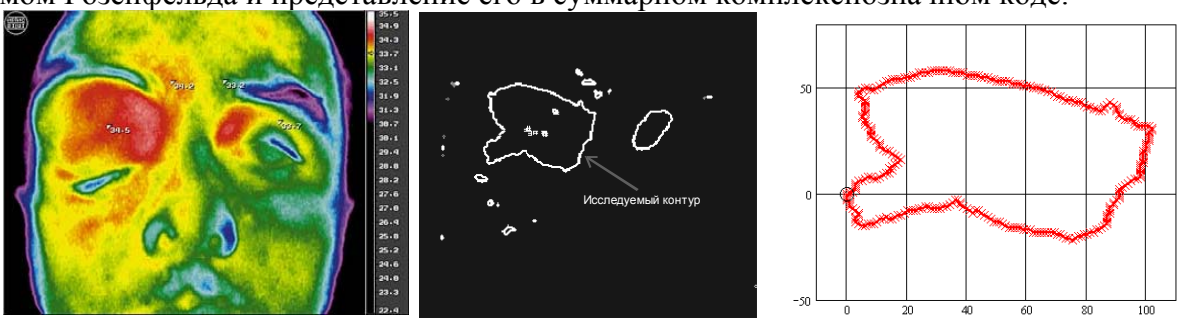


Рис. 2. Форма строба (а) и последовательность выделения контурных точек (б)

Его центр совмещается с текущей точкой a_n контура (рис. 2, *б*). Благодаря непрерывности линии контура предыдущая, текущая и последующая точки контура всегда находится в пределах этого строба, т.е. $\{a_{n-1}, a_n, a_{n+1}\} \in C_n$. Поиск последующей точки a_{n-1} состоит в осмотре по часовой стрелке ячеек строба C_n начиная от предыдущей точки a_{n-1}. Первая заполненная ячейка считается содержащей точку a_{n-1}. Если проанализировать положение стробов C_{n-1} и C_n (рис. 2, б), то оказывается, что первая точка строба C_n, взятая в направлении часовой стрелки от точки a_{n-1}, всегда будет принадлежать фону. Следующая за ней вторая точка строба C_n тоже всегда будет относится к фону, но при условии, что предыдущий вектор не был диагональным. На рис. 3 представлены результаты моделирования разработанной методики выделения границ вторичной злокачественной опухоли правой орбиты из соответствующей лобной пазухи, где а— исходное теплографическое изображение; б— обнаружение границ методом четырёхсвязных звеньев; в— прослеживание контура изображения алгоритмом Розенфельда и представление его в суммарном комплекснозначном коде.



а— исходное теплографическое изображение

б — обнаружение границ методом четырёхсвязных звеньев

в — прослеживание контура изображения алгоритмом Розенфельда и представление его в суммарном комплекснозначном коде

Рис. 3. Выделение границ злокачественных новообразований

4. Заключение. Из существующих в настоящее время алгоритмов выделения границ злокачественных новообразований, разработанная методика в отличие от других методов основана на теории контурного анализа. Она обладает преимуществом перед другими методиками: выделенный контур представлен в комплекснозначном коде, что позволяет задачу обработки изображений свести к задачам обработки сигналов.

Литература

[1] Бакут П.А. Колмогоров Г.С. *Зарубежная радиоэлектроника*, **№10** (1987).
[2] Фурман Я.А. Кревецкий А.В. Передреев А.К. Роженцов А.А. Хафизов Р.Г. Егошина И.Л. Леухин А.Н.. / Под ред. Фурмана Я.А. *Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов,* Физматлит, Москва (2002).
[3] Розенфельд А. *Распознавание и обработка изображений*, Мир, Москва (1972).

МЕТОД СКРЫТОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ, ОБЛАДАЮЩИЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ШУМАМ

О.И. Москаленко, А.А. Короновский, П.В. Попов, А.Е. Храмов

ФГОУ ВПО Саратовский государственный университет, факультет нелинейных процессов (410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83)
e-mail: moskalenko@nonlin.sgu.ru

1. Актуальность. Использование хаотической синхронизации для скрытой передачи информации является актуальной задачей нелинейной динамики. В настоящее время известно большое число способов секретной передачи данных. Значительная часть из них основана на явлении полной хаотической синхронизации хаотических генераторов на передающей и принимающей сторонах (см. например, [1, 2]). Принципиальным недостатком таких схем является требование высокой степени идентичности хаотических генераторов на разных сторонах канала связи, а также низкая устойчивость к шумам и флуктуациям в канале связи. Избавиться от недостатков, упомянутых выше, может позволить использование других типов синхронного поведения вместо полной хаотической синхронизации. В настоящее время уже существуют попытки применения обобщенной синхронизации для этих целей (например, [3-4]). Такие схемы позволяют несколько повысить устойчивость к шумам в канале связи, однако не решают проблему идентичности генераторов на обеих сторонах канала связи. В некоторых случаях использование других типов хаотической синхронизации создает дополнительные проблемы. Например, в схемах, предложенных в работе [4], появляется дополнительный канал связи, а иногда и дополнительные генераторы.

В настоящей работе мы предлагаем принципиально новый способ скрытой передачи информации. Он также основан на явлении обобщенной хаотической синхронизации, однако позволяет избавиться от всех вышеупомянутых недостатков. Более того, он обладает значительной устойчивостью по отношению к шумам и флуктуациям в канале связи.

2. Предлагаемое техническое решение. Схема скрытой передачи информации при помощи обобщенной хаотической синхронизации приведена на рис. 1. Способ скрытой

передачи информации заключается в следующем. Информационный сигнал $m(t)$ кодируется в виде бинарного кода. Один или несколько управляющих параметров передающего генератора модулируются бинарным сигналом. Полученный таким образом сигнал передается по каналу связи. Здесь он подвергается влиянию шумов и флуктуаций, искажающих передаваемый сигнал. Приемник находится на другой стороне канала связи. Он представляет собой два идентичных генератора, способных находиться в режиме обобщенной синхронизации с передающим. Следует отметить, что наличие идентичных генераторов на одной стороне канала связи позволяет легко осуществить их юстировку. Принцип работы приемника основан на диагностике режима обобщенной синхронизации при помощи метода вспомогательной системы. Сигнал с канала связи поступает на генераторы приемника. Полученные на выходе сигналы проходят через вычитающее устройство, и детектируется восстановленный полезный сигнал $\tilde{m}(t)$.

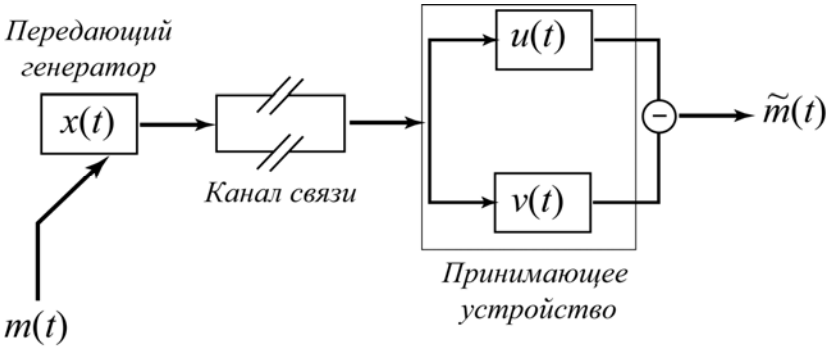


Рис. 1. Схема для секретной передачи информации при помощи обобщенной хаотической синхронизации

Параметры модуляции управляющих параметров передающего генератора должны быть выбраны таким образом, чтобы в зависимости от передаваемого бинарного бита 0/1 между передающим и принимающим генераторами существовал или отсутствовал режим обобщенной синхронизации. Например, допустим, что режим обобщенной синхронизации наблюдается в том случае, если передается бинарный бит 0. Тогда оба принимающих генератора в этом случае будут демонстрировать идентичные колебания, а после прохождения через вычитающее устройство будет наблюдаться отсутствие хаотических колебаний, т.е. бинарный бит 0. Наоборот, при передаче бинарного бита 1 обобщенная синхронизация не наблюдается, а колебания принимающих генераторов являются неидентичными. Тогда после прохождения через вычитающее устройство будут наблюдаться хаотические колебания ненулевой амплитуды, то есть бинарный бит 1.

3. Численная реализация способа скрытой передачи информации. Проверим эффективность предложенного способа секретной передачи данных путем численного моделирования. В качестве передающего и принимающего генераторов выберем однонаправлено связанные системы Рёсслера [5-6].

Передающий генератор описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -\omega_x x_2 - x_3, \\ \dot{x}_2 &= \omega_x x_1 + a x_2, \\ \dot{x}_3 &= p + x_3(x_1 - c), \end{aligned} \qquad (1)$$

где $\vec{x}(t) = (x_1, x_2, x_3)$ – вектор состояния передающего генератора, $a = 0.15$, $p = 0.2$ и $c = 10$ – управляющие параметры, ω_x – управляющий параметр, характеризующий собственную частоту колебаний системы.

Величина параметра ω_x модулируется полезным цифровым сигналом следующим образом. Если в заданный интервал времени передается бинарный бит 1, тогда ω_x=0.95 на протяжении всего этого интервала. При передаче бинарного бита 0 ω_x=1. Выбор таких значений управляющего параметра ω_x связан исключительно с демонстративными целями и обусловлен характером расположения границы обобщенной синхронизации [5].

Принимающее устройство содержит два идентичных хаотических генератора, каждый из которых описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{u}_1 &= -\omega_u u_2 - u_3 + \varepsilon(s(t) - u_1), \\ \dot{u}_2 &= \omega_u u_1 + a u_2, \\ \dot{u}_3 &= p + u_3(u_1 - c), \end{aligned} \qquad (2)$$

Здесь $\vec{u}(t) = (u_1, u_2, u_3)$ – вектор состояния первого принимающего генератора. Пусть $\vec{v}(t) = (v_1, v_2, v_3)$, также удовлетворяющий (2), будет вектором состояния второго принимающего генератора (рис. 1). Управляющие параметры a, p и c выберем идентичными последним для принимающего генератора. Управляющий параметр ω_u, характеризующий собственную частоту принимающих генераторов, выберем равным ω_u=0.95 на протяжении всего времени передачи сигнала.

