

ISSN 2079-875X

# УЧЕБНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ОБРАЗОВАНИИ

Научно-методический журнал

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ  
∞  
ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ  
∞  
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

4/2012

# УЧЕБНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ОБРАЗОВАНИИ

Научно-методический рецензируемый журнал

№ 4 2012 октябрь-декабрь

Основан в марте 1997 г.

Выходит 4 раза в год

ISSN 2079-875X

Издание журнала одобрено  
МИНИСТЕРСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Главный редактор**

В. К. Свешников

**Зам. главного редактора**

Г. Г. Зейналов

**Ответственный секретарь**

Т. В. Кормилицына

**Редакционная коллегия**

Х. Х. Абушкин, Ю. Г. Байков,  
С. В. Бубликов, Г. А. Винокурова,  
В. П. Власова, Н. В. Вознесенская,  
П. В. Замкин, Л. С. Капкаева,  
А. Н. Кокинов, С. М. Мумряева,  
В. П. Савинов, М. А. Якунчев,  
С. А. Ямашкин

**Редакционный совет**

В. В. Кадакин, В. В. Майер,  
Н. М. Мамедов, Л. А. Микешина,  
В. М. Коротов, Г. М. Лончин,  
В. С. Сенашенко, Т. И. Шукшина, Н. А. Яценко

**Редактор**

Н. Ф. Голованова

**Компьютерный набор и верстка**

Т. В. Кормилицыной

**Учредители журнала:**

- ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева»
- ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова»
- ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет им. В. Г. Белинского»

**Адрес редакции:**

430007, г. Саранск,  
ул. Студенческая, 11 а,  
МордГПИ, кабинет 221, редакция журнала  
«Учебный эксперимент в образовании»

**Телефон:** (8342) 33-92-82

**Факс:** (8342) 33-92-67

**E-mail:** edu\_exp@mail.ru

Свидетельство о регистрации  
средства массовой информации  
ПИ № ФС 77-43655

Ответственность за аутентичность цитат, приводимых имен и дат, а также за точность употребляемой терминологии несут сами авторы. При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

# ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 37.01 : 1

## ГУМАНИТАРНАЯ СРЕДА ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ\*

Е. А. Мартынова, А. Н. Пьянзова

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт  
им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

Статья посвящена вопросу формирования социально-значимых качеств студентов в процессе профессионального образования. Отмечается, что образование не должно сводиться только к системе знаний, оно должно прививать культурно-нравственные ценности субъекту образования.

*Ключевые слова и фразы:* гуманитарная среда, гуманитарное образование, культурно-нравственное пространство, гуманистические ценности.

Современные тенденции в сфере высшего образования свидетельствуют о том, что содержание высшего образования не должно сводиться только к основам наук, системе знаний, умений, навыков. Оно должно быть направлено на формирование и развитие социально-значимых качеств студентов вуза. Вуз должен стать не только центром подготовки профессионалов, но и широким культурно-образовательным и культурно-нравственным пространством, где преобладают гуманистически-нравственные ценности [3]. Ведущим направлением при этом должна стать интеграция профессионального и общекультурного образования будущих специалистов.

Решение этих задач зависит не только от содержания образования, применяемых инновационных и традиционных технологий обучения и воспитания, но и от внешних факторов, формирующих *среду* жизнедеятельности коллектива вуза. Так, благоприятная среда создает возможность для творческой деятельности, свободного развития студента и педагога как основных субъектов педагогического процесса.

«Среда – термин происходит из старофранцузского и переводится как «окружать». Следовательно, среда – это то, что окружает. Это общее значение влечет за собой широкий круг способов употребления. Обычно этот тер-

---

\* Научное исследование проведено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.»: соглашение на предоставление гранта № 14.В37.21.0989. Тема гранта «Методология развития социокультурных констант образовательного пространства инновационного вуза в структуре устойчиво-развивающегося общества».

мин содержит определение, позволяющее точно понять, что именно окружается» [4].

Изучение среды жизнедеятельности с той или иной точки зрения проводилось и проводится в рамках различных наук: философии, этики, педагогики, психологии, социологии, экологии и т. д. Нас интересует среда функционирования высшего учебного заведения, которая становилась предметом изучения ряда исследователей. Несмотря на значимость существующих работ по выявлению педагогических, психологических, социальных закономерностей, обеспечивающих формирование среды вуза, проблема теоретико-методологических основ формирования среды высшего учебного заведения в современных социально-экономических условиях является одной из мало разработанных и недостаточно изученных социально-педагогических явлений не только в науке, но и в практике высшей школы.

Постараемся вычленить некоторые из этих явлений.

Первое – необходимо определить структуру понятия. Думается, что в рамках поставленной задачи имеет смысл вести речь об *общеузовской среде*, включающей все направления деятельности конкретной педагогической системы; о *социокультурной среде* как части общеузовской среды, обеспечивающей гуманистическую направленность формирования духовного мира личности и базирующейся на социально-культурной инфраструктуре вуза и *гуманитарной среде* как части социокультурной среды, определяемой получением мировоззренческого гуманитарного знания, формированием гуманистических ценностей личности.

*Общеузовская среда* включает в условия, необходимые для обучения и воспитания специалиста.

*Социокультурная среда вуза* представляет собой часть вузовской среды и направлена на удовлетворение потребностей и интересов личности в соответствии с общечеловеческими и национальными ценностями.

*Гуманитарная среда* выступает как совокупность элементов, воздействующих на процесс гуманитарного образования и характеризуемых гуманистической направленностью, включая материальный и духовный компоненты социокультурной сферы.

Второе. Обозначив место феномена «гуманитарная среда» в структуре общеузовской среды, попытаемся выделить предпосылки функционирования гуманитарной среды как самостоятельного явления:

- повышение значимости общей культуры и личностных качеств в ходе формирования современного специалиста;
- влияние процессов, происходящих в современном обществе, на высшее профессиональное образование;
- расширение гуманитарной составляющей высшего образования как основы целостного и системного восприятия мира и роли человека в нем.

Третье. Попытаемся определить содержание понятия «гуманитарная среда». Существует ряд точек зрения относительно содержания этого понятия. Правомерным можно считать мнение В. Л. Кургузова о том, что гумани-

тарная среда – это сознательно сформированная гуманитарная направленность учебных программ и конкретных дисциплин, представляющих единство материальных и духовных факторов, способствующих формированию личности [1, с. 21].

Как отмечает Л. Е. Сараскина, гуманитарная среда – это образовательное пространство, в котором используются активные методы обучения, способствующие усвоению концепции целеполагания и формирования механизмов ее активной реализации [6, с. 152]. Р. М. Петрунева определяет гуманитарную среду как совокупность «организационных структур, педагогических технологий и административных действий по созданию условий для реализации задач гуманитаризации образования» [5, с. 13].

Исходя из всего этого попытаемся определить гуманитарную среду вуза – во-первых, как пространство в пределах вуза, которое определенная педагогическая система создает с целью становления духовных, нравственных культурных качеств личности обучаемого; во-вторых, как комплекс культурных, морально-правовых, социальных мер, обеспечивающих высокий уровень гуманитарной культуры субъектов в результате их взаимодействия и сотрудничества в реализации целей образовательного процесса.

Четвертое. Задачи гуманитарной среды вуза можно разделить по следующим основаниям:

- мировоззренческое (освоение гуманитарных идеалов и ценностей, формирование потребности приобщения к общенациональным и общечеловеческим духовным ценностям, формирование культуры мышления, формирование творческих способностей студента на основе глубокого понимания ценности и неразрывности культурного наследия);

- мотивационное (формирование ключевых общекультурных компетенций конкурентоспособного специалиста, создание положительной установки на освоение профессионально-образовательной программы подготовки специалиста, развитие своих способностей);

- социализации личности (освоение социально значимой информации и технологии деятельности в различных сферах социокультурного бытия);

- формирования гражданских качеств (развитие способностей и творческого потенциала личности, формирование способности студента к саморазвитию, самосовершенствованию, мобильности в профессиональном росте).

Пятое. Системообразующим фактором обозначенных смысловых характеристик феномена «гуманитарная среда» выступает интеграция гуманитарной среды и гуманитарного образования, проявляющаяся в повышении значимости науки, образования, духовных ценностей, общей культуры в формировании новой личности специалиста; расширении фундаментальной гуманитарной и естественнонаучной составляющей высшего образования как основы целостного и системного восприятия мира; возрастании роли общей и специальной информированности студента и т. д.

Методологические знания, создающие условия и способствующие наиболее полному включению субъекта образования в целостную культуру общества, можно получить в процессе освоения предметной области философии, культурологии, теории и истории культуры и т. д. Овладение содержательным минимумом стандарта по обществоведческим дисциплинам не должно быть механистическим, формальным. Оно должно способствовать личностному развитию студента, не отчужденного от духовного мира, этических и эстетических ценностей, и должно быть ориентировано на становление и сохранение индивидуальности.

В современных условиях социальной неопределенности именно актуализация индивидуального начала позволяет человеку осуществлять осознанный выбор и нести ответственность за него. Как отмечал С. А. Левицкий, сохранение своего индивидуального лица «в обезличивающем потоке общественной стихии ... есть категорический императив личного и человеческого достоинства, и этот «минималистский» идеал еще достижим. Если бы он стал недостижим, цивилизация потеряла бы право на эпитет “человеческая”» [2, с. 78]

### Литература

1. Кургузов, В. Л. Гуманитарная среда технического вуза: Методология. Опыт. Проблемы / В. Л. Кургузов. – Улан-Удэ : ВСГТУ, 1997. – 184 с.
2. Левицкий, С. А. Трагедия свободы / С. А. Левицкий. – М. : Астрель, 2008. – 240 с.
3. Митина, С. И. Специфика гуманитарного знания: проблематика законов и закономерностей // Гуманитарные науки и образование. – Саранск, 2010. – № 1 (1). – С. 24–27.
4. Оксфордский толковый словарь по психологии [Электронный ресурс] / Под ред. А. Ребера, 2002 г. – Режим доступа: [http://vocabulary.ru/dictionary/487/word/sreda\\_](http://vocabulary.ru/dictionary/487/word/sreda_)
5. Петрунева, Р. М. Гуманитаризация образования: модель гуманитарно-ориентированного специалиста: учеб. пособие / Р. М. Петрунева. – Волгоград : Политехник, 1998. – 113 с.
6. Сараскина, Л. Е. Формирование гуманитарного целеполагания личности студента в вузе : Дис. ... канд. пед. наук // Л. Е. Сараскина. – Красноярск, 1994. – 176 с.

УДК 37.01 : 1

## **РОЛЬ ФИЛОСОФИИ В ФОРМИРОВАНИИ МИРОВОЗЗРЕНЧЕСКИХ ДОМИНАНТ СТУДЕНТОВ: ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ И РАБОТЫ ФИЛОСОФСКОГО КЛУБА\***

**Е. Н. Родина, Н. А. Тивикова, С. С. Котова**

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

В статье рассматривается опыт организации и работы студенческого научно-исследовательского философского клуба, его образовательные цели и педагогические возможности в условиях глубоких социокультурных изменений современности.

*Ключевые слова и фразы:* философский клуб, личность, коллектив, научно-исследовательская работа.

Современное состояние общества характеризуется кризисом гуманистических идеалов, вызванного глубокими изменениями всех сфер жизнедеятельности социума и общественного сознания, происходивших на протяжении XX века. Это выражено в нигилизме по отношению к традиционной морали, в утверждении социал-дарвинистской идеологии, в культурной глобализация, ведущей к потере национальной самоидентичности.

Р. Гвардини считал, что судьба европейской гуманистической культуры пришла к своему концу, поскольку человек теряет центральное положение в мире, уступая его технике. Становление техногенного мировоззрения не способствует росту духовного потенциала цивилизации, в общественном сознании утверждаются новые идеалы жизни, связанные с доминантой потребления, массовым производством материальных и духовных ценностей.

Кризис культуры в современной России является продолжением общесистемного мирового кризиса, редуцировавшего свои базовые этические основания к элементарному обслуживанию рыночно-конвейерной экономики. Складывается массовое общество, порождающее новый тип человека – «массового человека».

Х. Ортега-и-Гассет объясняет формирование «массового человека» урбанизацией и узкой профессиональной специализацией, что ведет к ослаблению культурного потенциала и духовному подрыву современной цивилиза-

---

\* Научное исследование проведено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.»: соглашение на предоставление гранта № 14.В37.21.0989. Тема гранта «Методология развития социокультурных констант образовательного пространства инновационного вуза в структуре устойчиво-развивающегося общества».

ции. «Человек массы» является средним индивидом, ощущающим себя таким как все, довольный собственной неотличимостью» [4].

Р. Гвардини противопоставляет «человека массы» личности. При этом слово «масса» является исторической формой человека, связанной с техникой и планированием. Философ считал, что такой человек принимает жизнь в том виде, в каком ему навязывает нормированная машинная продукция, повинная программе, которая делает из него «человека без личности» [1].