Сигнал, генерируемый передающим устройством, передается по каналу связи. В нашей модели это реализуется путем связи принимающего генератора с передающим, т.е. добавлением компоненты $\varepsilon(s(t) - u_1)$ в первое уравнение системы (2). Здесь $s(t) = x_1 + D\xi$ – это так называемый сигнал в канале связи. Слагаемое $D\xi$ моделирует шумы и флуктуации в канале связи. ξ – стохастический гауссовский процесс, характеризующийся следующим распределением вероятности:

$$p(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(\xi - \xi_0)^2}{2\sigma^2} \right), \qquad (3)$$

где $\xi_0 = 0$ и $\sigma = 1$ – среднее и дисперсия. Параметр D определяет интенсивность добавляемого шума.

Сила связи между передающим и принимающим генераторами характеризуется параметром ε. Выберем $\varepsilon = 0.14$. В этом случае в отсутствие шумов и флуктуаций в канале связи ($D = 0$) режим обобщенной синхронизации в системе (1)-(2) имеет место при $\omega_x = 1$, в то время как для $\omega_x = 0.95$ обобщенная синхронизация не наблюдается (более подробно см. [5]).

Вычитающее устройство выполняет операцию $(u_1 - v_1)^2$. Тогда после прохождения через него, согласно методу вспомогательной системы, должно наблюдаться отсутствие колебаний для $\omega_x = 1$ и наличие хаотических колебаний для $\omega_x = 0.95$. Восстановленный сигнал $\tilde{m}(t)$ будет представлять собой последовательность областей с различными типами поведения.

В демонстративных целях в качестве информационного сигнала $m(t)$ выберем простую последовательность бинарных битов 0/1, представленную на рис. 2 (пунктирная линия). Для интегрирования стохастического уравнения (2) будем использовать метод Эйлера с шагом дискретизации по времени $h = 0.0001$.

Рассмотрим сначала случай, когда шумы и флуктуации в канале связи отсутствуют, т.е. положим амплитуду шума $D = 0$. Понятно, что такой случай является нереали-

зуемым на практике, так как шумы и флуктуации всегда присутствуют в реальных устройствах. Тем не менее, рассмотрим сначала идеализированную ситуацию, чтобы проверить эффективность предлагаемого метода. Восстановленный сигнал $\tilde{m}(t)$ в этом случае приведен на рис. 2,*а* (сплошная линия). Нетрудно видеть, что полезный сигнал в этом случае может быть легко детектирован.

Следует отметить, что изменение управляющего параметра ω_x не меняет сильно характеристики передаваемого сигнала. Такой сигнал представлен на рис. 2,*б*. Понятно, что даже в отсутствие шумов и флуктуаций в канале связи третья сторона не имеет возможности декодировать информационное сообщение. Добавление шумов в канал связи еще более искажает передаваемый сигнал. Однако, восстановленные сигналы $\tilde{m}(t)$ при различных значениях амплитуды шума вплоть до $D = 400$[4] выглядят качественно одинаково, также как и в случае отсутствия шумов и флуктуаций (рис. 2,*а*, сплошная линия). В этом случае можно говорить о значительной устойчивости предлагаемой схемы к шумам и флуктуациям в канале связи. Еще более искажая передаваемый сигнал, шум препятствует третьей стороне декодировать информационное сообщение, что свидетельствует о том, что роль шума в данном случае является конструктивной.

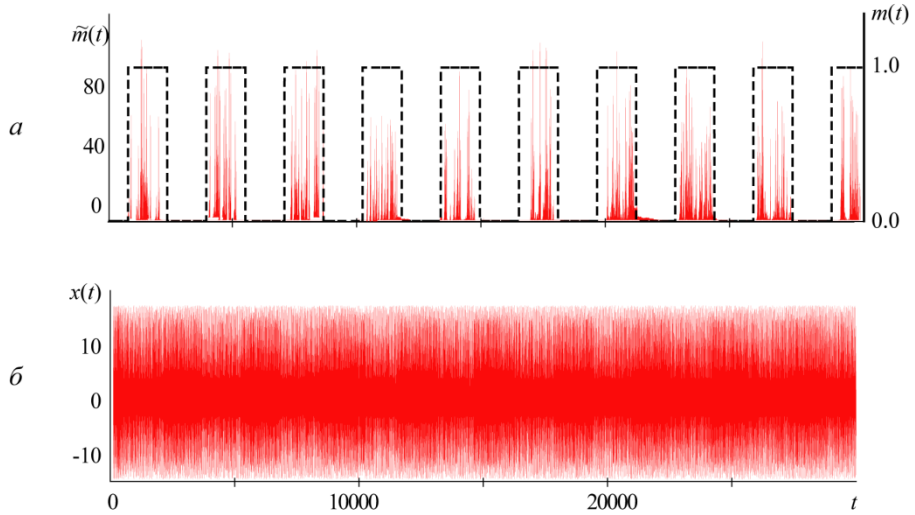


Рис. 2. Численная реализация способа секретной передачи информации в отсутствие шумов и флуктуаций в канале связи ($D = 0$): (*а*) информационный сигнал $m(t)$ (пунктирная линия) и восстановленный сигнал $\tilde{m}(t)$, (*б*) сигнал $x(t)$, передаваемый по каналу связи

4. Заключение. В настоящей работе предложен новый способ скрытой передачи информации при помощи обобщенной хаотической синхронизации, обладающий рядом принципиальных преимуществ по сравнению с известными ранее. Во-первых, он не требует наличия идентичных хаотических генераторов на различных сторонах канала связи, а следовательно, является легко реализуемым на практике. Во-вторых, он обладает колоссальной устойчивостью по отношению к шумам и флуктуациям в канале связи. В данном случае можно говорить о конструктивной роли шума для передачи информации. В-третьих, за счет наличия шумов в канале связи передаваемый сигнал дополнительно искажается, что не дает никакой возможности третьей стороне декодировать информационное сообщение.

[4] В этом случае отношение сигнал/шум составляет SNR = – 34.6 дБ

Работа поддержана ФСРМФП в НТС, программой У.М.Н.И.К. Государственный контракт №5346 р/7763 от 16 августа 2007 г.

Литература

[1] M.K. Cuomo, A.V. Oppenheim, S.H. Strogatz, *IEEE Trans. Circ. and Syst.* **40** (1993) 626
[2] T. Yang, *International Jornal of Computational Cognition* **2** (2004) 81
[3] K. Murali, M. Lakshmanan, *Phys. Lett. A* **241** (1998) 303
[4] J. Terry, G. VanWiggeren, *Chaos, Solitons and Fractals* **12** (2001) 145
[5] A.E. Hramov, A.A. Koronovskii, O.I. Moskalenko, *Europhysics Letters* **72** (2005) 901
[6] R. Rico-Martinez, K.E. Kreischer, G. Flatgen, J.S. Anderson, I.G. Kevrekidis, *Physica D.* **176** (2003) 1

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ЭХО КАК МЕТОД РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА

В.Т. Нигматуллина[1], И.И. Попов[1], В.А. Козлов[2]

[1]ГОУ ВПО «Марийский государственный университет», 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1
[2]ГОУ ВПО Чувашский государственный педагогический университет ул. К. Маркса, 38, г. Чебоксары, 428000, Россия E-mail: pooh12@yandex.ru

1. Актуальность. Из литературных данных известно, что самое раннее изменение, вызываемое онкологическим процессом, это увеличение в крови количества свободной воды, что выявляется уже на стадии восьми опухолевых клеток [1]. Однако ЯМР-спектроскопы являются дорогостоящим высокотехнологичным оборудованием широкого назначения. Создание более простого по реализации и более удобного при эксплуатации метода исследования соотношения связанной и кристаллической будет востребовано потребительским рынком. Поэтому научные исследования свойств и возможностей нового физического явления в зависимости от состава и характеристик водного раствора актуальны как с точки зрения получения фундаментальных и прикладных научных знаний, так и с точки зрения создания конкурентоспособного на потребительском рынке продукта. Развитие этих методов для получения оригинальной информации о составе и состоянии крови человека приведет к получению результатов, не имеющих аналогов в мире, получению нового метода ранней диагностики онкологических заболеваний и созданию конкурентоспособного оборудования для реализации этих целей. Этим исследованиям будут посвящены два года работы по проекту программы «УМНИК». Последующие этапы продвижения предлагаемой идеи на рынок будут выполняться при финансовой поддержке программы «Старт» и инвестора инновационного проекта в течение 3-4 лет. Авторские права членов команды будут защищены патентами на изобретение РФ и «НОУ-ХАУ», полученном при реализации нового метода в медицине. Простой миниатюрный прибор с интерфейсом, легко встраиваемый в любой диагностический комплекс имеет большой рынок в России и за рубежом.

2. Принцип нового способа измерения. Научная идея основана на исследовании свойств диэлектрического эха в водном растворе хлорида натрия, позволяющих определить соотношение связанной и кристаллической воды, на основе которого может

быть создан инновационный продукт: метод диагностики ранних стадий онкологических заболеваний человека, представляющий большой интерес для потребительского рынка медицинских услуг. В основе исследования лежит научный задел по экспериментальной регистрации явления диэлектрического эха в водном растворе хлорида натрия [2] и построению модели процессов формирования диэлектрического эха. Обязательным условием является наличие гидратированных ионов в ненасыщенном водном растворе. На условие формирования диэлектрического эха влияет соотношение связанной и кристаллической воды в растворе хлорида натрия. Подробное описание методики и физики данного процесса описано в статье «Диэлектрическое эхо и модель его формирования в водном 0,86% растворе NaCl», публикуемой в настоящем сборнике.

Работа поддержана ФСРМФП в НТС, программой У.М.Н.И.К. Государственный контракт №5346 р/7763 от 16 августа 2007 г.

Литература

[1] Иванов В. А. *Внутривидение (ЯМР-томография)*, ЛДНТП (1989)
[2] Попов И.И. Гладышев А.М. Николаев В.А. *Изв. РАН, сер. физ*. Т.71. № 4 (2007) 524.

ГИБРИДНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В.Н. Сергеев, А.В. Егоров

ГОУ ВПО Марийский государственный технический университет
(424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3)
e-mail: Sls11@rambler.ru

1. Актуальность

Согласно пункту VI «Научно-техническое и кадровое обеспечение автомобильной промышленности» концепции развития Автомобильной промышленности России до 2010, одобренной распоряжением Правительства Российской Федерации №978-Р от 16 июля 2002 года приоритетными направлениями развития проведения научных исследований на среднесрочную перспективу является создание комбинированных энергетических установок.

Под комбинированной энергетической установкой обычно понимается совместное использование двигателя внутреннего сгорания, электрических машин (электродвигатель и электрогенератор) и аккумуляторов электрической энергии. Исследование в области создания комбинированных энергетических установок активно ведутся в основном ведущими мировыми автомобилестроительными корпорациями. Бесспорным лидером здесь является корпорация Тойота и ее подразделение автомобилей VIP-класса Лексус. Начиная с 1997 года компания Тойота продала уже более 1 млн. шт. легковых автомобилей, оснащенных комбинированными энергетическими установками [1].

На сегодняшний день исследования в области создания комбинированных энергетических установок ведутся практически всеми автомобилестроительными корпорациями [2]. Существует и отечественный опыт создания комбинированных энергетических установок на базе автомобилей ИЖ-21261 «Ода» [3].

Проведенные испытания и опыт эксплуатации автомобилей, оснащенных гибридными силовыми установками, показывает, что такие автомобили обладают сниженным расходом топлива приблизительно на 30% по сравнению с автомобилями, оснащенными тепловыми двигателями, такой же мощности. Наиболее применимый на сегодня вариант гибридных силовых установок (ГСУ) представлен на рис. 1.

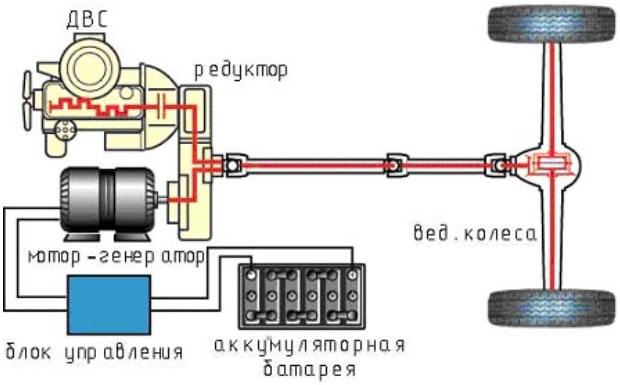


Рис. 1. Последовательная схема ГСУ

Последовательная ГСУ предполагает работу ДВС в паре с генератором; тягу обеспечивает электродвигатель, который может питаться от аккумуляторной батареи и (или) генератора. Фактически это – давно известная электрическая трансмиссия, широко применяющаяся на тепловозах и карьерных самосвалах, но дополненная аккумулятором и системой электронного управления. Хорошо известен главный недостаток этой схемы. Если устройство имеет размеры, приемлемые для дорожного транспорта, потери энергии при передаче ее к колесам окажутся слишком велики. А выигрыш в экологичности и расходе топлива, получаемый при одних режимах, с лихвой покрывается потерями при других (рис. 1).

В настоящее время ГСУ находят применение в основном на легковых автомобилях и внедорожниках. Применение ГСУ на грузовых автомобилях значительно затруднено в виду необходимости создания аккумуляторов электрической энергии высокой емкости и высокой мощности.

Только компания Вольво опубликовала информацию о том, что ведет работы по созданию ГСУ для грузовых автомобилей. Выход их продукции на рынок намечен на 2009 год, при этом цена грузовиков, оснащенных гибридными силовыми установками значительно (до 50%) превысит стоимость аналога, оснащенного тепловым двигателем.

Все существующие на сегодняшний день и проектируемые ГСУ объединяет 2 два недостатка – это наличие электрических машин (двигатель и генератор или машина постоянного тока) и наличие аккумуляторов электрической энергии.

Два этих недостатка значительно ухудшают массогабаритные показатели ГСУ, требуют систематических затрат на проведение технического обслуживания и ремонта, в послеэксплуатационный период требуют утилизации. С нашей точки зрения такая реализация конструкции ГСУ и ее жизненного цикла является нерациональной и экологически небезопасной.

2. Предлагаемое техническое решение

На наш взгляд необходимо отказаться от использования электрических машин и, соответственно, электрических аккумуляторов в ГСУ. Предлагаемое техническое решение базируется на концептуальной основе, заключающейся в том, что функции теплового двигателя и рекуператора должны быть реализованы в одной тепловой машине, а функция аккумулятора должна быть возложена на пневматический аккумулятор. Такая тепловая машина может быть создана на базе традиционного атмосферного двигателя внутреннего сгорания путем замены постоянного жесткого привода органов газораспределения на электромагнитный привод и некоторой модернизации. Как показывают публикации в иностранных научных журналах [4] на настоящий момент рядом

немецких автомобильных концернов ведется подготовка к выпуску тепловых двигателей, оснащенных электромагнитным приводом газораспределительных клапанов.

Суть предлагаемого технического решения ГСУ поясняет рис. 2. Работает предлагаемая гибридная энергетическая установка транспортного средства следующим образом.

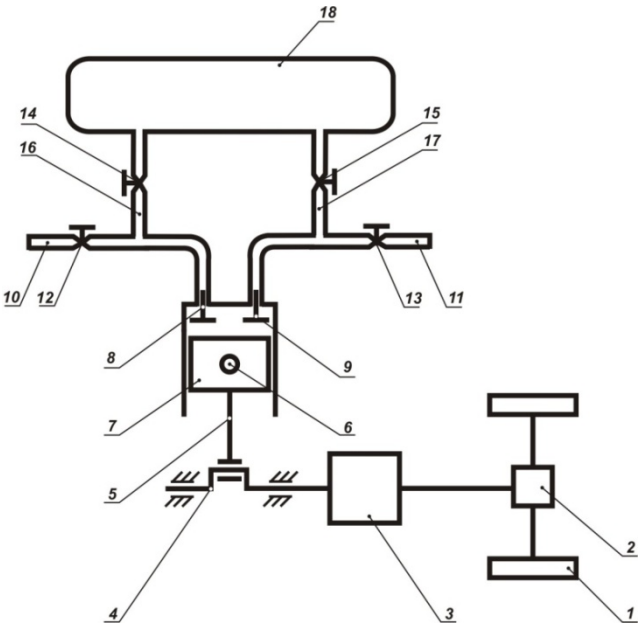


Рис. 2. Гибридная энергетическая установка транспортного средства:
1 – ведущие колеса, 2 – ведущий мост, 3 – бесступенчатую коробку передач, 4 – коленчатый вал, 5 – шатун, 6 – поршневой палец, 7 – поршень, 8 и 9 – впускной и выпускной клапаны, 10 и 11 – впускной и выпускной канал, 12 и 13 – клапан впускного канала и клапан выпускного канала, 14 и 15 – клапан выпускного канала резервуара и клапан впускного канала резервуара, 16 и 17 – выпускной канал резервуара и впускной канал резервуара, 18 – резервуар.

Рабочий режим: клапан впускного канала 12 и клапан выпускного канала 13 открыты, клапан выпускного канала резервуара 14 закрыт, клапан впускного канала резервуара 15 закрыт. Вращение коленчатого вала 4 передается на агрегаты трансмиссии 3, ведущий мост 2 и ведущие колеса 1. Воздух по впускному каналу 10 через клапан впускного канала 12 и впускной клапан 8 подается в надпоршневое пространство, где при движении поршня 7 от верхней мертвой точки (ВМТ) к нижней мертвой точке (НМТ) впускной клапан 8 открыт, а выпускной клапан 9 закрыт и осуществляется всасывание воздуха или топливовоздушной смеси. При движении поршня 7 от НМТ к ВМТ впускной клапан 8 закрывается и осуществляется сжатие с окончательным смесеобразованием, при нахождении поршня 7 вблизи ВМТ происходит воспламенение рабочей смеси, при движении поршня 7 от ВМТ к НМТ происходит расширение продуктов сгорания топлива, при движении поршня 7 от НМТ к ВМТ открывается выпускной клапан 9 и продукты сгорания удаляются в атмосферу через выпускной канал 11 и клапан выпускного канала 13. При возвратно-поступательных движениях поршня 7 на агрегаты трансмиссии 3 через поршневой палец 6, шатун 5, коленчатый вал 4 передается крутящий момент. После того, как с помощью агрегатов трансмиссии 3 коленчатый вал 4 связывается механически с ведущим мостом 2 энергетическая установка вырабатывает механическую энергию, которая передается на ведущие колеса.

Режим торможения: клапан впускного канала 12 открыт, клапан выпускного канала 13 закрыт, клапан выпускного канала резервуара 14 и клапан впускного канала резервуара 15 закрыты, крутящий момент с ведущих колес 1 через ведущий мост 2, агрегаты трансмиссии 3 подводится к коленчатому валу 4 и посредством шатуна 5, поршневого пальца 6 передается поршню 7, который осуществляет сжатие воздуха, поступающего в надпоршневое пространство. При движении поршня от ВМТ к НМТ клапан впускного канала 12 открыт, впускной клапан 8 открыт и воздух по впускному каналу 10 поступает в надпоршневое пространство. Когда поршень находится вблизи НМТ клапан впускного канала 12 и впускной клапан 8 закрываются, поршень 7 прохо-

дит некоторое расстояние по направлению к ВМТ и открываются выпускной клапан 9 и клапан впускного канала резервуара 15 и происходит выталкивание сжатого воздуха в резервуар 18 через впускной канал резервуара 17. После того, как поршень 7 достигает ВМТ выпускной клапан 9 и клапан впускного канала резервуара 15 закрываются. Далее процессы всасывания, сжатия и выталкивания повторяются до тех пор, пока транспортное средство полностью не остановится.

Режим ускорения с использованием энергии сжатого воздуха: после того, как с помощью агрегатов трансмиссии 3 коленчатый вал 4 связывается механически с ведущим мостом 2 клапан впускного канала 12 закрывается, а клапан выпускного канала 13 открывается. Затем воздух из резервуара 18 через выпускной канал резервуара16, клапан выпускного канала резервуара 14 и впускной клапан 8 попадают в надпоршневое пространство при движении поршня от ВМТ к НМТ. При нахождении поршня 7 в районе НМТ клапан выпускного канала 14 и впускной клапан 8 закрывается. При движении поршня от НМТ к ВМТ осуществляется окончательное смесеобразование. Когда поршень 7 находится в районе ВМТ происходит воспламенение смеси, затем поршень 7 движется к НМТ. Когда поршень 7 достигает НМТ открывается выпускной клапан 9 и продукты сгорания топлива удаляются из надпоршневого пространства через выпускной канал 11 в атмосферу. Далее процессы наполнения надпоршневого пространства, сжатия, сгорания, расширения и выпуска повторяются до тех пор, пока давление в резервуаре 18 превышает атмосферное. После того, как давление в резервуаре 18 упало ниже атмосферного клапан выпускного канала резервуара 14 закрывается, а клапан впускного канала 12 открывается и энергетическая установка работает по рабочему режиму. Режим ускорения может быть осуществлен и непосредственно за счет расширения воздуха в надпоршневом пространстве в случае значительного ограничения выбросов продуктов сгорания топлива в районе эксплуатации автотранспортного средства.

Установка обладает скрытым резервом совершенствования, заключающемся в том, что выпускной канал может быть снабжен развитой теплообменной поверхностью, которая может быть размещена в резервуаре для частичной рекуперации, например во время остановки на светофоре, тепловой энергии, уносимой отработавшими газами.

Результаты проведенного математического моделирования показывают, что при движении автопоезда на базе автомобиля КамАЗ-5460 общим весом 40000 кг, снабженного предлагаемой ГСУ, со скоростью до 60 км/ч за счет применения бесступенчатой трансмиссии в резервуар объемом 0,5 м^3 может быть рекуперировано до 100% кинетической энергии движения (за минусом КПД механической передачи движения от ведущих колес к поршням).

Литература

[1] *www.toyota.com*
[2] *www.hybrid.com*
[3] Ионес С., Виноградов А. *За рулем* (2005)
[4] Schroeder C., *Ohne N. Ein neues elektromechanisches Ventiltriebssystem von Valeo*. Motortechnische Zeitschrift (2007)

ПОЗДРАВЛЯЕМ НИЛ РИЭС С 25-ЛЕТНИМ ЮБИЛЕЕМ

26 декабря 2007 года исполнилось 25 лет научно-исследовательской лаборатории резонансной информатики и эхо-спектроскопии (НИЛ РИЭС) Марийского государственного университета (МарГУ). На базе НИЛ РИЭС сформировалась ежегодная международная научная школа «Наука и инновации» и периодически действующий в течение года межвузовский междисциплинарный инновационно-ориентированный научный семинар «Клуб профессорской мысли». На базе НИЛ РИЭС выполняются научные гранты Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), научные проекты по Единому заказ-наряду Министерства образования и науки РФ, два государственный контракта с Фондом (федеральным) содействия развития малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд СРМФП в НТС), финансируемые через ООО «Орол».

Научный руководитель НИЛ РИЭС – д.ф.-м.н., профессор Иван Иванович Попов.

Наиболее важные результаты выполненных НИР

В области физики:

1. Впервые в мире выполненные эксперименты по:
- наблюдению явления фотонного эха в парах молекулярного йода и его применению для спектроскопического исследования паров молекулярного йода методами оптической эхо-спектроскопии;
- обнаружению эффекта нефарадеевского поворота вектора поляризации фотонного эха в молекулярном газе (название эффекта дано в НИЛ РИЭС);
- экспериментальному обнаружению эффекта ассоциативности фотонного эха;
- наблюдению явления фотонного эха в сверхзвуковых газовых струях и их спектроскопическому исследованию методами оптической эхо-спектроскопии;
- наблюдению в газе в видимой области спектра эффекта корреляции амплитудно-временных форм сигнала фотонного эха и одного из возбуждающих импульсов (эффект обращения времени);
- обнаружению в газе сигнала многократного фотонного эха, возбуждаемого продольными бегущими волнами, и исследованию возможности его применения для контроля параметров резонансной среды в квантовой памяти на фотонном эхо.

2. Разработка и экспериментальная демонстрация методик оптической спектроскопии по идентификации типа ветви, к которому относится возбуждаемая спектральная линия резонансного газа, на основе:
- эффекта нефарадеевского поворота вектора поляризации фотонного эха с получением спектроскопической информации за один акт формирования сигналов фотонного эха в продольном магнитном поле;
- сочетания поляризационных и амплитудно-временных свойств фотонного эха.

3. Разработка на основе фотонного эха и экспериментальная демонстрация методов:
- контроля напряженности приложенного к резонансной среде магнитного поля на основе сочетания поляризационных и амплитудно-временных свойств фотонного эха;
- оптической регистрации временного интервала между лазерными импульсами с величинами, лежащими в диапазоне от нескольких десятков фемтосекунд и выше.

4. Разработка физических принципов оптической обработки информации и построения:
- оптического эхо-процессора для оперирования с гиперкомплексными величинами;
- построения оптического эхо-процессора для решения задач повышенной сложности – NP-полных задач;

- совмещенного с оптической квантовой памятью гиперкомплексного оптического эхо-процессора.

5. Первое в мире обнаружение и теоретическое обоснование явления диэлектрического эха и результаты зависимости параметров эхо-сигнала от фаз суточного и лунного циклов.

В технике:

1. Защищенные патентом РФ:
- способ дистанционного контроля электрического тока в сверхвысоковольтных линиях электропередачи с помощью лазерного луча на основе фотонного эха;
- оптоэлектронный датчик электрического тока на основе фотонного эха;
- способ высокоточного быстродействующего измерения расстояния малых и средних дистанций на основе фотонного эха;
- дифференциальный фазовый светодальномер.

2. Метрологический комплекс для линейной юстировки ускорительных установок.

3. Весоизмерительная система для контроля количества молочного продукта, проходящего по технологическому тракту на молочном заводе.

4. Методы моделирования, управления и оптимизации работы светоизлучающей системы художественного освещения объекта для оптического театра.

В области биологии и медицины:

1. Метод ранней диагностики онкологических заболеваний человека на основе диэлектрического эха.

2. Термотерапевтический прибор для глубокого локального прогревания организма человека.

3. Рефлексо-диагностический комплекс для контроля энергетических меридианов человека и методика его применения.

В области сельского хозяйства

1. Способ ингибирования α-амилазы, заключающийся в подавлении активности α-амилазы ингибирующим комплексом, получаемым из отрубей злаковых растений, с целью уменьшения ферментативного разрушения крахмала и крахмалоподобных веществ в биологических и модельных объектах.

2. Способ увеличения показателя «число падения» муки и зерна, позволяющий получать высококачественную ржаную муку, пригодную для хлебопечения, из низкокачественного зерна, с помощью природного препарата, получаемого из продуктов зернового производства.

3. Способ повышения сроков сохранности молока и кумыса на основе их облучения акустическим полем со специфичной амплитудно-временной модуляцией его интенсивности.

В области спортивной педагогики

1. Разработка Физкультурно-спортивного комплекса РФ и апробация его на территории Республика Мордовия в 2004 г. при тестировании уровня физической подготовленности населения (в соавторстве с Госкомспортом РФ и МГУ им. М.В. Ломоносова).

2. Разработка и создание ряда приборов для спортивной педагогики:
- автоматизированного регистратора квазиустойчивого потенциала головного мозга человека и методика его применения в спортивно-тренировочном процессе;
- рефлексодиагностического комплекса для регистрации степени разбалансировки энергетических меридианов организма человека при реализации спортивно-тренировочного процесса;

- стенда автоматизированного контроля техники исполнения и регистрации результата выполнения упражнения по сгибанию/разгибанию рук в упоре лежа на полу.
3. Разработан программный продукт для компьютерной обработки результатов тестирования физической подготовленности населения.

В области литературы, культуры и искусства

1. Создание инструментария оптического театра.
2. Концепция разработки научно-теоретических основ индустрии языческого туризма, решающего задачи естественного, культурологического и медико-биологического образования, культурно-просветительские, физкультурно-оздоровительные, развлекательные задачи, проблему занятости населения и экономического развития Республики Марий Эл, опирающаяся на разделы областей знаний, связанных с физикой, биологией, биохимией, медициной, техникой, информатикой, языческой культурой и мифологий, а также с физкультурно-оздоровительной и культурно-развлекательной деятельностями.
3. Написание текста, положенного на музыку:
- гимна МарГУ к 30-летию;
- гимна Казанского государственного университета к 200-летию;
- гимна клинического госпиталя ветеранов войн;
- песни-гимна озера Яльчик (зоны отдыха марийских вузов);
- российского спортивного марша полиатлонистов.

В области экономики и инновационной деятельности

1. Методика беззатратного технологического аудита подразделений университета и система мотивации для научно-инновационной деятельности профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников вуза.
2. Система организации учебного процесса на разнопрофильных факультетах на основе совместной инновационной деятельности.
3. Форма организации деятельности субъектов инновационной деятельности по созданию в вузе научно-инновационных заделов без привлечения стороннего финансирования, представленная в виде Холдинговых временных творческих компаний (ХВТК).
4. Учебно-наглядное инновационное предприятие (УНИП) – как форма взаимодействия учебного процесса в вузе с высокотехнологичной предпринимательской деятельностью малого предприятия.

Научные публикации с участием научного руководителя НИЛ РИЭС

Список публикаций, начатый в 1984 г., составляет 175 наименований, в том числе:
- статьи в журналах, входящих в перечень ВАК РФ –30;
- статьи в зарубежных научных изданиях – 36;
- авторские свидетельства на изобретения СССР и патенты на изобретение РФ – 10.