В массовом обществе – среде функционирования массового потребителя, сформировавшего особый тип культуры, осознаются проблемы, связанные с легкой манипулируемостью сознания через каналы коммуникаций, отчуждением индивида, трудностью его истинной социализации, общения и творчества.

Под влиянием описанных выше процессов меняются ориентиры в сфере образования, вызывая распространение преимущественно прагматистских и позитивистских установок. Мировоззренческое знание, побуждающее к рефлексии, осознанию человеком себя, своего места и ценности в окружающем мире, отодвигается на задний план. Акцентируется внимание на прикладных отраслях, дающих непосредственную пользу для решения практических задач общественного развития. Учебная нагрузка, приходящаяся на философские дисциплины, снижается, в учебных планах отсутствуют такие курсы как этика, логика.

Высшая школа должна быть не только ориентирована на подготовку высококвалифицированного специалиста. Необходимо воспитание человека, способного к рефлексии, к осмыслению бытия и самого себя, этических и эстетических ценностей с учетом актуальных общественных потребностей, ведущего к созданию новой социальной реальности. Достичь этого значительно легче, приобщая студента высшего учебного заведения к обширному наследию мировой философской мысли. Изучение философских текстов, данных не в учебниках и хрестоматиях, а через работы крупнейших мыслителей разных эпох, способствует развитию навыков интерпретации, творческих способностей, мышления, логики.

Философия, изученная в качестве учебного курса, не определяет автоматически мировоззренческих установок студента. Поэтому значительным потенциалом обладает такая форма внеаудиторной деятельности, как философский клуб.

С 80-х годов XVIII века в истории высшей школы сложилась традиция приобщения студентов к научной деятельности через «дружеские ученые общества». Первыми были «Собрание университетских питомцев для упражнения в сочинениях и переводах» в Московском университете и студенческое «Математическое общество», созданное в 1810 году на естественно-математическом факультете. Во втором десятилетии XIX века в академическое пространство университетов прочно вошли студенческие «Общества наук», юридические общества, общества «любителей словесности» и воздухоплавания, научно-литературные, историко-литературные, технические об-

щества. В функции научных студенческих «институций» входила издательская, научно-просветительская и собственно научная деятельность [2].

В 2003 году при кафедре философии Мордовского государственного педагогического института им. М. Е. Евсевьева было создано студенческое научное объединение – философский клуб.

Деятельность клуба основана на совместной научно-исследовательской работе студентов, аспирантов и преподавателей кафедры философии. Самое главное – самостоятельный научный поиск студента, его самообразование. Это требует от преподавателей творческой работы в роли консультанта, стимулирующего мотивацию и интерес к философским исследованиям. Необходимо продумывать темы заседаний, которые должны быть научны, актуальны в условиях современности, обладать высоким эвристическим и этическим потенциалом.

Основной формой деятельности является дискуссия, в ходе которой студенты активно и творчески включаются в процесс, задавали друг другу вопросы и высказывали собственные мнения. Этап подготовки заседания представляет собой чередование самостоятельной исследовательской работы с совместными обсуждениями плана проведения мероприятия.

Заседания проводятся в рамках проходящих конференций, организованы в секции с последующим предоставлением материалов докладов студентов в издаваемые сборники.

Подобная работа помогает решить ряд задач: формирование культуры будущего специалиста на основе изучения обширного историко-культурологического материала и достижений мировой философской мысли; гуманистическая ориентация личностных качеств студентов на основе анализа решения «вечных» проблем человечества; пробуждение у студентов интереса к исследовательской деятельности; интеграция студенческой группы и создание коллектива на основе совместной научной деятельности [3].

Процессы развития личности и коллектива неразрывно связаны друг с другом. Развитие личности зависит от развития коллектива, его уровня развития, структуры сложившихся в нем деловых и межличностных отношений. Развитие творческой индивидуальности студентов взаимосвязано с уровнем их самостоятельности и творческой активности внутри коллектива. Развитие личности и коллектива – взаимообусловленные процессы. Человек живет и развивается в системе отношений с окружающими его людьми. Богатство связей предопределяет духовное богатство личности, богатство связей и общения выражает общественную, коллективную силу человека.

Таким образом, философия помогает студенту глубже осмыслить свое отношение к миру, к другим людям, к себе, выработать мировоззренческие ориентиры, необходимые для осознания смысла своего бытия. Рефлексия, осознание внутреннего содержания нынешней творческой эпохи, поиск средств выхода общества из критического состояния, формулировка мировоззренческих идеалов – это возможности философского знания, и никакая другая область знаний справиться с этой задачей не в состоянии.

Организация научно-исследовательской деятельности в форме философского клуба помогает осознанию студентами того, что каждый человек ответственен за содержание и определение путей собственной жизни и за реализацию гуманистических идеалов не в меньшей мере, чем все общество. В современных условиях особо актуальной стала потребность в разработке мировоззренчески-методологических основ интегрирования различных сфер знания в целостную концепцию человека, которая служила бы ориентиром в деле практической гуманизации мира.

#### Литература

1. Гвардини, Р. Конец нового времени / Р. Гвардини // Вопросы философии, 1990. – № 4. – С. 127–163.
2. Зеткина, И. А. Студенческий научно-исследовательский педагогический клуб: опыт организации и работы / И. А. Зеткина, П. В. Замкин // Гуманитарные науки и образование, 2011. – № 1 (5). – С. 10–14.
3. Мартынова, Е. А. Философия в системе гуманитарного знания / Е. А. Мартынова // Гуманитарные науки и образование. – Саранск, 2010. – № 2 (2). – С. 60–61.
4. Ортега-и-Гассет, Х. Восстание масс / Х. Ортега-и-Гассет // Вопросы философии, 1989. – № 3. – С. 119–154.

# ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 536.2

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ В ВУЗЕ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ К ПРИМЕНЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**Л. В. Масленникова, О. А. Арюкова, Ю. Г. Родиошкина**

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет  
им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

Обсуждается возможность формирования понятий курса математического моделирования при изучении физики в техническом вузе.

*Ключевые слова и фразы:* модель, моделирование, физический процесс.

Современное производство испытывает потребность в высококомпетентных специалистах в области автоматизации, энергетики, машиностроения, строительства и предъявляет сегодня высокие требования к подготовке специалиста – выпускника технического вуза. Основной задачей высшей технической школы является формирование у выпускников системы необходимых знаний и умений, а также развитие способности применять эти знания в профессиональной деятельности [1]. И поскольку знания специалистов технического профиля базируются на естествознании, роль курса физики в плане развития и становления будущего инженера высока. Одним из направлений профессиональной деятельности выпускника технического вуза является математическое моделирование физических процессов, лежащих в основе технологий и технологических процессов. Это один из основных методологических подходов, предназначенный для изучения реальных процессов.

Математическое моделирование позволяет исследовать свойства и поведение объекта или характер процесса в различных ситуациях инженерной деятельности. Следовательно, для эффективной подготовки студентов технических вузов необходимо формирование фундаментальных физических знаний и профессиональных умений при обучении физике с применением метода математического моделирования.

Практическая деятельность инженера сводится к разработке, проектированию и конструированию новых устройств, к оптимизации и организации производственного процесса, что невозможно в настоящее время без моделирования соответствующих технических устройств и технологических процессов [2]. Это предъявляет к профессиональной квалификации инженера

требование сформированности умения применять метод математического моделирования при решении инженерных задач. На формирование этого умения должна быть направлена профессиональная подготовка инженеров в технических вузах. Существенную роль в решении данной задачи может играть обучение физике.

Исходя из вышесказанного, нами были выделены специальные компетенции, которые должны приобрести студенты, при изучении курса физики с применением математического моделирования (табл. 1).

Но, как показывает практика, несмотря на наличие умений работать с математическим аппаратом на занятиях по математике, большинство студентов испытывают трудности с использованием математических методов при решении физических задач. В результате выпускники не могут применять знания, полученные при изучении физики, к решению профессиональных задач, возникающих в инновационной деятельности инженера, а умения, касающиеся математического моделирования технологических процессов, у них развиты недостаточно.

Таблица 1

#### Специальные компетенции

Общенаучные компетенции (ОНК)	Инструментальные компетенции (ИК)
<ul style="list-style-type: none"> <li>– способность анализировать проблемы, процессы и явления в области физики, умение использовать на практике базовые знания и методы физических исследований;</li> <li>– способность приобретать новые знания в области физики, в том числе с использованием современных образовательных и информационных технологий;</li> <li>– владение основными теоретическими и экспериментальными методами физических исследований;</li> <li>– способность использовать знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– способность применять знания о физических объектах и явлениях на практике, в том числе выдвигать гипотезы, составлять математические модели, проводить анализ границ их применимости;</li> <li>– способность строить математические модели производственных, технологических, исследовательских процессов;</li> <li>– способность разрабатывать, анализировать и обосновывать адекватность математических моделей;</li> <li>– способность планировать и проводить физические эксперименты адекватными экспериментальными методами, оценивать точность и погрешность измерений, анализировать физический смысл полученных результатов.</li> </ul>

Это связано с тем, что в реальном образовательном процессе не уделяется должное внимание формированию у студентов решать задачи с применением метода математического моделирования. Требования, предъявляемые Государственным стандартом высшего профессионального образования второго поколения и Федеральным государственным стандартом высшего профессионального образования третьего поколения, входят в противоречия с уже сложившейся системой обучения физике студентов технических вузов. Это проявляется в том, что при увеличении объема учебного материала число часов, отведенных на изучение базового курса физики, сокращается, по-

этому отсутствуют реальные возможности для решения новых образовательных задач, вызываемых потребностью практической деятельности. Широкие возможности для этого предоставляет вариативный компонент основной образовательной программы, однако он не реализует свой потенциал в качестве средства совершенствования подготовки по физике в целом и формированию у студентов умений в области математического моделирования в частности.

Процесс обучения физике в техническом вузе мы рассматриваем как методическую систему, включающую в качестве компонентов цели и задачи, содержание, методы, организационные формы и средства обучения, представлена разработанная в ходе исследования модель методики.

В настоящее время математическое моделирование является чрезвычайно важным методом исследования. Сущность его состоит в замене исходного объекта (процесса) его «образом» – математической моделью – изучение которой дает новую информацию об объекте познания, его закономерностях. Математические модели не только позволяют давать количественное описание изучаемых явлений и прогнозировать их дальнейшее развитие, но и дают указание, предписывают экспериментаторам, что следует наблюдать и какие эксперименты ставить, если только предложенная математическая модель удовлетворительна. При математическом моделировании модель будет представлять совокупность математических выражений, логически связанных между собой, т. е. математическая модель есть приближенное количественное описание функционирования системы в определенных условиях и при принятых допущениях, выраженное при помощи математической символики. Под *математической моделью* будем понимать некоторую математическую структуру, соответствующую реальному прототипу и заменяющему его в познавательных или информационных процессах. Классическими методами построения математических моделей в настоящее время принято считать методы, где используются объективные законы естествознания, выраженные в форме дифференциальных, разностных, интегральных, алгебраических уравнений и неравенств, логических и функциональных соотношений [3].

Математическое моделирование обладает следующими характерными особенностями:

- дополняет традиционные классические методы исследования, позволяя получать надежное, хотя и эмпирическое знание по интересующей проблеме за более короткое время и менее дорогостоящим образом, чем при использовании классических методов;

- определяет общую перспективу экспериментального исследования явления или процесса. Совместно с натурными экспериментами, оно способствует правильной интерпретации тончайших опытов, уточнению результатов измерений и позволяет наиболее эффективно определять направление последующих исследований;

- позволяет получить информацию об объектах и процессах, вообще недоступных для исследования методами натурального эксперимента.

Применение математического моделирования при обучении физике студентов технических вузов, направленное на формирование профессиональных умений, основано на интеграции физических, математических и технических теорий [4] (табл. 2).

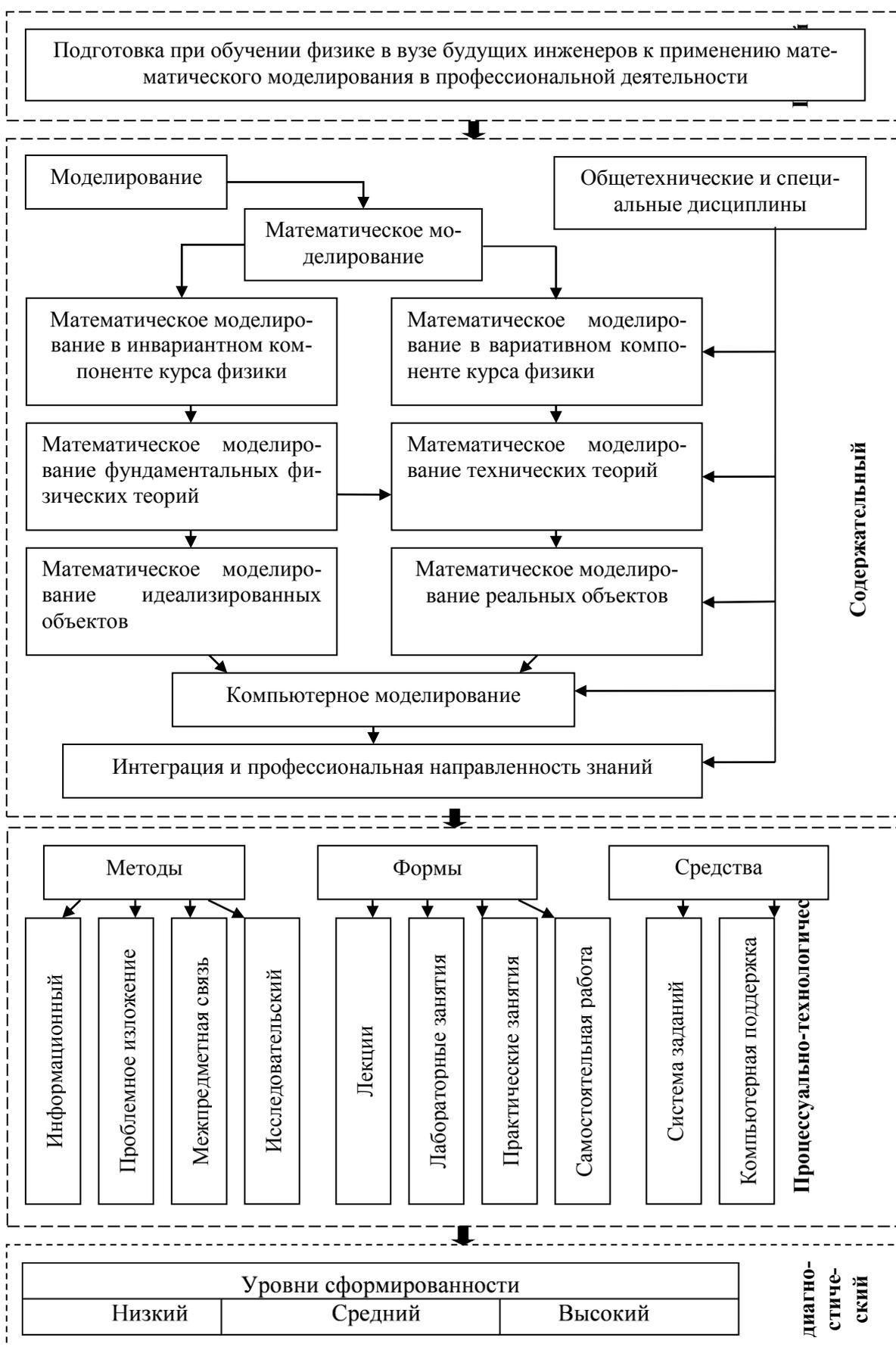
Модель (рис.1) методики подготовки будущих инженеров к применению математического моделирования при обучении физике состоит из мотивационно-целевого, содержательного, процессуально-технологического и диагностического компонентов.

*Мотивационно-целевой компонент* модели включает иерархию целей, главная из которых – сформировать у студентов умения выполнять математическое моделирование технологических процессов при решении физических задач с профессиональным содержанием. Частными (специфическими) целями являются создание научной базы студента для изучения общетехнических и специальных дисциплин; повышение уровня фундаментальной подготовки студентов и укрепление навыков применения математического моделирования при решении профессиональной деятельности.

Таблица 2

**Взаимосвязи математических, физических и технических теорий**

№	Темы	Математические теории	Технические теории
1	Кинематика	Дифференциальное исчисление, производные функции, аналитическая геометрия	Теория надежности и долговечности машин и механизмов, теория механизмов и машин, детали машин и основы конструирования
2	Динамика	Аналитическая геометрия, дифференциальные уравнения, интегральное исчисление	Теория надежности и долговечности машин и механизмов, теория механизмов и машин, детали машин и основы конструирования
3	Релятивистская механика	Производные функции, интегральное исчисление, векторная алгебра	Технология и технологические процессы, теория резания, теория пластичности, теория упругости
4	Механика твердого тела	Теория функции комплексной переменной, интегральное исчисление	Теория механизмов и машин, теория надежности и долговечности машин и механизмов, теория дислокации, теория резания, теория пластичности, технология и технологические процессы
5	Механика жидкостей и газов	Интегральное исчисление, векторная алгебра, теория вероятностей	Теория механизмов и машин, детали машин и основы конструирования, теория гидропривода, теория дислокации, технология и технологические процессы
6	Молекулярно – кинетическая теория вещества, термодинамика	Дифференциальные уравнения, элементы теории поля, интегральное исчисление	Детали машин и основы конструирования, теория гидропривода, теория резания, теория пластичности
7	Статистическая физика	Векторная алгебра, интегральное исчисление	Технология и технологические процессы, теория пластичности, электроника



**Рис. 1.** Модель методики подготовки при обучении физике в вузе будущих инженеров к применению математического моделирования в профессиональной деятельности

*Содержательный компонент* определяет содержание учебного материала по физике, при изучении которого у студентов формируются умения применять математическое моделирование. В соответствии с этим отбирается такой учебный материал, при изучении которого целесообразно использовать математическое моделирование. При этом основополагающими дидактическими принципами выступают принципы научности, системности, доступности, последовательности и др.

Содержание физического образования включает базовый (инвариантный) и профильный (вариативный) компоненты, где базовый (инвариантный) компонент содержит фундаментальные знания – физические законы, понятия, научные теории, а профильный (вариативный) профессионально направленный – посвящен формированию знаний и умений применять физические законы и математическое моделирование при решении профессиональных задач.

Содержание инвариантного компонента курса физики в достаточной степени математизировано и абстрагировано. Фундаментальные физические теории выражают существенные черты физических объектов или процессов языком уравнений и других математических средств. Фундаментальные физические законы математически смоделированы для абстрактных объектов, и их применение при решении физических задач дает приближенный результат, так как каждый закон имеет свои границы применимости. Таким образом, применение фундаментальных физических законов в «чистом» виде при расчете инженерных задач чревато большой погрешностью в результатах для инженера, что недопустимо в профессиональной деятельности.

Вариативный компонент курса физики предполагает создание научной базы для изучения общетехнических и специальных дисциплин, фундаментом которых являются физические законы и явления. Применяя фундаментальные физические законы в технических теориях, необходимо провести их дальнейшее моделирование, учитывая все физические параметры. Физические законы преобразуются в зависимости от существенных свойств исследуемого объекта или процесса.

При отборе содержания курса физики для студентов технических вузов в рамках вариативного компонента учебного плана предлагаем придерживаться следующей последовательности действий:

1. Отобрать технологии и технологические процессы, связанные с профессиональной деятельностью инженера.
2. Определить как фундаментальные, так и частные физические законы, лежащие в основе технологического процесса.
3. Переформулировать инженерную задачу и представить ее как физическую задачу с профессиональным содержанием, максимально приближенным к реальным производственным условиям.

4. С учетом конкретных параметров реального объекта (процесса) построить математическую модель объекта (процесса), в основе которой лежит физический закон.

Таким образом, в содержании курса физики в рамках вариативного компонента рассматриваются задачи, в основе которых лежит технология, технологический объект или процесс, анализ которых требует применение метода математического моделирования.

В деятельности математического моделирования, которой обучают студентов, выделено шесть этапов:

I этап. *Постановка проблемы и ее качественный анализ* – на этом этапе определяется круг физических процессов и явлений, которые предстоит моделировать. Также определяются цели моделирования, т.е. формулируются вопросы, на которые мы в процессе моделирования хотим получить ответы.

II этап. *Формализация* – на этом этапе осуществляется переход от практической задачи, которую предстоит решить, к построению физической модели, а затем ее математической модели.

III этап. *Реализация* – на основании математической модели, построенной на предыдущем этапе, выбирается метод ее исследования, т.е. проводится аналитическое решение задачи внутри математической модели, либо разрабатывается алгоритм решения задачи на компьютере (применение компьютера позволяет более подробно и глубоко изучать объекты в достаточной полноте, недоступной чисто теоретическим подходом).

IV этап. *Интерпретация* – полученное решение математической задачи переводится на язык исходной физической задачи.

V этап. *Проверка адекватности модели* – на этом этапе выясняется, согласуются ли результаты эксперимента с теоретическими следствиями из модели в пределах определенной точности.

VI этап. *Модификация модели* – на этом этапе происходит корректировка модели (либо усложнение модели, чтобы она была более адекватной действительности, либо ее упрощение ради достижения практически приемлемого решения).

Основные этапы математического моделирования представлены на рис. 2.



**Рис. 2.** Основные этапы математического моделирования

Цели обучения и содержание курса физики с применением математического моделирования для технических вузов реализуются в учебном процессе в рамках *процессуально – технологического компонента* модели. Он включает методы, формы и средства обучения. Принцип интеграции фундаментальных, профессионально-направленных и математических знаний и умений реализуется в методах обучения. Наряду с такими методами, как информационно-иллюстративный и репродуктивный, применяются частично-поисковый, проблемный и исследовательский.

В прямой зависимости от содержания и методов обучения находятся формы обучения. В качестве формы организации нами были выбраны практические, лабораторные занятия и самостоятельная работа.

Методы и формы организации учебного процесса реализуются с помощью специально разработанных дидактических средств. Нами предложена система заданий, включающая как задания к практическим и лабораторным занятиям, так и задания для выполнения самостоятельной работы.

*Результативно-диагностический* компонент модели методики предполагает диагностику уровня сформированности умения выполнять математи-

ческое моделирование технологических процессов при решении физических задач с профессиональным содержанием. Он реализуется через систему задач к практическим и лабораторным занятиям, инструкций к написанию курсовых работ, тестов, анкет, проверяющих готовность будущих инженеров к применению математического моделирования и умений математически моделировать физические процессы в профессиональной деятельности.

Таким образом, в результате выполненных исследований нами представлены теоретические основы построения методики подготовки при обучении физике в вузе будущих инженеров к применению математического моделирования в профессиональной деятельности оказывающих влияние на цели, содержание, методы, формы и средства обучения.

### Литература

1. Масленникова, Л. В. Взаимосвязь фундаментальности и профессиональной направленности в подготовке по физике инженерных кадров / Л. В. Масленникова. – М. : МПГУ, 1999. – 148 с.
2. Масленникова, Л. В. Особенности структурирования естественнонаучных дисциплин в техническом вузе (на примере физики и теоретической механики): монография / Л. В. Масленникова, Т. В. Корнилова, Ю. Г. Родиошкина, О. А. Арюкова; под ред. Э. В. Майкова. – Самара: СамГУПС, 2011. – 216 с.
3. Арюкова, О. А. Реализация математического моделирования в курсе физики высших технических школ / О. А. Арюкова // Вестник Башкирского государственного университета. – 2009. – Т. 14. – № 3. – С. 994–997.
4. Масленникова, Л. В. Математическое моделирование как основа вариативного компонента курса физики в техническом вузе / Л. В. Масленникова, Ю. Г. Родиошкина // учебный эксперимент в образовании. – 2011. – № 4. – С. 25–33.

УДК 378.162

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОГО КОМПЛЕКСА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПО ФИЗИКЕ

**А. Ю. Казаков, А. В. Костюнин, Т. В. Ляпина**

*ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»,  
г. Пенза, Российская Федерация*

Разработана простая конструкция и реализован учебный замкнутый телевизионный комплекс (УЗТК) на основе цветной цифровой купольной камеры внутреннего наблюдения. Рассмотрены возможности использования УЗТК в физических экспериментах и выявлены преимущества предлагаемой методики.

*Ключевые слова и фразы:* учебный замкнутый телевизионный комплекс, цифровая камера, физический эксперимент.

Совершенствование компьютерных технологий позволило сохранять различные виды информации, воспроизводимые отдельными устройствами, в едином цифровом коде. Современные тенденции развития информационных технологий диктуют необходимость расширения форм и методов обучения за счет широкого использования современных электронных информационно-коммуникативных подходов. Соединение потоков информации разной модальности (звук, текст, графика, видео) в одном средстве поставило комплекс проблем в плане достижения наибольшего педагогического эффекта путем сочетания традиционных текстовых, мультимедийных и интерактивных возможностей. Авторы современных мультимедийных интерактивных сред утверждают, что учебное телевидение утратило свою значимость из-за отсутствия интерактивности и пассивного восприятия информации с экрана. Современные педагогические технологии требуют большей мобильности во временном и содержательном аспектах. Следует отметить, что тезис об «отставании» средств телевидения по сравнению с компьютерным способом представления информации из-за отсутствия у первого интерактивного режима, с нашей точки зрения, некорректен.