Научные программы, гранты и хоздоговора, выполненные в НИЛ РИЭС

1. Хоздоговорные темы НИР:

- х/д № 2/82, наименование темы «Исследование вопросов измерения линейных размеров изделий оптическим методом», объем финансирования – 50 тыс. руб., сроки выполнения 1982-1984 годы, заказчик МПИ им. М. Горького (к.т.н., доцент Б.Ф. Лаврентьев);
2. х/д № 39/83, наименование темы «Разработка и исследование прибора для обработки сигналов и результатов измерения светодальномером ДВСД-1200», объем финансирования – 153 тыс. руб., сроки выполнения 1983-1985 годы; заказчик Московский радиотехнический институт АН СССР (к.т.н. В.П. Шатохин);

3. х/д №8/85, наименование темы «Исследование и разработка системы автоматизированных измерений, проводимых лазерными дальномерами, гидростатическими нивелирами, и датчиками плановых смещений», объем финансирования 500 тыс. руб., сроки выполнения 1985-1989 гг., заказчик Московский радиотехнический институт АН СССР (к.т.н. В.П. Шатохин), основание – Решение ВПК СССР;
4. х/д №14/89, наименование темы «Исследование возможности создания ассоциативной памяти на основе поляризационных свойств светового (фотонного) эха», объем финансирования 5 тыс. руб., сроки выполнения с 1.08.89 – 31.12.89, заказчик – Казанский физико-технический институт им. акад. Е.К. Завойского Казанского филиала АН СССР (В.В. Самарцев), основание – Решение ГК НТ СССР;
5. х/д № 38/90, наименование темы «Модернизация системы гидростатического нивелирования СГН-42», объем финансирования – 20 тыс. руб., срок выполнения 1990 г., заказчик – Московский радиотехнический институт АН СССР (к.т.н. В.П. Шатохин), основание – Решение ВПК СССР;
6. х/д № 42/90, наименование темы «Разработка и исследование весоизмерительной системы для контроля перерабатываемого продукта на разных этапах технологического процесса», объем финансирования 200 тыс. руб., срок выполнения 1990-1991 гг., заказчик Йошкар-Олинский молочный комбинат (В.Д. Лелеков).

Государственные научно-технические программы

1. Научно-техническая программа Гособразования СССР «Оптические процессоры», по теме: «Разработка физических принципов газового оптического эхо-процессора" 160 тыс. руб., сроки выполнения 1989-1991 гг., заказчик Московский инженерно-физический институт (В.Н. Неволин, научный руководитель программы Ю.А. Быковский), основание – приказ Гособразования СССР, № 691 от 25.08.89 г.
2. Научно-техническая программа «Оптическая когерентная спектроскопия», по теме: «Оптическая когерентная спектроскопия газовых сред на основе фотонного эха», 20 тыс. руб., 1990 г., заказчик – Казанский физико-технический институт им. акад. Е.К. Завойского Казанского филиала АН СССР (В.В. Самарцев), основание – Решение АН СССР.
3. Научно-техническая программа «Оптический процессор» во исполнение распоряжения Комитета высшей школы РФ от 15.02.93. № 834 по теме: «Физические принципы построения оптического газового процессора на фотонном эхо», объем финансирования в 1994 г. – 250 тыс. руб., в 1995 г. 60 млн. руб. (в ценах на 1.01.95 г.);
4. Научная программа «Университеты России – фундаментальные исследования»:
- проект 015.01.01.68 «Пространственно-временные и поляризационные свойства эха фотонного эха в постоянном продольном магнитном поле в парах молекулярного йода», сроки выполнения 2000-2001 гг., объем финансирования в 2000 г – 23 561 руб., 2001 г. – 41 700 руб;
- проект УР.01.01.048 «Пространственно-временные и поляризационные свойства стимулированного фотонного эха в постоянном продольном магнитном поле в парах молекулярного йода»; (2002-2003 гг.), объем финансирования в 2002 г. – 60 тыс. руб., в 2003 г. – 80 тыс. руб.

Гранты Российского фонда фундаментальных исследований

- № 96-02-18223а «Поляризационные свойства фотонного эха в электрическом и магнитном поле», сроки выполнения 1996-1998 гг., объем финансирования, 1996 г. – 6 660 тыс. руб., 1997 г. – 24 200 руб., 1998 г. – 30 739 руб.;

- № 00-02-16234а «Деполяризующие столкновения и информативные свойства фотонного эха в парах молекулярного йода в режиме лазерного охлаждения», сроки выполнения 2000 – 2002 гг., объем финансирования в 2000 г. – 90 тыс. руб., 2001 г. – 120 тыс. руб., 2002 г. – 190 тыс. руб.;
- № 02-02-06122 мас (при гранте РФФИ № 00-02-16234а), объем финансирования – 7 тыс. руб.;
- № 02-02-06123 мас (при гранте РФФИ № 00-02-16234а), объем финансирования – 3 тыс. руб.;
- № 03-02-17276а «Фундаментальные физические проблемы построения квантовых компьютеров на основе гиперкомплексных взаимосвязей характеристик фотонного эха», сроки выполнения 2003-2005 годы, объем финансирования в 2003 г. – 190 тыс. руб., 2004 г. – 220 тыс. руб., 2005 г. – 280 тыс. руб.;
- № 03-02-06472мас (при гранте РФФИ № 17276), объем финансирования 30 тыс. руб.;
- № 06-02-16416 а «Фундаментальные физические проблемы функционирования гиперкомплексного оптического эхо-процессора для квантовых вычислений», сроки выполнения 2006-2008 годы, объем финансирования в 2006 г. – 320 тыс. руб., 2007 г. – 360 тыс. руб.

Заказ-наряд Минвуза РСФСР и Министерства образования и науки РФ:

- заказ-наряд Минвуза РСФСР «Фотонное эхо и его применение для спектроскопического исследования паров молекулярного йода», сроки выполнения 1989-1991, объем финансирования 20 тыс. руб. в год;
- заказ-наряд Комитета высшей школы РФ в 1992-1995 гг. по теме: «Когерентная спектроскопия газов», годовой объем финансирования 20 тыс. руб.;
- заказ-наряд Министерства образования РФ в 1996-1999 гг. по теме: «Электрофизические особенности формирования ФЭ в газе», годовой объем финансирования 20 тыс. руб.;
- заказ-наряд Министерства образования РФ 2000 г. по теме “Лазерное охлаждение материалов, нагреваемых при выработке и передаче электрической энергии”, годовой объем финансирования 20 тыс. руб.;
- заказ-наряд Министерства образования РФ 2006 г., по теме «Моделирование энергетических процессов в клетках животных при изменяющихся воздействиях внешней среды», по разделу НИР «Методы и средства оценки влияния фаз лунного цикла на энергообеспечение в клетках животных при изменяющихся воздействиях внешней среды», сроки выполнения 2006-2008 гг., годовой объем финансирования 70 тыс. руб.

Государственные контракты с Фондом (федеральным) содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере

1. Государственный контракт №4875р/7291 от 26.03.2007 по теме: «Разработка и создание опытно-лабораторной установки для получения препарата «Орол» и исследование его свойств» (МарГУ – соисполнитель по хоздоговору).
2. Государственный контракт № 5346 р/7763 от 16 августа 2007 г. по теме: «Физические методы диагностики состояния организма человека и инновационно-ориентированные технические системы для его обслуживания» (аспиранты МарГУ – обладатели грантов по программе «У.М.Н.И.К. 2007»).

Научные мероприятия, проводившиеся на базе НИЛ РИЭС

1. III Всероссийские чтения по квантовой оптике, Йошкар-Ола, 1993 г. Председатель программного и организационного комитетов – д.ф.-м.н., профессор В.В. Самарцев, ученый секретарь Чтений – к.ф.-м.н., с.н.с. И.И. Попов.

2. VI Международный симпозиум по фотонному эхо и когерентной спектроскопии, Йошкар-Ола, 1997 г. Председатель программного и организационного комитетов – д.ф.-м.н., профессор В.В. Самарцев, ученый секретарь симпозиума – к.ф.-м.н., доцент И.И. Попов. В работе Симпозиума приняло участие 120 ученых, из них 80 докторов наук, в том числе – из 7 стран дальнего зарубежья.
3. Первая межрегиональная научная школа «Наука и инновации 2006». Председатель оргкомитета д.ф.-м.н., профессор И.И. Попов.
4. Вторая международная научная школа «Наука и инновации 2007», аккредитованная по программе «У.М.Н.И.К. 2007» Фондом (федеральным) содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. Председатель организационного и программного комитетов д.ф.-м.н., профессор И.И. Попов, сопредседатели программного комитета А.П. Сухоруков, В.В. Самарцев, В.Г. Зинов По результатам работы секции «У.М.Н.И.К.» 4 молодым ученым выделены научные гранты по 400 тыс. руб. на 2 года.

Современное состояние деятельности НИЛ РИЭС и перспективные разработки

В настоящее время в НИЛ РИЭС выполняются фундаментальные НИР, финансируемые из федерального бюджета по гранту РФФИ в области физики и финансируемые по единому заказ-наряду Минобрнауки России в области биофизики, прикладные НИР в области электротехники и приборостроения, инновационно-ориентированные НИР в области медицинской техники, по спортивной и физкультурно-оздоровительной деятельности, разработке научно-теоретических основ национальной марийской туристической индустрии, разработке научных заделов для инновационной деятельности и новых форм ее организации и ведения в вузе.