Преимущества интерактивного режима проявляются при удаленном доступе, когда специально организованный источник информации и потребитель (пользователь) удалены друг от друга. Естественно, что такой режим легко обеспечить и при непосредственном контакте «источник – пользователь». Действительно, при использовании учебных и общеобразовательных материалов в формате отдельных фрагментов (фильмов, передач), подготовленных и представленных с помощью телевизионных средств или компьютерных сетей, невозможно обеспечить интерактивный режим, однако такие материалы широко используются. Опыт создания учебных телевизионных передач и учебных видеоматериалов, использующих особые возможности экранных искусств в управлении учебной деятельностью, актуален и имеет высокий потенциал при создании мультимедийных компонентов электронных образовательных материалов.

Постановка учебного телевидения на новую материально-техническую доступную базу явилось задачей нашего исследования. В настоящее время популярность набирают документ-камеры, которые после первого знакомства с ними учителей становятся столь необходимыми, как мел и доска. Документ-камеры – особый класс устройств, предназначенных для передачи реальных изображений страниц учебников или тетрадей, иллюстраций или нарисованных схем, трехмерных предметов или препаратов с микроскопа на телевизор, монитор или через видеопроектор на большой экран. Последняя возможность представляется наиболее полезной при проведении школьного урока, учебного занятия, когда преподавателю необходимо оперативно донести до всей аудитории некую визуальную информацию.

Документ-камера – наиболее универсальный прибор из презентационной аппаратуры, применяемой в настоящее время в образовательных учреждениях. Это одновременно проектор (кодоскоп), сканер и видеокамера. Из-

делие может работать автономно, заменяя собой упомянутые инструменты. Обладая встроенной памятью, камера позволяет запоминать изображения объектов и отображать их позднее, когда сам объект уже отсутствует. Некоторые модели оснащены встроенным устройством записи на сменные флеш-карты памяти и «увиденные» однажды изображения можно сохранить в архиве или перенести на другое устройство. Ранее полученное изображение (например, снятое цифровым фотоаппаратом) легко считать с карты и с помощью документ-камеры отобразить через проектор. Камера, соединенная с компьютером посредством выхода для USB, становится составной частью рабочего места преподавателя. При этом возможности ее весьма расширяются за счет прилагаемого программного обеспечения. В таком режиме она выполняет функции сканера с возможностью получения изображений объемных предметов или интернет-камеры с передачей «живого» видео в удаленные аудитории [1]. Устройство становится эффективным инструментом для дистанционных методов обучения. Преподаватели, которые активно применяют современные средства обучения, подтверждают, что документ-камера – это действительно необходимый инструмент современного образовательного процесса. Существуют различные вариации документ-камер, отличающихся друг от друга функциональностью и ценой. Высокая цена является главным «недостатком» этих камер.

Нами создан учебный замкнутый телевизионный комплекс (УЗТК), который состоит из цветной цифровой купольной камеры внутреннего наблюдения модели NOVIcam 98H с варифокальным объективом 2.8~12 мм, импульсного блока питания Spezvision PSU-12-3P DC Output 12 V 3A, переходника BNC, RCA кабеля композитного видео и телевизора [2; 3]. Средняя стоимость необходимого оборудования (кроме телевизора) в несколько раз меньше цены документ-камеры.

Приведем полное описание комплектации предлагаемого УЗТК.

1. Цветная цифровая купольная камера внутреннего наблюдения модели NOVIcam 98H.



**Рис. 1.** Цифровая купольная камера внутреннего наблюдения модели NOVIcam 98H

Особенности данной камеры: 3D вращение камеры в корпусе и встроенный кронштейн с трехмерной степенью свободы, высококачественное видео, сменный объектив, автоматический электронный затвор, матрица CCD, автоматический баланс белого, автоматический режим день/ночь, зеркальное отображение, компенсация задней засветки, DIP-переключатель (BLC, AGC, AES, Mirror), высокоэффективное шумоподавление, сверхнизкое энергопотребление, широкий диапазон входного напряжения 9–15 В, профессиональный варифокальный объектив 2,8 ~ 12 мм.

2. Импульсный блок питания Spezvision PSU-12-3P. AC INPUT 110/220 VDC OUTPUT 12 V 3A.

3. RCA кабель композитного видео: 2 x RCA- 2 x RCA OD2. 6x 5.2 мм.

4. Переходник BNC.

5. Телевизор с RCA входом.

При установке камеры на демонстрационном столе можно менять направление угла обзора, поворачивать камеру вправо-влево (панорамирование) и наклонять вверх-вниз. При панорамировании камера может вращаться на 355° (100° по часовой и 255° против часовой стрелки – движение ограничивается фиксаторами внутри камеры). Для изменения положения камеры в горизонтальной плоскости нужно ослабить два винта в основании камеры, изменить расположение и зафиксировать камеру с помощью винтов. При изменении наклона камеры угол может изменяться от 0° до 90°. Если угол наклона меньше 17°, может произойти частичное перекрытие изображения кожухом и куполом камеры. Для регулировки фокусного расстояния и ZOOM используют соответствующие рукоятки настройки на объективе.

Для подключения камеры к телевизору необходимо присутствие разъема RCA или SCART на подключаемом телевизоре для подключения соединительным кабелем RCA (Composite) видеокамеры.

Для подключения камеры к компьютеру необходимы устройства ввода видеоинформации. Наиболее популярными являются видеокарты с TV-входом (типичный пример – серии ASUS Deluxe и ATI All-In-One Wonder); карты TV-тюнера, практически всегда имеющие вход для видео захвата; специализированные карты видео захвата, которые могут быть самостоятельным устройством или дочерней платой, дополняющей видеокарту.

В качестве программного обеспечения захвата видео можно использовать как программы, поставляемые с видеокартой (ASUS Live, ASUS Digital VCR, ATI Multimedia Center), так и программы для записи и редактирования видео (ULead Media Studio, Adobe Premiere). В опциях программного обеспечения необходимо настроить тип используемого входа (Composite), стандарт видео NTSC/PAL/SECAM (большинство продаваемых в России видеокамер работают в стандарте PAL), разрешение, алгоритм и степень сжатия (от этих трех параметров зависит размер файла и качество изображения).

Поскольку видеофайлы занимают много места на жестком диске, а запись с хорошим качеством требует помимо этого и высокой скорости записи,

понадобится большой и быстрый жесткий диск. При этом предпочтительнее записывать видео на отдельный физический диск, что исключает возможные помехи при обращении системы к swar-файлу.

Если используется специализированная карты видеозахвата с собственным аудио трактом, то понадобится звуковая карта для ввода в компьютер звукового сопровождения видеоролика.

Проводимые в течение последних лет исследования возможности включения УЗТК в учебный процесс по физике позволили выделить следующие основные направления:

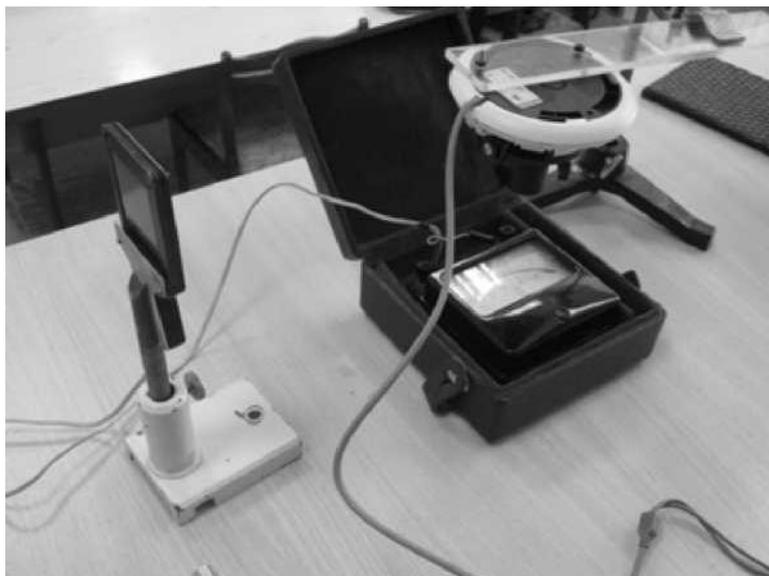
- демонстрационный физический эксперимент;
- демонстрация фрагментов опытов;
- демонстрация микрообъектов и микропроекций.

Известно, что логическое мышление само по себе не может дать никаких знаний о мире фактов: все познание реального мира исходит из опыта и завершается им. Зрительные образы демонстрационных опытов сохраняются в памяти лучше, чем теоретический материал. Они выполняют функции опор, на которых выстраивается учебный материал. Используя демонстрационный эксперимент, мы имеем возможность показать изучаемое явление в педагогически трансформированном виде и тем самым создать наилучшую базу для его изучения. Одни демонстрации позволяют иллюстрировать проявление установленных в науке закономерностей в доступном виде и знакомят с экспериментальным методом изучения физических явлений, другие показывают применение изученных физических явлений в быту и технике, повышают наглядность преподавания и тем самым делают изучаемое явление более доступным для изучения.

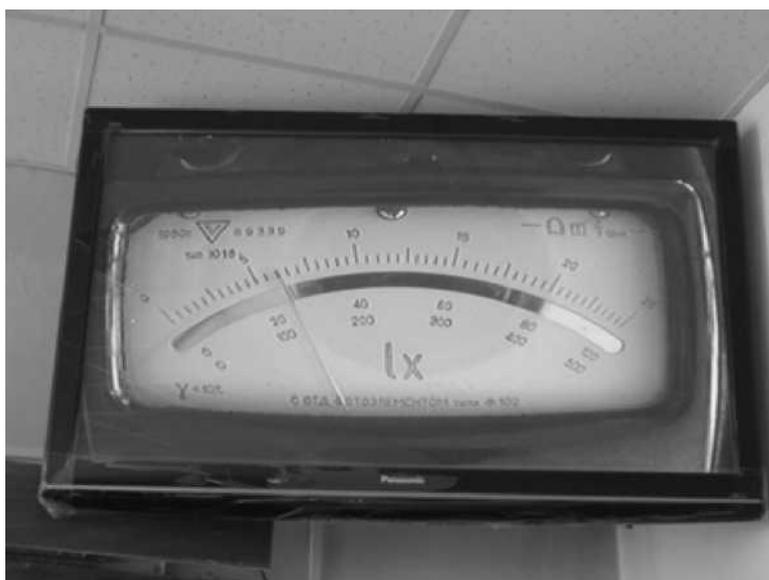
На базе оборудования кафедры общей физики нашего вуза разработана методика использования УЗТК в демонстрационных и лабораторных экспериментах по курсу физики. Эта методика включает список необходимого оборудования, схему установки с указанием положения видеокамеры, описание опыта. Фото наиболее интересных экспериментов представлены на рис. 2–5.



**Рис. 2.** Демонстрация образования капли



**Рис. 3.** Демонстрация динамики физических величин, отображаемых с помощью датчиков и измерительных приборов



**Рис. 4.** Изображение шкалы на экране телевизора

Микропроекция в предлагаемом варианте технически реализуется следующим образом: объектив видеокамеры удаляется и камера закрепляется на тубусе микроскопа так, чтобы световые лучи, прошедшие от объектива микроскопа, падали на матрицу видеокамеры. Видеокамеру можно закрепить на тубусе микроскопа вместо удаленного окуляра. При снятом объективе матрица камеры совмещается с избранным сечением светового потока и позволяет демонстрировать фрагменты светового поля размером 100 микрон и более. Полученное изображение может занимать весь телевизионный экран.



**Рис. 5.** Установка для демонстрации микро проекции

Эффективно использование УЗТК для демонстрации следующих экспериментов: измерение размеров малых тел; исследование давления твердого тела на опору; исследование зависимости силы упругости от удлинения пружины и измерение жесткости пружины; качественное описание процесса неупругого соударения шаров, подвешенных на нитях; изучение поверхностного натяжения жидкости; кипение жидкости, образование пузырьков, кипение воды при комнатной температуре; адиабатный процесс, демонстрация давления газов; параллельное и последовательное соединение проводников, наблюдение силовых линий электромагнитного поля; наблюдение сплошного и линейчатых спектров испускания; интерференция в тонких пленках; демонстрация колец Ньютона; дифракция света на тонкой нити, на дифракционной решетке; поляризация света; применение поляроидов для изучения механических напряжений в деталях конструкций; зоны Френеля (дифракция света); пятно Пуассона; модуляция лазерного излучения на гигагерцовых частотах (10–500 Гц); усиление света активной средой (отрицательное поглощение); длина пробега  $\alpha$ -частиц в воздухе методом сцинтилляций; обращение фазы при прохождении света через фокус линзы; фазовые соотношения при отражении света от границы раздела сред; давление света.

Проведенные с помощью УЗТК эксперименты убедительны своей объективностью и реальностью, выразительны своей образностью, экономны по затратам учебного времени.

### Литература

1. Широких, А. Самые инновационные устройства по версии labm / А. Широких // Техника кино и телевидения. – 2008. – № 9(603). – С. 24–26.
2. Казаков, А. Ю. Использование телекомплекса (компьютер + TV) для лекционного эксперимента / А. Ю. Казаков, Р. В. Зайцев, А. В. Костюнин, Т. В. Ляпина // Учебный физический эксперимент : Актуальные проблемы. Современные решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. – Глазов : ГППИ, 2011. – С. 34.
3. Казаков, А. Ю. Возможности применения телевидения в учебном процессе / А. Ю. Казаков, Н. В. Паскевич, А. В. Костюнин, Т. В. Ляпина // Актуальные проблемы обучения математике, физике и информатике в школе и вузе : материалы II Межрегионал. науч.-практ. конф. учителей – Пенза, 2011. – Ч. 1. – С. 182–184.

УДК 001.891

## ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ «ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ»

**Т. В. Кормилицына**

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт  
им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

Обсуждается научно-исследовательская работа студентов в рамках исследовательской лаборатории по проведению имитационных экспериментов и настраиванию имитационных моделей.

*Ключевые слова и фразы:* эксперимент, компьютер, моделирование, исследовательская работа.

Проект «Исследовательская лаборатория Физические процессы и математическое моделирование» (далее ИЛ ФПММ) является одним из проектов в рамках реализации Программы развития деятельности студенческих объединений ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева» «В единстве наша сила и успех!», а также структурной единицей организации учебно-исследовательской и научно-исследовательской работы студентов на физико-математическом факультете МордГПИ им. М. Е. Евсевьева.

Целью Программы развития является совершенствование системы студенческого самоуправления МордГПИ, направленной на формирование профессионально-компетентностной и всесторонне развитой творческой личности студента с активной жизненной позицией; создание условий, способствующих самореализации студента в творческой, научной и профессиональной сферах, и решению вопросов в различных областях студенческой жизни.

Организация работы в ИЛ ФПММ предусматривает проведение и разработку проблемной темы индивидуальных и коллективных научных исследований студентов под контролем научных руководителей и консультантов.

Основные цели ИЛ ФПММ:

- привлечение студентов к активной научно-исследовательской работе;
- повышение уровня образовательной подготовки студентов;
- создание студенческой экспериментальной исследовательской платформы на базе лабораторий кафедры физики и методики обучения физике и кафедры математики.

Основные задачи ИЛ ФПММ:

- формирование системы научных взглядов студентов;
- проведение поисковых научно-исследовательских работ в лабораториях факультета;
- использование лабораторий факультета для осуществления методической поддержки организации и проведения исследовательских работ учащихся общеобразовательных учебных заведений;
- апробация результатов исследований на экспериментальных площадках;
- организация кружковой и исследовательской работы с учащимися общеобразовательных учебных заведений Республики Мордовия;
- участие в научных и научно-практических семинарах, конференциях, круглых столах, олимпиадах, конкурсах и других мероприятиях различного уровня;
- подготовка тезисов, статей, материалов студенческих исследований по итогам работы ИЛ ФПММ к публикации в сборниках научных работ;
- внедрение средств цифровой регистрации информации, получаемой при экспериментальных исследованиях и алгоритмов ее последующей обработки;
- развитие инициативы студентов в научно-исследовательском творчестве;
- привлечение к конкретной научной работе наиболее способных студентов, развитие их научного потенциала с целью формирования мотивации к дальнейшему обучению в системе послевузовского образования (аспирантура и соискательство);
- организация обсуждения актуальных проблем по избранной тематике научных исследований в рамках проблемных семинаров, выступлений с докладами и сообщениями на внутривузовских и межвузовских научных конференциях.

В качестве методов реализации мероприятия укажем следующие:

- проведение поисковых научно-исследовательских работ в лабораториях факультета;

- внедрение средств цифровой регистрации информации, получаемой при экспериментальных исследованиях и алгоритмов ее последующей обработки;
- использование лабораторий факультета для осуществления методической поддержки организации и проведения исследовательских работ учащихся общеобразовательных учебных заведений;
- апробация результатов исследований на экспериментальных площадках;
- организация кружковой и исследовательской работы с учащимися общеобразовательных учебных заведений РМ;
- участие в научных и научно-практических семинарах, конференциях, круглых столах, олимпиадах, конкурсах и других мероприятиях различного уровня;
- публикация результатов научных исследований.

Созданию лаборатории предшествовала соответствующая деятельность: проведена запись студентов, желающих заниматься моделированием и проведено вводное занятие группы. После занятия сформировано основное подразделение лаборатории – учебно-исследовательская группа студентов.

В целях изучения проблемы использования специального программного обеспечения в исследованиях студентов было проведено анкетирование студентов, которое выявило достаточный интерес к проблеме и стремление студентов применять специализированные программные средства для моделирования в исследовательской работе.

Мероприятие «Мастер-класс «Организация вычислительных экспериментов в программном обеспечении» организовано силами участников исследовательской лаборатории – студентами 2 курса специальности «Физика» с дополнительной специальностью «Информатика» и студентами 4 курса специальности «Информатика» с дополнительной специальностью «Математика». При проведении мастер-класса «Организация вычислительных экспериментов в программном обеспечении» решались различные задачи: популяризация специальных программных сред для научной работы студентов, демонстрация возможностей таких программ, выполнение участниками мероприятия практических задач и как следствие – вовлечение в научно-исследовательскую работу студентов физико-математического факультета. В дальнейшем предполагается проведение подобных мероприятий для студентов других факультетов.

Презентация исследовательских работ «Моделирование в системах символической математики» позволила выявить наиболее активных участников исследовательской лаборатории и способствовала обмену опытом по организации и проведению вычислительных экспериментов.

В целях привлечения абитуриентов и модернизации профориентационной работы студенты – члены исследовательской лаборатории в рамках прохождения педагогической практики организовали экскурсию в лабораторию

нанотехнологий. В целях развития и функционирования лаборатории продолжается работа по созданию и сопровождению сайта лаборатории.

Следует особо обсудить программное обеспечение, используемое в исследовательской работе студентов.

Scilab – пакет прикладных математических программ, предоставляющий мощное открытое окружение для инженерных (технических) и научных расчетов. С 1994 года распространяется вместе с исходным кодом через Интернет. В 2003 году для поддержки Scilab был создан консорциум Scilab Consortium. Сейчас в него входят 25 участников, в том числе Mandriva, INRIA и ENPC (Франция). В системе доступно множество инструментов: 2D и 3D графики, анимация, линейная алгебра, разреженные матрицы (sparse matrices), полиномиальные и рациональные функции, интерполяция, аппроксимация, симуляция: решение дифференциальных уравнений.

Scilab позволяет работать с элементарными и большим числом специальных функций (Бесселя, Неймана, интегральные функции); имеет мощные средства работы с матрицами, полиномами; возможность производить численные вычисления (например, численное интегрирование) и решение задач линейной алгебры, оптимизации и симуляции; мощные статистические функции; а также средство для построения графиков и работы с ними.

Для численных расчетов используются библиотеки Arpack, LINPACK, ODEPACK, Atlas и другие.

В состав пакета также входит Scicos – инструмент для редактирования блочных диаграмм и симуляции (аналог Simulink в пакете MATLAB). Имеется возможность совместной работы Scilab с программой LabVIEW.

Система представляет обширные возможности для имитационного моделирования и проведения виртуальных экспериментов [1–7].

В качестве примера эксперимента рассмотрим движение шарика по вогнутой поверхности, математическую модель этого процесса изучает неголономная механика.

Данная математическая модель может быть реализована в различных программных средах, особенно эффектно ее можно выполнить в системе Scilab [1; 2]. Система имеет обширный банк встроенных алгоритмов для имитационного моделирования.

Участники исследовательской группы рассмотрели имитационные модели движения материальной точки по сферической и цилиндрической поверхностям, приведенные в качестве примера в разделе «Моделирование» системы Scilab, в пункте «Имитация движений» («Flow simulation», «Cylinder», «Sphere») рассматриваемой системы, и провели имитационные эксперименты для критических значений параметров.

Банк моделей можно вызвать в разделе *Справка – Примеры* (рис. 1):

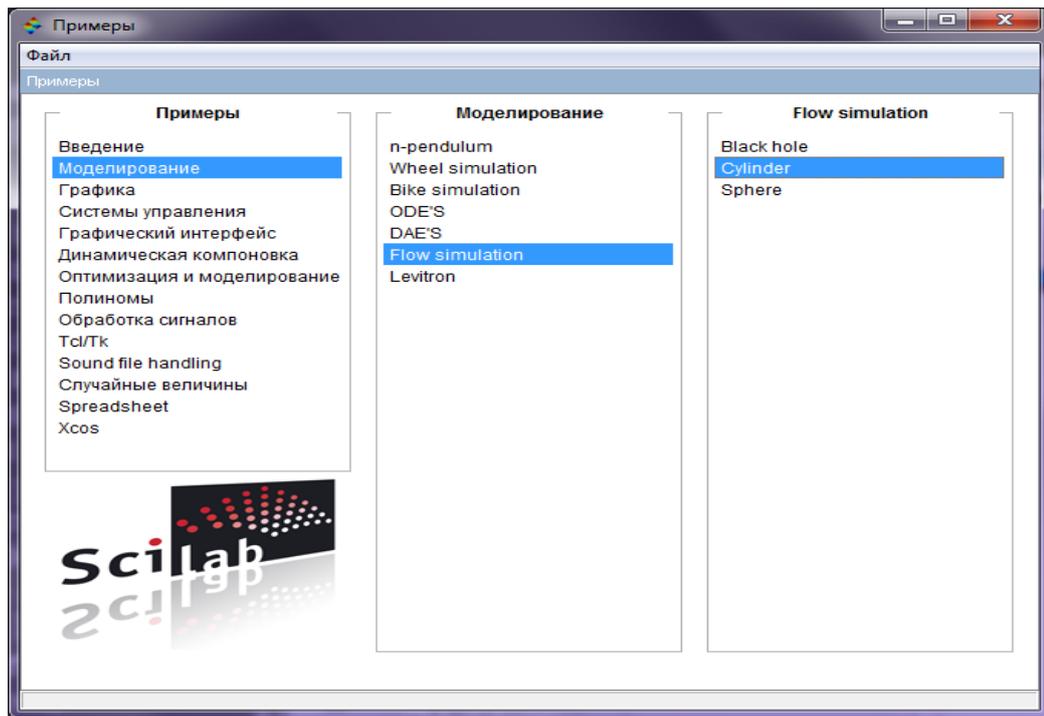


Рис. 1. Вид командного окна системы Scilab

Окно имитационного эксперимента с моделью ««Sphere»» приведено на рис. 2.

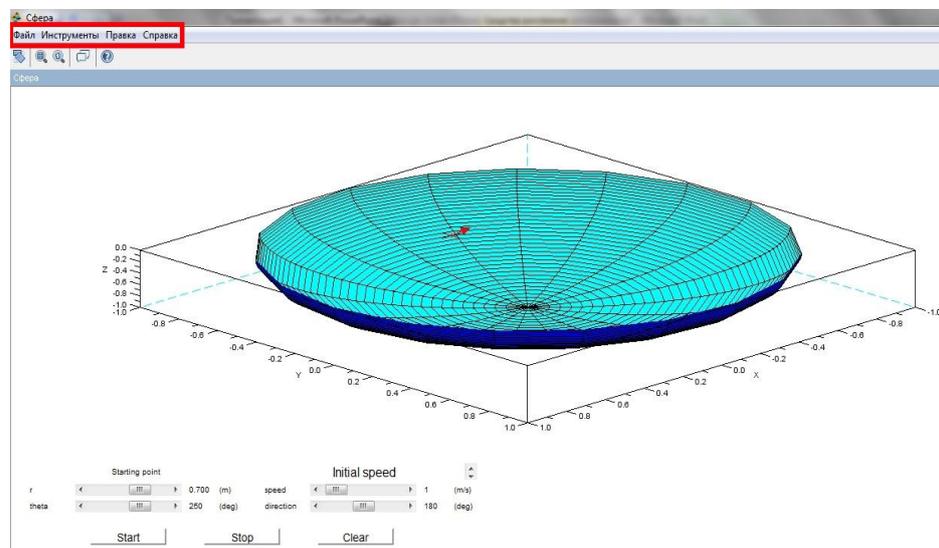


Рис. 2. Начальный портрет модели «Sphere»

Пользуясь возможностью настройки параметров имитационного эксперимента, студенты исследовали критические ситуации с особыми значениями параметров. Проведение имитационного эксперимента для исследования механических систем в системе Scilab представляет для исследователя большие возможности и позволяет исследовать поведение систем для заданных параметрах, что в натурном эксперименте не всегда возможно.