В области фундаментальной физики ведутся исследования явлений фотонного эха и диэлектрического эха. На основе фотонного эха разрабатываются физические основы построения оптических аналоговых специальных процессоров для решения алгоритмов задач повышенной сложности, на которые раскладываются алгоритмы квантовых вычислений. Исследования по диэлектрическому эхо направлены на оптимизацию условий возбуждения и повышение информативности эхо-сигналов, поиск эхо-сигналов в новых резонансных средах. В области биофизики разрабатываются новые методы и средства прямых бесконтактных измерений и оценки энергообеспечения клеток животных при изменяющихся воздействиях внешней среды и исследуется возможность оценки влияния на эти процессы фаз лунного и суточного циклов. В области инновационной деятельности выполняются НИР как финансируемые из федерального бюджета, так и инициативные, направленные на создание научных заделов для будущих инновационных проектов. Совместно с кафедрой защиты растений МарГУ и кафедрой химии ЧПГУ (г. Чебоксары) разрабатываются технологии получения биологических препаратов различного функционального назначения из отходов зернопроизводства для сельскохозяйственного и медицинского применения, финансируемые по хоздоговору с ООО «Орол» в рамках государственного контракта №4875р/7291 от 26.03.2007, заключенного с фондом СРМФП в НТС. Совместно с кафедрой биологии человека МарГУ исследуются методики и средства новой концепции диагностики и коррекции кислородообеспечения головного мозга, финансируемые по грантам программы «У.М.Н.И.К.» в рамках государственного контракта № 5346 р/7763 от 16 августа 2007 г., заключенного с фондом СРМФП в НТС. В рамках этого же государственного контракта проводятся исследования по теме: «Диэлектрическое эхо как метод ранней диагностики онкологических заболеваний человека». Совместно с кафедрой физического воспитания МарГУ,

кафедрой химии ЧГПУ и НПО «Медасс (г. Москва), Военно-спортивным фондом (г. Москва) разрабатывается система тестирования и коррекции физического состояния организма человека с учетом результатов его микроэлементного и витаминного обеспечения и экспресс-диагностики состав тела человека. Совместно с рядом кафедр МарГУ и университетом г. Хельсинки (Финляндия) разрабатываются научно-теоретические и организационные основы индустрии Языческого туризма». Ведутся научные исследования над созданием научных заделов по разработке: технологий и оборудования для продления сроков сохранности молока и кумыса с помощью воздействия модулированного по амплитудно-временной форме акустического излучения; механико-оптической бритвы, обеспечивающей после механического сбривания медленный рост волосяного покрова тела и лица человека. Разрабатываются научно-теоретические и организационные формы ведения инновационной деятельности во взаимодействии с учебным процессом и профориентационной работой со школьниками старших классов.

Из истории становления и развития НИЛ РИЭС: «События, люди и факты»

Первое историческое событие, связанное с НИЛ РИЭС, состоялось 18 апреля 1978 г. в Казанском физико-техническом институте КФ АН СССР. В этот день к.т.н, доцент МПИ им. М.Горького Г.И. Маркелов познакомил двух влюбленных в науку людей, молодого намечавшегося доктора физико-математических наук Виталия Владимировича Самарцева и рвущегося в науку 26 летнего Ивана Ивановича Попова. В то время Попову И.И. предстояло создать в Йошкар-Оле четвертую в СССР экспериментальную научную группу по фотонному эхо (вслед за КФТИ КФ АН СССР, ФИ АН СССР и Новосибирским Академгородком). 30 июня 1981 г. ректор МарГУ профессор В.Э. Колла и 22 июня 1981 г. директор Казанского физико-технического института КФ АН СССР профессор М.М. Зарипов подписали договор «О научно-техническом сотрудничестве между Марийским государственным университетом и Казанским физико-техническим институтом Казанского Филиала Академии Наук СССР». Руководителями и ответственными исполнителями работ по договору от договаривающихся сторон выступили И.И. Попов и В.В. Самарцев. Этот договор положил официальное начало многолетнему и плодотворному сотрудничеству двух научных коллективов. Бессменным научным консультантом вновь созданной научной группы стал В.В. Самарцев.

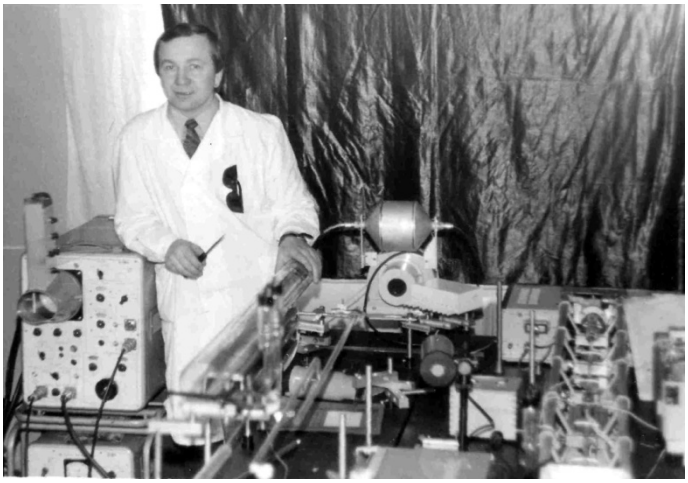


Фото 1. Создатель первой в МАССР экспериментальной установки для научных исследований по фотонному эхо И.И. Попов, 1983 г.

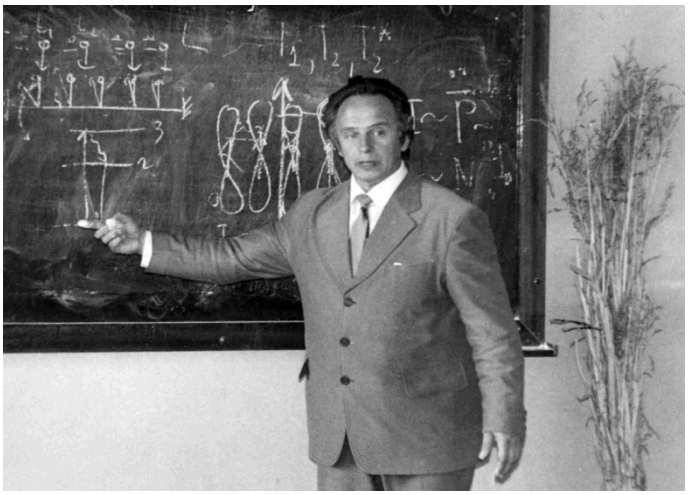


Фото 2. Профессор В.В. Самарцев во время научного семинара в МарГУ, 1984 г.

Таким образом, был дан старт научным исследованиям по нелинейной оптике в Йошкар-Оле и в том числе в МАССР. Большую помощь в виде полезных советов и консультаций при формирования парка научного оборудования, при постановке задач и при обсуждении полученных результатов оказали сотрудники КФТИ КФ АН СССР (ныне доктора физико-математических наук) Р.Г. Усманов и В.А. Зуйков КФТИ КФ АН СССР – это был институт, в котором впервые в мире было предсказано явление фотонного (светового) эха учителями Самарцева В.В. профессорами У.Х. Копвиллемом и В.Р. Нагибаровым. Сделавшие первыми эксперимент по фотонному эхо американские физики во главе с профессором Свеном Р. Хартмоном в своей научной публикации признали приоритет советских физиков. В первые годы становления научного коллектива очень значительной в методическом и организационном плане была помощь внештатного советника лаборатории Иванова Владимира Константиновича. На этапе становления научной группы большую административную и финансовую поддержку оказали заведующий кафедрой высшей математики МарГУ Ершов Юрий Иванович и заведующий кафедрой растениеводства, руководитель проблемной лабораторией №2 Аркадий Хрисанфович Кольцов, проректор по учебной работе Геннадий Николаевич Айплатов. Важную поддержку на начальном этапе зарождения в Марийской республике научных исследований по нелинейной оптике оказал заведующий отделом науки Марийского обкома КПСС Константин Андреевич Иванов. Финансовую самостоятельность и запуск научных работ в полную силу в НИЛ РИЭС обеспечил к.т.н. Владимир Прокофьевич Шатохин (Московский радиотехнический институт АН СССР).

Первые лазеры были приобретены в декабре 1979 года. Потому от этой даты можно отсчитывать начало реальных экспериментальных исследований по нелинейной оптике в Республике Марий Эл. Это были аргоновый лазер «Игла-4» с мощностью непрерывного лазерного излучения 2 Ватта и твердотельный гранатовый лазер ЛТИ-ПЧ-5 с мощностью 1 Мегаватт в 10 наносекундном импульсе. Приобретение уникальных научных лазеров в то время было дело непростое. В эти времена в Йошкар-Оле лазеры можно было увидеть только по телевизору. Благодаря случайному стечению обстоятельств удалось заполучить лазеры в НПО «Полюс», которые распределялись между ведущими институтами Академии Наук СССР и отраслевыми НИИ, решавшими специальные государственные задачи. Сейчас с улыбкой вспоминается, что самым первым

применением этих лазеров в МарГУ – было участие в процедуре прикуривания сигареты от своеобразного «гиперболоида инженера Гарина», в которой принимали участие первые сотрудники формировавшейся агрофизической лазерной лаборатории И.И. Попов, Г.Ф. Отмахов, Г.А. Митрофанов, декан СХФ В.М. Шорин, заведующий кафедрой растениеводства А.Х. Кольцов, доцент МПИ им. М. Горького В.К. Иванов и многие другие.

Фото 3. В.П. Шатохин во время приемки результатов выполненных НИР

Фото 4. В.К. Иванов и И.И. Попов в лазерном зале НИЛ РИЭС

С 1 января И.И. Попов заключил первый в своей жизни хозяйственный договор на выполнение научно-исследовательских работ №2/82. МарГУ вошел соисполнителем в хоздоговор МПИ им. М. Горького с Йошкар-Олинским механическим заводом. Для выполнения х/д №2 было выделено помещение. Был принят в штат лаборатории ключевой для НИЛ РИЭС специалист – Сергей Борисович Чемоданов (ныне предпринима-

тель), ответственный исполнитель х/д №2. В полученном помещении начался монтаж двух специальных стендов для научных исследований. Один создавался С.Б. Чемоданновым для выполнения х/д №2, второй – И.И. Поповым для исследований по фотонному эхо и решения задач в области растениеводства по проблемной лаборатории №2.

Фото 5. Старший инженер С.Б. Чемоданов и научный руководитель х/д №2 И.И. Попов во время испытания оптической установки для контроля линейных размеров изделий

Фото 6. Первое подведение итогов работы НИЛ РИЭС: с.н.с. С.Б. Чемоданов, советник НИЛ РИЭС, доцент В.К. Иванов, научный руководитель И.И. Попов, с.н.с. И.С. Бикбов (1984 г.)

Активно включился в работы по сельскохозяйственной тематике студент-дипломник агрономического отделения СХФ Эбрар Махмутович Шарапов, который выполнил перспективную дипломную НИР по получению под воздействием мощного лазерного излучения мутаций штаммов для борьбы с корневыми гнилями сельскохозяйственных культур. Выполнялись мелко-деляночные опыты по предпосевной обработке семян зерновых культур лазерным излучением, электрическим и магнитным полем, полем коронного электрического разряда в сопоставлении с существующими химическими стимуляторами роста.