Итогом работы студентов в ИЛ ФПММ являются:

- выступление с научным докладом или сообщением, представленное на факультетскую, внутривузовскую, межвузовскую конференции;
- материалы научного исследования в форме тезисов, статей, материалов, представленных к публикации или участию в конкурсе научно-исследовательских и творческих работ молодежи.

### Литература

1. Кормилицына, Т. В. Вычислительный эксперимент и компьютерные модели в свободном программном обеспечении / Т. В. Кормилицына // Учебный эксперимент в образовании. – 2010. – № 1. – С. 18–22.
2. Кормилицына, Т. В. Методы имитационного моделирования в специализированных математических системах / Т. В. Кормилицына // Некоторые актуальные проблемы современной математики и математического образования. Герценовские чтения : материалы науч. конф., 11–16 апр. 2011. – СПб. : ПаркКом, 2011. – С. 185–187.
3. Кормилицына, Т. В. Методы организации виртуальных физических экспериментов в программном обеспечении / Т. В. Кормилицына // Учебный эксперимент в образовании. – 2011. – № 1. – С. 36–39.
4. Кормилицына, Т. В. Построение компьютерных моделей для учебных экспериментов / Т. В. Кормилицына // Учебный эксперимент в образовании. – 2011. – № 2. – С. 44–49.
5. Кормилицына, Т. В. Виртуальные эксперименты в специализированных математических системах / Т. В. Кормилицына // Учебный эксперимент в образовании. – 2011. – № 2. – С. 33–40.
6. Кормилицына, Т. В. Сравнительный анализ результатов вычислительного эксперимента в различных программных средах / Т. В. Кормилицына // Учебный эксперимент в образовании. – 2012. – № 1. – С. 41–47.
7. Кормилицына, Т. В. Моделирование физических процессов в специализированных программных средствах / Т. В. Кормилицына // Учебный эксперимент в образовании. – 2012. – № 2. – С. 84–89.

УДК 378

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ. СИЛА ЛОРЕНЦА»

**Х. Х. Абушкин**

*ФБГОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт  
им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

Рассматривается использование сетевой версии программы «Открытая физика» при изучении в профильных классах общеобразовательной школы темы «Движение заряженной частицы в магнитном поле. Сила Лоренца». Основное внимание уделено использованию компьютерного эксперимента и компьютерных технологий.

*Ключевые слова и фразы:* информационно-коммуникационные технологии, средства обучения, мышление, компьютерный эксперимент, движение электрически заряженных частиц в магнитном поле, циклотрон, масс-спектрометр, учебный процесс.

Основная цель применения информационно-коммуникационных технологий как эффективного средства обучения физике – создание активной познавательной среды, необходимой для диалога учителя с учащимися. Все должно быть построено не на заучивании, а на активной самостоятельной учебной деятельности, нестандартности решений [1]. Применение ИКТ оживляет восприятие учащимися материала, прививает интерес к изучению предмета, позволяет развивать творческие способности учащихся. Компьютерные материалы – необходимая часть единого комплекса средств обучения, который учитель может дополнять, модернизировать, варьировать способы применения.

Преимущества включения компьютерных технологий, по сравнению с традиционными, многообразны. К ним, кроме возможности более наглядного представления материала, что способствует развитию и образного, и логического мышления, кроме эффективной проверки знаний, можно отнести и многообразие организационных форм работы учащихся, методических приемов [2].

При изучении темы «Движение заряженной частицы в магнитном поле. Сила Лоренца» мы используем компьютерный класс и сетевую версию программы «Открытая физика». Изучаемый материал обладает рядом особенностей: во-первых, он достаточно абстрактный и трудный для понимания учащимися; во-вторых, при изучении материала затруднено использование натурального демонстрационного эксперимента.

При изучении темы на протяжении всего урока мы активно используем компьютерный эксперимент.

На первом этапе проводим актуализацию имеющихся у учащихся знаний [1]. Им известно, что сила Ампера  $F$ , действующая на отрезок проводника длиной  $\Delta l$  с силой тока  $I$ , находящийся в магнитном поле с индукцией  $B$  определяется формулой:

$$F = IB\Delta l \sin \alpha , \quad (1).$$

Поскольку в проводнике с током упорядоченно движется совокупность зарядов, то эта сила может быть выражена через силы, действующие на отдельные носители заряда. Формулу, позволяющую определить эту силу, можно получить из следующих соображений.

Пусть концентрация носителей свободного заряда в проводнике есть  $n$ , а  $q$  – заряд носителя. Тогда произведение  $nqvS$ , где  $v$  – модуль скорости упорядоченного движения носителей по проводнику, а  $S$  – площадь поперечного сечения проводника, равно току, текущему по проводнику:  $I = qnvS$ .

С учетом этого выражение для силы Ампера можно записать в виде:

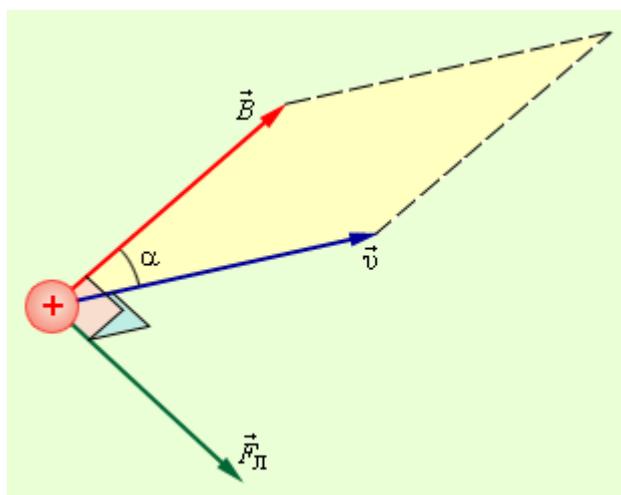
$$F = qnS\Delta l v B \sin \alpha, \quad (2).$$

Так как полное число  $N$  носителей свободного заряда в проводнике длиной  $\Delta l$  и сечением  $S$  равно  $qnS\Delta l$ , то сила, действующая на одну заряженную частицу, равна:

$$F_L = qvB \sin \alpha, \quad (3).$$

Эту силу называют *силой Лоренца*. Угол  $\alpha$  в этом выражении равен углу между скоростью  $v$  и вектором магнитной индукции  $B$ .

Направление силы Лоренца, действующей на положительно заряженную частицу, как и направление силы Ампера, может быть найдено по правилу левой руки или по правилу буравчика. Взаимное расположение векторов  $v$ ,  $B$  и  $F$  для положительно заряженной частицы показано на рис. 1.



**Рис. 1.** Взаимное расположение векторов магнитной индукции  $B$ , скорости частицы  $v$  и силы Лоренца  $F$

Данная схема выводится на дисплеи компьютеров, перед которыми сидят учащиеся.

Опираясь на данный рисунок, вновь повторяем с учащимися правило буравчика и показываем, что сила Лоренца направлена перпендикулярно векторам  $v$  и  $B$ .

При движении заряженной частицы в магнитном поле сила Лоренца работы не совершает и модуль вектора скорости при движении частицы не изменяется.

Если заряженная частица движется в однородном магнитном поле под действием силы Лоренца, а ее скорость  $v$  лежит в плоскости, перпендикулярной вектору  $B$ , то частица будет двигаться по окружности. Сила Лоренца в этом случае играет роль центростремительной силы (рис. 2).

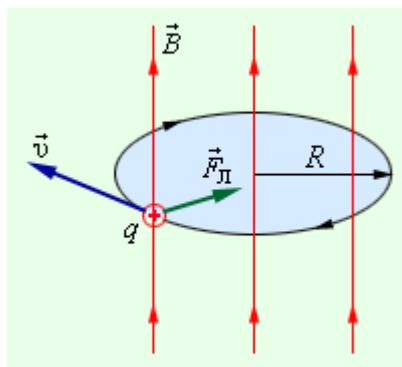


Рис. 2. Сила Лоренца

Угловая скорость движения заряженной частицы по круговой траектории называется *циклотронной частотой*. Циклотронная частота не зависит от скорости (следовательно, и от кинетической энергии) частицы. Это обстоятельство используется в циклотронах – ускорителях тяжелых частиц (протонов, ионов). Принципиальная схема циклотрона приведена на рис. 3.

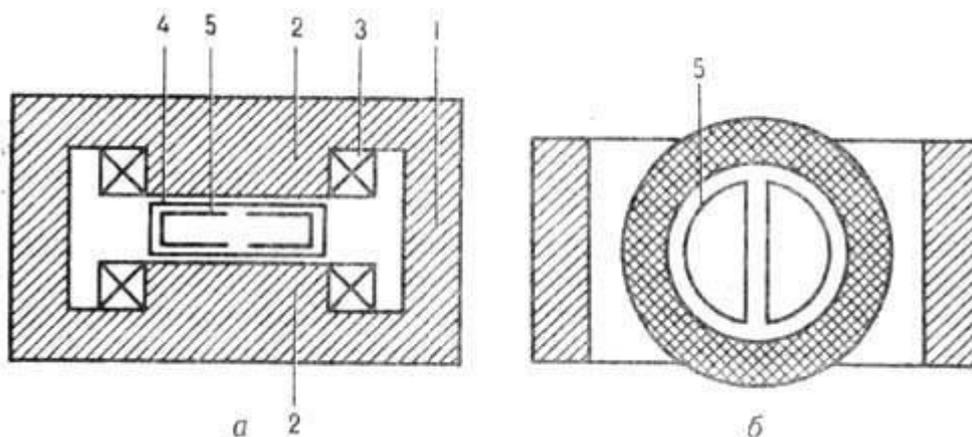


Рис. 3. Принципиальная схема циклотрона: а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – ярмо электромагнита; 2 – полюса электромагнита; 3 – катушки, возбуждающие магнитное поле В; 4 – вакуумная камера; 5 – ускоряющие электроды (дуанты)

Между полюсами сильного электромагнита помещается вакуумная камера, в которой находятся два электрода в виде полых металлических полуцилиндров (дуантов). К дуантам приложено переменное электрическое напряжение, частота которого равна циклотронной частоте. Заряженные частицы инжектируются в центре вакуумной камеры. Частицы ускоряются электрическим полем в промежутке между дуантами. Внутри дуантов частицы движутся под действием силы Лоренца по полуокружностям, радиус которых растет по мере увеличения энергии частиц. Каждый раз, когда частица пролетает через зазор между дуантами, она ускоряется электрическим полем. Таким образом, в циклотроне, как и во всех других ускорителях, заряженная частица ускоряется электрическим полем, а удерживается на траектории маг-

нитным полем. Циклотроны позволяют ускорять протоны до энергии порядка 20 МэВ.

Однородные магнитные поля используются во многих приборах и, в частности, в масс-спектрометрах – устройствах, с помощью которых можно измерять массы заряженных частиц – ионов или ядер различных атомов. Схема выводится на дисплеи компьютеров учащихся. Дальнейшее объяснение работы масс-спектрометра опирается на эту схему (рис. 4).

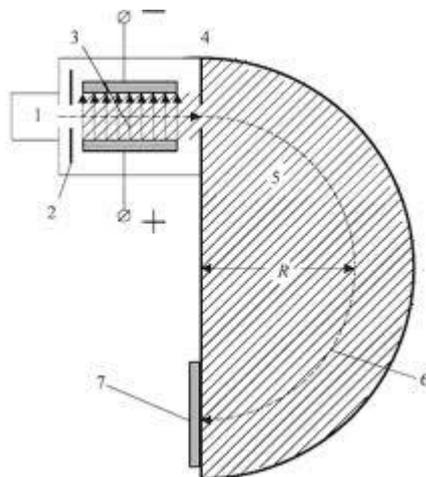


Рис. 4. Принципиальная схема масс-спектрометра

Масс-спектрометры используются для разделения изотопов, то есть ядер атомов с одинаковым зарядом, но разными массами (например,  $^{20}\text{Ne}$  и  $^{22}\text{Ne}$ ). Ионы, вылетающие из источника 1, проходят через несколько небольших отверстий, формирующих узкий пучок. Затем они попадают в селектор скоростей, в котором частицы движутся в скрещенных однородных электрическом и магнитном полях. Электрическое поле создается между пластинами плоского конденсатора 2, магнитное поле – в зазоре между полюсами электромагнита 3. Начальная скорость  $v$  заряженных частиц направлена перпендикулярно векторам  $E$  и  $B$ .

На частицу, движущуюся в скрещенных электрическом и магнитном полях, действуют электрическая сила и магнитная сила Лоренца. При условии  $E = vB$  эти силы точно уравниваются друг друга. Если это условие выполняется, частица будет двигаться равномерно и прямолинейно и, пролетев через конденсатор, пройдет через отверстие в экране. При заданных значениях электрического и магнитного полей селектор выделит частицы, движущиеся со скоростью  $v = E / B$ .

Далее частицы с одним и тем же значением скорости попадают в камеру масс-спектрометра, в которой создано однородное магнитное поле  $B'$ . Частицы движутся в камере в плоскости, перпендикулярной магнитному полю, под действием силы Лоренца. Траектории частиц представляют собой окружности радиусов  $R = mv / qB'$ . Измеряя радиусы траекторий при известных значениях  $v$  и  $B'$  можно определить отношение  $q / m$ .

В случае изотопов ( $q_1 = q_2$ ) масс-спектрометр позволяет разделить частицы с разными массами.

На заключительном этапе объяснения на экраны компьютеров выводится фотография специализированного масс-спектрометра (рис. 5).



**Рис. 5.** Специализированный масс-спектрометр для изотопного анализа

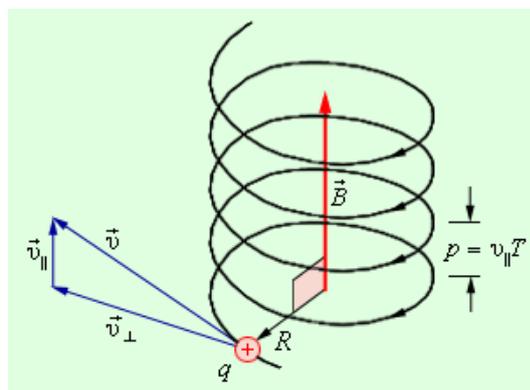
Следующий этап урока посвящается компьютерному эксперименту, который проводится с сетевой версией программы «Открытая физика» и делится на две части.

В первой части учитель вместе с учащимися выполняют эксперимент по изучению движения заряженной частицы в том общем случае, когда ее вектор скорости не перпендикулярен вектору магнитной индукции.

Обращаем внимание учащихся на формулу 3, которая позволяет определить силу Лоренца:  $F_L = qvB \sin \alpha$ , где  $\alpha$  – угол между векторами  $v$  и  $B$ . Сила Лоренца работы не совершает, так как всегда направлена перпендикулярно скорости заряженной частицы. Если вектор скорости  $v$  частицы в однородном магнитном поле направлен перпендикулярно вектору магнитной индукции  $B$ , то частица будет равномерно двигаться по окружности радиуса:

$$R = mv / qB, \quad (4).$$

Если скорость частицы имеет составляющую, параллельную вектору  $B$ , то частица будет двигаться по спирали (рис. 6).



**Рис. 6.** Движение заряженной частицы в магнитном поле ( $v$  не перпендикулярен  $B$ )

Компьютерная модель позволяет иллюстрировать движение заряженной частицы в однородном магнитном поле (рис.7).

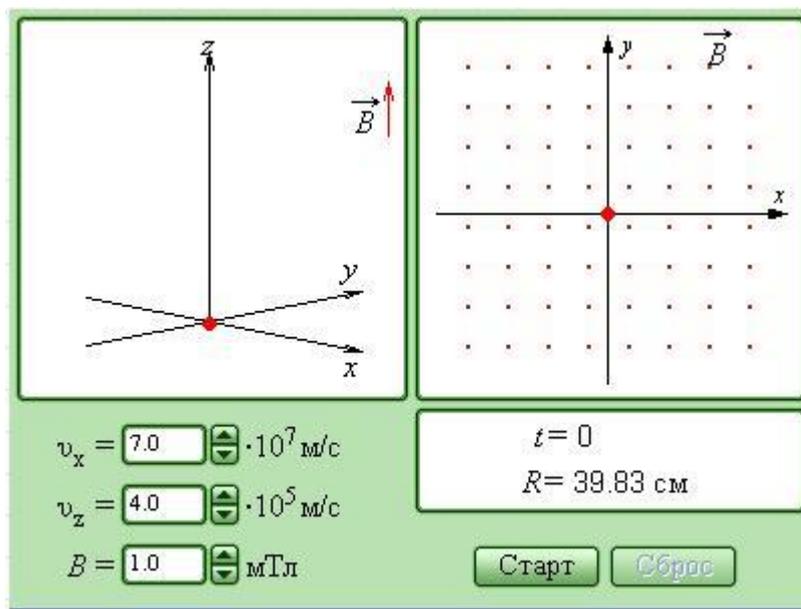


Рис. 7. Интерфейс программы во время изучения движения заряженной частицы в магнитном поле

Программа позволяет изменять значения составляющих скорости частицы и индукцию магнитного поля; вычислить радиус траектории и время одного цикла. Кроме того, программа позволяет разбирать задачи с готовыми решениями и решать аналогичные задачи учащимся самостоятельно с целью проверки изученных на первом этапе урока положений теории движения электрически заряженных частиц в магнитном поле.

На заключительном этапе урока учащимся предлагается разобрать решение задачи, сопровождаемой компьютерным экспериментом.

**Задача.** В камере лабораторной установки создано магнитное поле, вектор магнитной индукции  $B$  которого направлен вертикально вверх и равен по модулю  $B = 1,2$  мТл. В камеру влетает протон с кинетической энергией  $K = 5,3$  МэВ. Вектор скорости протона направлен горизонтально. Определите ускорение  $a$ , с которым будет двигаться протон в камере, а также радиус  $R$  кривизны траектории. Масса протона  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг.

**Решение.** Сила Лоренца, действующая на движущуюся в магнитном поле заряженную частицу, зависит от ее скорости, которая может быть выражена через кинетическую энергию частицы:

$$v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = 3,2 \cdot 10^7 \text{ м/с}. \quad (4).$$

Протон движется с огромной скоростью. Однако эта скорость значительно меньше скорости света  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с, поэтому движение протона можно рассматривать на основе законов классической механики.

Сила Лоренца  $F_L$  направлена перпендикулярно скорости частицы:

$$F_L = qvB \sin \alpha, \quad (5).$$

где  $q$  – заряд протона, равный элементарному заряду  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $\alpha$  – угол между направлениями векторов  $v$  и  $B$ . В условиях данной задачи  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\sin \alpha = 1$ . Сила Лоренца создает центростремительное ускорение  $a$ :

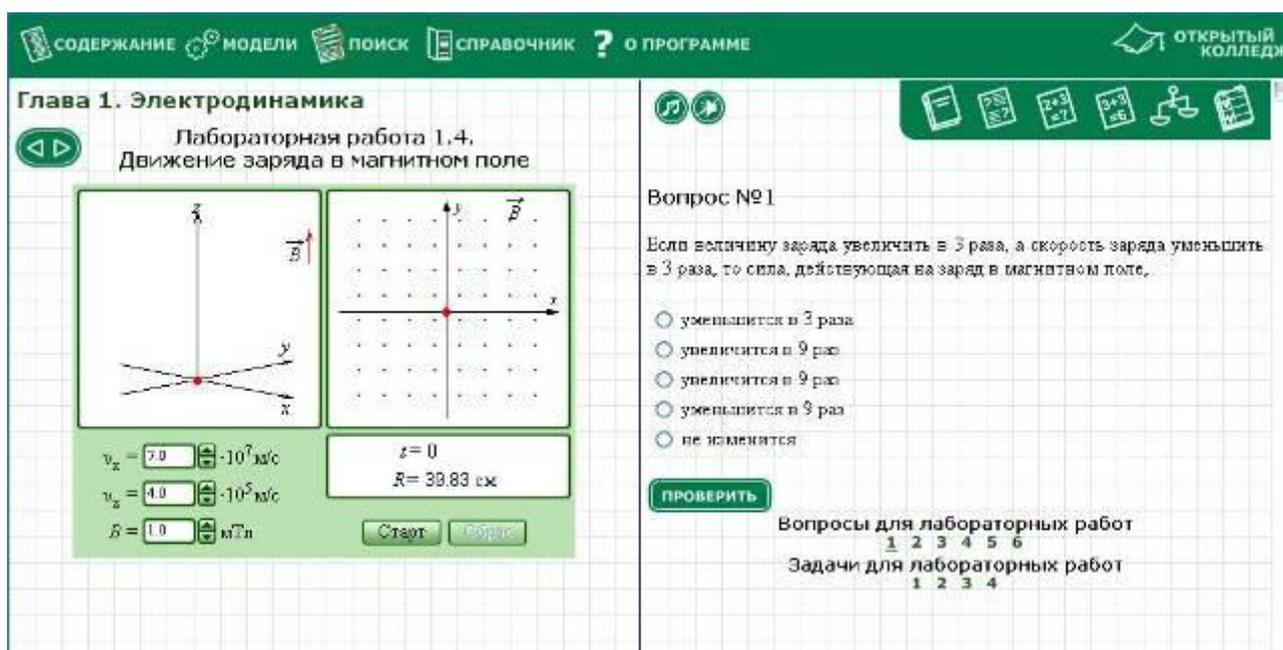
$$a = \frac{F_L}{m} = \frac{evB}{m} = \frac{eB}{m} \sqrt{\frac{2K}{m}} = 3,7 * 10^{12} \text{ м/с}^2, \quad (6).$$

Под действием силы Лоренца протон будет двигаться в однородном магнитном поле по дуге окружности, радиус  $R$  которой находится из условия:

$$a = \frac{evB}{m} = \frac{v^2}{R}, \quad (7).$$

Таким образом, в условиях лабораторного опыта отклонение вектора скорости протона от первоначального направления будет весьма малым.

Интерфейс используемой программы представлен на рис. 8.



**Рис. 8.** Интерфейс программы для разбора задачи с готовым решением и для самостоятельного решения при изучении движения заряженной частицы в магнитном поле

Из представленного интерфейса видно, что программа позволяет проводить самостоятельное исследование движения заряженных частиц в магнитном поле при тех или иных заданных параметрах. Программа снабжена системой тестовых заданий, которые позволяют выявить уровень знаний учащихся по изученной теме.

Таким образом, интегрируя компьютерные технологии в образовательный процесс, можно обеспечить:

– развитие конструктивного, алгоритмического мышления благодаря особенностям общения с компьютером и работе со специализированными программами;

– развитие творческого мышления за счет изменения содержания репродуктивной деятельности, выполнения заданий эвристического, исследовательского характера в среде интеллектуальных обучающих систем и моделирующих программ;

– формирование умений в принятии оптимальных решений и адаптации в сложной ситуации (в ходе компьютерных экспериментов на основе моделирующих программ, при работе с программами-тренажерами).

### Литература

1. Абушкин, Х. Х. Проблемный урок в среднем специальном учебном заведении: структура, содержание, технология / Х. Х. Абушкин // Среднее профессиональное образование. – 2005. – № 5. – С. 40–44.

2. Абушкин, Х. Х. Роль компьютера в организации проблемно-развивающего обучения / Х. Х. Абушкин // Целеполагание и средства его достижения в процессе обучения физике. Общеобразовательные учреждения, педагогический вуз : материалы междунар. науч.-практ. конф. 15–16 мая 2006 г. – М. : МГОУ, 2006. – С. 166–169.

УДК 373.016 : 53

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИДЕО ЗАДАЧ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ В ШКОЛЕ

**В. И. Кудряшов**

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

В статье обсуждаются методические аспекты технологии создания и использования видео задач в процессе преподавания курса физики в средней общеобразовательной школе.

*Ключевые слова и фразы:* средства мультимедиа, видео задача, видео опыт.

Аудиовизуальные средства обучения имеют свои дидактические и методические особенности. Если демонстрационные лабораторные приборы и установки обеспечивают возможность воспроизведения физических процессов, формируют навыки правильного наблюдения изучаемого явления, учат сравнивать и сопоставлять увиденное, отделять главное от второстепенного, обобщать накопленные факты, то аудиовизуальные средства обучения позволяют:

– за счет яркой, образной демонстрации предметно конкретизировать пространственные представления учащихся при изложении нового материала или повторении ранее изученного;

– фрагментарным показом видеоматериалов концентрировать внимание школьника;

– через эмоциональное воздействие пробудить интерес к изучаемому вопросу, развивать внимание, творческое воображение, наблюдательность, память и логическое мышление учащихся.

Дидактические функции аудиовизуальных пособий разнообразны. Эти пособия служат [1]:

– источниками новых знаний и представлений в виде зрительной и зрительно-слуховой опоры для восприятия и усвоения материала;

– пособиями и упражнениями для организации групповой или индивидуальной работы;

– средствами иллюстрации, конструирования, повторения, обобщения и систематизации знаний.

Использование таких пособий в качестве дополнительной информации с целью углубления и конкретизации знаний обогащает представление учащихся, полученное из объяснений учителя [2].