В конце 1982 г. И.И. Попов запустил в работу установку по нелинейной оптике и приступил к экспериментальным научным исследованиям. 26 декабря 1982 г. ректор МарГУ профессор П.А. Соколов подписал приказ о создании в МарГУ на базе хоздоговора №2 научно-исследовательской лаборатории Резонансной информатики и эхоспектроскопии (НИЛ РИЭС). Руководство НИЛ РИЭС возложено на научного руководителя хоздоговора №2 И.И. Попова В дальнейшем в этой лаборатории был получен ряд фундаментальных физических результатов обладающих мировой новизной. Потому стал вполне закономерным тот факт, что более половины иллюстративных экспериментальных результатов в монографии I.V. Yevseyev et. al. Depolarizing collisions in nonlinear electrodynamics, посвященной одному из направлений нелинейной оптики, изданной в 2004 г. издательством «Библиотека Конгресса США», публикующим лучшие достижения мировой науки, взято из научных работ, полученных в НИЛ РИЭС.

Фото 7. Участники научного семинара, проводимого на базе НИЛ РИЭС: (слева – на право) первый ряд –А.Х. Кольцов, И.И. Попов, В.В. Самарцев, В.П. Шатохин, Б.Т. Тазеев, второй ряд – А.Б. Рехлицкий, С.Б. Чемоданов, В.Г. Куклин, И.С. Бикбов, Г.С. Марьин, В.К. Иванов, В.Ф. Иванов, Э.М. Шарапов, А.Р. Буев (1985 г.)

В июне 1983 г. на базе НИЛ РИЭС начал выполняться крупный хоздоговор №8/83 с объемом работ на 153 тыс. руб. Заказчиком работы выступил Московский радиотехнический институт АН СССР, представителем заказчика, предложившим эту работу, – к.т.н. В.П. Шатохин.

Фото 8. Друзья-соратники В.П. Шатохин (заказчик х/д №8/83) и И.И. Попов (научный руководитель х/д №8/83) при сдаче/приемке очередного этапа НИР

В 1985 г. это сотрудничество приняло масштабы пятилетней НИР, выполняемой по Постановлению ВПК СССР, с объемом финансирования уже 500 тыс. руб. В историческом плане заслуга В.П. Шатохина особенно велика в плане становления инженерно-технического уровня научных исследований в НИЛ РИЭС. По результатам сотрудничества написано множество научных статей, получены авторские свидетельства на изобретения СССР. Эти работы, посвященные созданию метрологического обеспечения процесса линейной юстировки ускорительных установок, внесли существенный вклад в систему разработок СССР, являющуюся противовесом американскому космическому лазерному оружию, создаваемому по так называемой программе «СОИ». В выполнение оптических исследований НИЛ РИЭС в 1984-1992 годах совместно с И.И. Поповым значительный вклад внес с.н.с. И.С. Бикбов (ныне предприниматель, к.ф.-м.н.). С 1985 г. НИЛ РИЭС заявила о себе как об одной из передовых научных физических экспериментальных лабораторий СССР. На III Всесоюзном симпозиуме по световому эхо и когерентной спектроскопии, проводившемся в 1985 г. в г. Харькове, лично профессор У.Х. Копвиллем (автор первой научной работы по фотонному эхо) признал первые докладываемые сотрудниками НИЛ РИЭС результаты и благословил И.И. Попова и И.С. Бикбова на дальнейшую исследовательскую работу памятной надписью на обороте фотографии докладываемой экспериментальной установки.

Далее пошла плодотворная работа на благо советской физической науки. Был выполнен ряд научно-технических программ, грантов РФФИ, проектов Минобразования РФ, завершившихся успешной защитой ряда диссертаций.

Достаточно ярко были представлены работы НИЛ РИЭС на IV Всесоюзном симпозиуме по световому эхо и когерентной спектроскопии (СЭКС-89), проводившемся в 1989 году в г. Куйбышеве. Чрезвычайно эффективными для НИЛ РИЭС, особенно для ее руководителя И.И. Попова, были годы сотрудничества (1989-1990 г.г.) с профессором Митрофаном Федоровичем Стельмахом, замечательным физиком, великим организатором, создателем лазерной промышленности Советского Союза и НПО «Полюс».

Фото 9. Научные работники, обеспечившие становление хоздоговорной деятельности НИЛ РИЭС: В.П. Шатохин (МРТИ АН СССР) и сотрудники х/д №8/85 И.И. Попов (научный руководитель х/д №8/85), С.Б. Чемоданов (отв. исполнитель х/д №8/85 по разделу электроники и метрологии), И.С. Бикбов (отв. исполнитель х/д №8/85 по разделу оптических исследований)

Фото 10. Первые штатные сотрудники х/д №8/85: первый ряд – отв. исполнитель, с.н.с. С.Б. Чемоданов, ст. инженер В.А. Чулков, второй ряд – с.н.с. И.С. Бикбов, ст. лаборант Н.З. Шамсутдинова, научный руководитель И.И. Попов

Фото 11. С.н.с. И.С. Бикбов, научный консультант НИЛ РИЭС В.В. Самарцев и научный руководитель НИЛ РИЭС И.И. Попов во время проведения эксперимента по фотонному эхо в парах молекулярного йода

Это сотрудничество протекало в рамках выполнения проекта «Физические принципы построения оптической вычислительной машины на основе фотонного эха» по научно-технической программе «Сверхбыстродействующая оптическая вычислительная машина». Этот проект был представлен тремя организациями-соисполнителями работ: Казанским физико-техническим институтом КФ АН СССР (руководитель В.В. Самарцев), Московским физико-техническим институтом (руководитель М.Ф. Стельмах) и Марийским государственным университетом (руководитель И.И. Попов). Это было связано с тем, что М.Ф. Стельмах для последних лет своей творческой деятельности из всего многообразия его возможностей избрал три направления исследований: лазеры с полупроводниковой накачкой, лазеры в биологии и фотонное эхо, которые считал наиболее перспективными. Фотонное эхо он любил за красоту физики, потому что более изящной физики, как он говорил, ему не было известно. Во время совместных семинаров и дискуссий на всесоюзных конференциях Митрофан Федорович с удовольствием делился со своими коллегами, а особенно, с жадным на знания молодым ученым И.И. Поповым, своим глубоким жизненным опытом. Своеобразно, интересно и увлекательно он делился своим опытом организаторской работы в научно-технической сфере, проведения научных семинаров, умением выделять главное при формировании цели исследований, делать постановки задач исследований и правильно их выстраивать. Именно от него в те годы И.И. Попов получил одни из первых навыков криативного (интуитивного) мышления. Все его усилия передать свое отношение к науке к ее практическому внедрению, умение зажигать творческий огонь в сердцах молодых коллег не пропали даром. Все это было применено в становлении и развитии НИЛ РИЭС.

Особой заслугой НИЛ РИЭС стало доверие ей проведения в 1997 году VI Международного симпозиума по фотонному эхо и когерентной спектроскопии. Среди участников симпозиума особую роль в развитии НИЛ РИЭС сыграли два человека – профессор В.В. Самарцев и консультант работ по эхо-спектроскопии газовых сред д.ф.-м.н., профессор Евсеев Игорь Викторович из Московского инженерно-физического института. Именно благодаря ему в лаборатории был выполнен уникальный эксперимент по нефарадеевскому повороту вектору поляризации фотонного эха. И.В. Евсеев, его учи-

тель профессор А.И. Алексеев и коллега профессор В.М. Ермаченко были авторами первых теоретических работ по специфическому повороту вектора поляризации фотонного эха в газе. Уверенность И.В. Евсеева в возможность постановки в парах молекулярного йода эксперимента по представленным в научной литературе им и его коллегами теоретическим работам воодушевляла на действия в области эксперимента. Эта уверенность передалась И.И. Попову. По рекомендации И.В. Евсеева состоялось знакомство И.И. Попова с научным сотрудником (ныне, д.ф.-м.н., профессором) С.В. Киреевым и профессором Е.Д. Проценко из МИФИ, в результате которого в Йошкар-Оле появились уникальные контейнеры с особо чистыми парами молекулярного йода – резонансной средой для всех последующих экспериментов по фотонному эхо.

Фото 12. Участники IV Всесоюзного симпозиума по световому эхо
и когерентной спектроскопии (СЭКС-89) в перерыве между заседаниями:
на переднем плане – с.н.с. М.А. Якшин (МФТИ, г. Долгопрудный Московской обл.), профессор М.Ф. Стельмах (генеральный директор НПО «Полюс»), профессор В.В. Самарцев (КФТИ КФ АН СССР, председатель оргкомитета СЭКС-89), ст. научные сотрудники В.А. Зуйков (КФТИ КФ АН СССР), И.И. Попов и И.С. Бикбов (МарГУ)

Фото 13. Председатель организационного и программного комитетов VI Международного симпозиума по фотонному эхо и когерентной спектроскопии (ФЭКС-97) д.ф.-м.н., профессор В.В. Самарцев

Фото 14. Участники ФЭКС-97 в перерыве между заседаниями в санатории «Кленовая гора»: на первом плане – ученый секретарь симпозиума И.И. Попов, профессор С.Р. Хартман (Колумбийский университет, США), В.И. Юкалов (ОИЯИ, г. Дубна), И.В. Евсеев (МИФИ, Москва), Государственный секретарь Республики Марий Эл Н.Н. Гаврилов, Заместитель Главы Правительства Республики Марий Эл, министр экономики, к.э.н. И.Ф. Васильев

Фото 15. Участники ФЭКС-97 в гостях у ректора МарГУ: (слева – направо) ректор МарГУ профессор Ившин В.П., председатель организационного и программного комитетов ФЭКС-97 профессор В.В. Самарцев (КФТИ КНЦ РАН), ученый секретарь симпозиума доцент И.И. Попов (МарГУ), профессор Чарльз М. Боуден (руководитель департамента фундаментальных физических исследований Армии США), профессор А.Н. Ораевский (ФИ РАН, г. Москва – лауреат Ленинской премии СССР, создатель первого химического лазера), профессор Свен Р. Хартман (Колумбийский университет, США, автор первого эксперимента по фотонному эхо), профессор В.И. Юкалов (ОИЯИ, г. Дубна)

Фото 16. Участники ФЭКС-97 во время посещения физического факультета МарГУ: первый ряд – профессора А.Н. Ораевский и В.В. Самарцев, доцент В.Е. Шилов, второй ряд – доцент Г.А. Ситников, профессор С.Р. Хартман, профессор В.П. Ившин, доцент И.И. Попов, профессор Ч.М. Боуден, профессор А.А. Косов, доцент Алимбек В.В., профессор В.И. Юкалов, аспирант А.Н. Леухин

В значительной степени на содержание работ НИЛ РИЭС повлияло знакомство в 1988 году И.И. Попова с Валерием Константиновичем Канюкой. Этот неординарно мыслящий ученый ранее работал в закрытых учреждениях, а в 1988 г. В.К. Канюка, выполняя обязанности заместителя председателя ХНО Минвуза РСФСР, формировал новую научно-техническую программу «Физическая экология». В состав оргкомитета этой программы В.К. Канюка включил ученого из Йошкар-Олы И.И. Попова. При защите проектов этой программы их авторами и вовремя дополнительных семинаров, проводимых В.К. Канюкой, для И.И. Попова открылась новая область знаний, изучающая взаимодействие модулированных физических полей с биологическими объектами. Появился новый философский надотраслевой взгляд на решаемые научные проблемы. В это время зародилась настоящая свобода творчества в характере И.И. Попова. Что во многом повлияло на развитие фундаментального естественного мировоззрения и межотраслевое мышление при решении практических задач. В.К. Канюкой были заложены и экономические взгляды на результаты выполняемых НИР. Все это имеет место в современной деятельности НИЛ РИЭС.

Базовые знания по инноватике и инновационную культуру в деятельность НИЛ РИЭС заложил д.э.н., профессор Владимир Глебович Зинов и возглавляемый им коллектив факультета инновационно-технологического бизнеса Академии народного хозяйства при Правительстве РФ.

В современных условиях научная работа НИЛ РИЭС пополнилась сотрудничеством с учеными, работающими в других областях знаний, появилась инновационная направленность научных исследований. Опыт инновационной работы подтверждается успешным участием в конкурсах Фонда (федерального) содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, выполнением государственных контрактов, заключенным с ним. Активно работают молодые ученые над прикладным использованием результатов исследования по фотонному эхо (к.т.н. А.М. Гладышев – над оптической регистрацией тока, аспирант К.Ш. Газизов – над оптической регистрацией врменных интервалов между лазерными импульсами, аспирантка В.Т. Нигматуллина – над оптическими эхо-процессорами), над совершенствованием инновационной деятельнсоти – Е.И. Гладышева, О.Е. Рыбакова, А.Е. Рыбакова, над решеним агробиологичекских задач – Э.М. Шарапов, Т.Л. Балдина, А.К. Свечников. Сегодня НИЛ РИЭС – это состоявшийся научный коллектив, четко идущий к поставленной цели, имеющий высокую репутацию в России и за ее рубежами. Во многом имеющиеся успехи достигнуты благодаря любви к науке, одержимости, чертам характера, организаторским способностям научного руководителя НИЛ РИЭС д.ф.-м.н., профессора И.И. Попова, которому при отсутствии какого-либо административного ресурса и каких-либо излишних симпатий со стороны руководства университета, с чистого листа удалось создать эффективно работающую, имеющую хорошие перспективы научную лабораторию. Незря говорится: «Дорогу осилит идущий».

Потому сегодня коллектив НИЛ РИЭС, включающий бывших и настоящих ее сотрудников, ее научный руководитель профессор И.И. Попов получают заслуженные поздравления от своих коллег по научной работе и творческой деятельности с 25-летним юбилеем!

Редакционный совет материалов Второй международной научной школы «Наука и инновации 2007» и участники школы

ПЕРВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

Наука и инновации
ISS «SI-2008»

Золото России - не в рудниках,
Золото России - в умах!

Йошкар-Ола 2008

Третья международная научная школа «Наука и инновации – 2008»:

С 28 июля по 3 августа 2008 года в г. Йошкар-Ола, на базе ГОУ ВПО «Марийский государственный университет» в санатории «Кленовая гора» проводится Третья международная научная школа «Наука и инновации 2008».

Организаторы Школы:

• ГОУ ВПО «Марийский государственный университет»;
• ГОУ ВПО «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова»;
• Фонд (федеральный) содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере;
• ГОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет» им. И.Я. Яковлева
• Университет Хельсинки, Финляндия;
• Фонд «Международный инкубатор технологий» (г. Москва);
• Некоммерческая организация «Военно-спортивный фонд» (г. Москва);
• Российская Академия Естественных Наук;
• Программный комитет XII Всероссийской школы-семинара «Волны-2008»;
• ООО «Орол» (г. Йошкар-Ола).

Почтовый адрес и контакты Оргкомитета:
424001, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1; тел.: (8362)425594; (8362)425540, E-mail: popov@marsu.ru;
Информация о подготовке и проведении Школы http://www.marsu.ru/

Программа научной школы *включает:*

Третий международный научный семинар «Фундаментальные исследования и инновации 2008»
Секция 1. Инноватика.
Секция 2. Особенности выполнения инновационно-ориентированных фундаментальных НИР в области физики в составе единого инновационного цикла.
Секция 3. Особенности выполнения инновационно-ориентированных фундаментальных НИР в области биологии и медицины в составе единого инновационного цикла.
Секция 4. Стендовые доклады.
Сателлитный симпозиум «Физика резонансных явлений и ее инновационные аспекты»
Секция 1. Особенности выполнения инновационно-ориентированных прикладных НИР в области физики в составе единого инновационного цикла.
Секция 2. Стендовые доклады.
Сателлитный симпозиум «Живые системы и их инновационная привлекательность»
Секция 1. Особенности выполнения инновационно-ориентированных прикладных НИР в области биологии и медицины в составе единого инновационного цикла.
Секция 2. Стендовые доклады.
Сателлитный симпозиум «Социальные проблемы и инновационные пути их решения»
Секция 1. Научно-теоретические основы индустрии «Языческого туризма».
Секция 2. Элементы индустрии «языческого туризма» и методы их разработки.
Секция 3. Стендовые доклады.
«Клуб профессорской мысли» Межвузовский междисциплинарный инновационно-ориентированный научный семинар.

ЗАСЕДАНИЯ ЖЮРИ ПО ПРОГРАММЕ "УМНИК" ФОНДА (ФЕДЕРАЛЬНОГО) СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ МАЛЫХ ФОРМ ПРЕДПРИЯТИЙ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ.

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ
ВТОРОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

«НАУКА И ИННОВАЦИИ – 2007»
ISS «SI-2007»

Ответственный за выпуск
Вадим Авенирович Козлов

Дизайн и компьютерная верстка В.А. Козлова

Тем. план 2007 г. № 218
Подписано в печать 12.12.2007. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 22,75. Тираж 500 экз. Заказ № 2719

Оригинал-макет подготовлен к печати в РИО и отпечатан ООП
ГОУ ВПО «Марийский государственный университет»
424001, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1

Марийскому университету 35 лет

Марийский Государственный Университет

основан в 1972 году

Институты

Аграрно-Технологический
Институт открытого образования и информационных систем

Факультеты

Биолого-Химический
Историко-Филологический
Физико-Математический
Экономический
Электроэнергетический
Юридический
Культуры и искусств
Международных Отношений
Дополнительного профессионального образования

Центры

Агробиостанция
Информационно-вычислительный
Археолого-этнологических исследований
Российско-Американский
Российско-Шведский
Методический центр по изучению иностранных языков
Экономических исследований
Дистанционного образования
По оказанию бесплатных юридических услуг
Марийский региональный центр интернет образования
Инновационный центр

Музеи

Истории университета Зоологический Археологический

Лицензия от 31 марта 2005 г. 164576 серия А рег. № 4478
Свидетельство о государственной аккредитации от 29 апреля 2005 г. рег. № 1864

424001, Россия, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина,1
Телефон 42-55-40, E-mail: rector@marsu.ru

" От успешного развития физкультуры и спорта в нашей стране прямо зависит здоровье нации"

***В.В. Путин**, Президент РФ*

НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ВОЕННО-СПОРТИВНЫЙ ФОНД

"Военно-спортивный фонд" призван решать демографические проблемы страны, восстанавливая традиции физического и военно-патриотического воспитания подрастающего поколения.

Валентин Еремин

Уважаемые коллеги, друзья!

Автономная некоммерческая организация «Военно-спортивный фонд» (ВСФ) создана в интересах содействия реализации государственной политики в области физкультуры и спорта. При этом одним из основных направлений деятельности ВСФ является развитие массового детско-юношеского спорта.

Задачу вовлечения молодого поколения в занятия спортом, привития ему здорового образа жизни мы рассматриваем как превентивную меру в борьбе с детской преступностью, наркоманией и беспризорностью.

Другой не менее важной задачей ВСФ является содействие государственным силовым структурам в деле физической и морально-психологической подготовки молодого поколения к службе в армии, специальных воинских подразделениях и правоохранительных органах.

Изначально ВСФ был задуман и создавался как структура, не зависящая от благотворительных взносов. Финансирование своей уставной деятельности ВСФ осуществляет в основном посредством реализации коммерческих проектов как в Москве, так и через свои филиалы в регионах Российской Федерации. При этом мы стремимся совершенствовать методы взаимодействия органов государственной власти и бизнеса в деле развития и укрепления материально-технической базы спорта.

ВСФ открыт для всех неравнодушных к судьбе российского молодого поколения. Мы будем признательны за помощь, направленную на непосредственное достижение ВСФ уставных целей, а также за содействие в области реализации взаимовыгодных коммерческих проектов.

В.Н. Гаврилов,
председатель Правления ВСФ

Автономная некоммерческая организация
«ВОЕННО-СПОРТИВНЫЙ ФОНД»

Юридический адрес: 107031, г. Москва, ул. Большая Лубянка, д.1/3
Почтовый адрес: 109012, Москва, ул. Ильинка, 15 А
тел./факс:(495) 606-07-82, E-MAIL: office@vsfond.ru

"Российское государство строит армию, боевая мощь которой будет определяться не численностью, а высокой профессиональной выучкой личного состава, технической оснащенностью, способностью надежно обеспечивать и противостоять любым угрозам и вызовам." *С.Б. Иванов, министр обороны Российской Федерации*