Видео задача как дидактическое средство базируются на качественно новом уровне, так как ее основополагающая структура является базисом для достижения гармоничного сочетания слухового и визуального канала восприятия. В процессе демонстрации подсознательно включаются каналы восприятия, загрузка их информацией максимальна, но при этом, только работая совместно, эти каналы передадут в головной мозг правильные данные. Учебный процесс не должен строиться только на аудиовизуальных средствах обучения. Задача преподавателя состоит в том, чтобы сбалансировано и целенаправленно применять такие средства вместе с традиционными средствами.

С практической точки зрения видео задачи выгодно отличаются от задач, представленных в виде текста. При использовании видео задач существенно меняется механизм восприятия содержания задачи. Так, если учащийся после прочтения текстовой задачи должен представить себе описанную ситуацию, опираясь на свои знания и опыт, то, просмотрев видео задачу, он сразу представляет всю «картинку» этой ситуации.

При использовании видео задачи одновременно работают зрение и слух, следовательно, в работу на более высоком уровне включаются связанные с ними образное мышление, зрительная память и т. д. Задача предстает в динамичном, а не в статичном виде. Повышается интерес учащихся к предмету, возрастает познавательная активность, углубляется и расширяется понимание изучаемых физических понятий, явлений или закономерностей.

Видео задачи используют принцип «лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать», они демонстрируют явления в том виде, в каком они протекают в природе.

Технология разработки мультимедийных методических материалов включает решение следующих задач:

1. Выбор раздела и темы, которые следует осветить в видео опыте или серии видео опытов.

2. Определение содержания демонстрационного эксперимента, выбранного в рамках заданной темы и раздела – наиболее интересного, иллюстративного, сложно осуществимого в условиях школьного кабинета физики.

3. Подготовка демонстрационного оборудования с учетом техники безопасности проведения эксперимента и создание своеобразной «студии» для записи происходящих процессов на цифровую камеру.

4. Проведение демонстрационного эксперимента, запись исходных видеоматериалов.

5. Монтаж, озвучивание.

Технология создания видео задачи отлична от создания видео опыта на стадии монтажа и озвучивания. Допускается использование тех же исходных материалов. Различие заключается в том, что монтаж видео осуществляется по фрагментам. Первый фрагмент содержит постановку проблемы, исходные данные. Второй фрагмент может содержать дополнительные данные или подсказки. Третий фрагмент содержит контрольное решение видео задачи, показанное непосредственно на реальном примере.

Таким образом, использование видео опытов и видео задач на уроках физики в школе как методического приема поможет преподавателю продемонстрировать различные физические процессы и явления, которые невозможно смоделировать на демонстрационном столе в кабинете физики. Используя возможности цифровой обработки видео, учащиеся смогут наблюдать быстротекущие, или напротив, медленно протекающие процессы в оптимальном временном масштабе. Кроме того, этот методический прием поможет разнообразить урок физики, сделать его более интересным и привлекательным.

#### Литература

1. Степаненко, Е. Н. Сравнительные результаты использования текстовых задач, задач с рисунком и видео заданий в школьном учебном процессе по физике / Е. Н. Степаненко // Учебное занятие: поиск, инновации, перспективы: сб. науч. статей. – Челябинск : Образование, 2007. – С. 78–86.

2. Фишман, А. И. Опыт создания видео задач по физике / А. И. Фишман, А. И. Скворцов // Физическое образование в вузах. – 1998. – Т.4, № 2. – С. 90–94.

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.385

## ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОКСИДНОМ КАТОДЕ

**В. К. Свешников, А. Ф. Базаркин**

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт  
им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

Приводится анализ физико-химических процессов, протекающих в оксидных катодах на стадиях термовакуумной обработки, активировки и их работы. Рассматриваются направления повышения эмиссионной активности катодов. Отмечается, что в основе создания методики расчетов эмиттера могут быть использованы известные модели оксидного катода. Изложенный материал будет полезен для научных работников, студентов и аспирантов, специализирующихся в области электронной техники и источников света.

*Ключевые слова и фразы:* модель, эмиссия электронов, оксид, катод, ионизация, донор, акцептор, кристаллическая решетка.

### Введение

Приоритетным направлением в развитии электровакуумных и ионных приборов является повышение эффективности используемых в них оксидных катодов. Оксидные катоды являются базовыми элементами электронно-лучевых трубок, ламп бегущей волны, лазеров, разрядных источников света и других приборов.

Использование оксидных катодов в приборах обусловлено высокой эмиссией электронов, долговечностью, а также воспроизводимостью характеристик в производстве приборов.

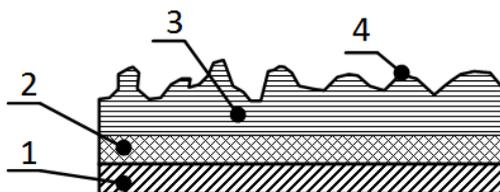
Теоретическим и экспериментальным исследованиям эмиссии электронов оксидными катодами посвящено множество работ [1–4].

Ниже приводится анализ физико-химических процессов, протекающих в оксидных катодах на стадиях термовакуумной обработки, активировки и их работы.

### Формирование эмиссионного слоя катода

Катоды электровакуумных и газоразрядных приборов имеют различную конструкцию, описанную в работах [5–7].

На рис. 1 приведена схема оксидного катода в приборе. Поверхность зерна покрыта оксидами щелочноземельных металлов.



**Рис. 1.** Схема оксидного катода в приборе: 1 – керн; 2 – промежуточный слой; 3 – оксидное покрытие; 4 – поверхностный слой

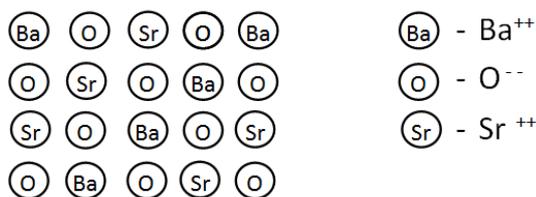
Механической основой катода служит керн. Он обычно изготавливается из никеля, молибдена, вольфрама и других металлов. После активировки катода между оксидным покрытием и керном образуется промежуточный слой 2 (рис. 1). Он образуется в результате химической реакции металла керна с материалом оксидного покрытия. Сопротивление промежуточного слоя в процессе работы прибора увеличивается [8], что приводит к нестабильности параметров катода, увеличению уровня радиопомех и к сокращению срока службы. До термовакуумной обработки покрытие катода состоит из смешанных кристаллов карбонатов щелочноземельных металлов:  $BaCO_3$  или  $Ba \cdot CO_3 \cdot SrCO_3 \cdot CaCO_3$ .

Карбонатное покрытие удерживается на керне катода при помощи биндера, в состав которого входит нитроклетчатка  $C_6H_8O_5(NO_2)_2$ .

В процессе термовакуумной обработки катод претерпевает следующие изменения [9]:

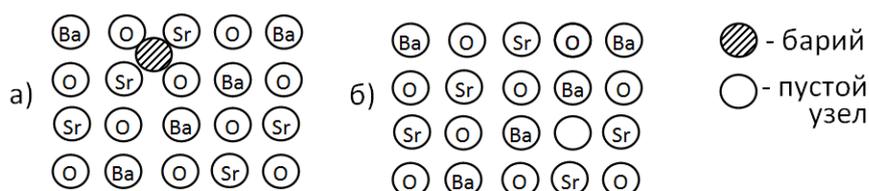
1. Разложение и удаление биндера.
2. Разложение карбонатов щелочноземельных металлов с образованием их оксидов.
3. Спекание оксидов с образованием кристаллической решетки.
4. Активирование катода.

Заканчивают разложение прогревом катода до температуры 1100 К. При температуре 1100 К образуются смешанные кристаллы оксидов щелочноземельных элементов, образование которых завершается при температуре 1300 К. Оксидное покрытие имеет пористую структуру, состоящую из кристаллов оксидов. Размеры кристаллов составляют несколько микрон. Смесь кристалликов  $BaO$  и  $SrO$ , получающаяся непосредственно после пиролиза карбонатов, при длительном нагревании переходит в твердый раствор. В решетке кристаллов металлоидные узлы заняты кислородом, а металлические – ионами  $Ba$  и  $Sr$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Структура неактивированного двойного оксида

В конце процесса разложения карбонатов катодное покрытие практически не эмитирует электроны и его следует активировать. Сущность процесса активирования катода заключается в том, что слой оксида превращается в полупроводник с электронной проводимостью. Улучшение эмиссионных свойств оксидного покрытия связано с частичным восстановлением атомов бария из оксидов щелочноземельных металлов и их последующим распределением в толще покрытия и на его поверхности (рис. 3).



**Рис. 3.** Структура активированного двойного оксида

а) оксид со свободным атомом бария в междуузлии,

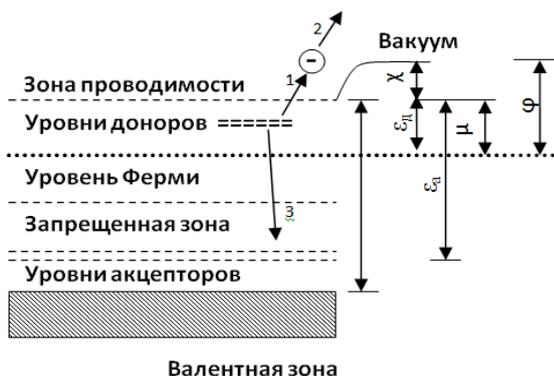
б) оксид с пустым кислородным узлом

Появление свободного бария в решетке оксида связано с образованием в ней пустых кислородных узлов (рис. 3 (б)).

На рис. 4 приведена зонная схема оксидного катода [8]. Полная работа выхода оксида  $\phi$  складывается из внутренней  $\mu$  и внешней  $\chi$  работ выхода:

$$\phi = \mu + \chi. \quad (1)$$

Внутренняя работа выхода ответственна за переход электронов с донорных уровней в зону проводимости. Она определяется избыточной концентрацией доноров, глубиной залегания донорных энергетических уровней  $\epsilon_d$  и температурой оксида.



**Рис. 4.** Зонная схема оксида:  $\epsilon_z$  – энергетическая ширина запрещенной зоны;  $\epsilon_d$  – энергия донорных уровней;  $\epsilon_a$  – энергия акцепторных уровней; 1 – переход электронов в зону проводимости; 2 – переход электронов в вакуум; 3 – захват электронов акцепторным центром

Внешняя работа выхода зависит от структуры кристаллов оксида и наличия адсорбированных слоев и дефектов на поверхности кристаллов.

С увеличением температуры работа выхода медленно увеличивается по

формуле:

$$\varphi = \varphi_0 + \alpha T, \quad (2)$$

где  $\varphi_0$  – начальная работа выхода;  $\alpha$  – температурный коэффициент работы выхода.

Акцепторными центрами является растворенные и адсорбированные атомы кислорода, выполняющего роль ловушек, в которые попадают электроны из донорных центров. Для того чтобы полупроводник обладал высокими эмиссионными свойствами, необходимо внедрить в его структуру примесь атомов бария. Такие атомы вносят в зонную схему оксида донорные локальные уровни, превращающие оксид в полупроводник n – типа.

Активировка катода включает в себя термическую и электролитическую активировки.

Термическая активировка катода достигается кратковременным нагревом его до температуры 1200 К÷1320 К.

В процессе электролитической активировки катода участвуют атомы кислорода, входящие в состав оксида. После присоединения электронов атомы кислорода становятся отрицательными ионами. Под действием электрического поля, ускоряющего движение отрицательных ионов, происходит их вытягивание из оксида в вакуум.

В решетке оксида остаются вакантные кислородные узлы. На них перемещаются ионы кислорода из глубины покрытия. Таким образом, вакантные узлы оказываются продвинутыми вглубь решетки, что обуславливает появление свободного бария.

Наиболее полная информация о формировании структуры эмиссионного покрытия может быть получена в результате расчета кинетики химических реакций [13]. Как известно, термодинамические вычисления связаны с определением тепловых эффектов химических реакций, влияющих на переход системы из одного равновесного состояния к другому. По мнению авторов [13], указанные вычисления сложны для их реализации на ЭВМ из-за разнообразия гетерогенных реакций, протекающих в оксидном катоде. Кроме того, при температурах, существующих в электронных приборах при вакуумно-термической обработке катодов, система находится в состоянии, близком к термодинамическому равновесию [14].

В работе [13] предложена методика вычисления химического и фазового состава оксидного эмиссионного материала в процессе его термовакуумной – термической обработки с использованием ЭВМ. Методика основана на разделении процесса обработки катода на отдельные интервалы, в пределах которых система считается термодинамически квазиравновесной.

### **Взаимодействие ядра катода с оксидным слоем**

Взаимодействие ядра катода с оксидным покрытием происходит в процессе активировки катода и в рабочем режиме работы прибора.

При активировки катода роль ядра сводится к ускорению формирования оксидного слоя [10]. При высоких температурах на ядрах катода обра-

зуются химические соединения, например, между вольфрамом и окисью бария  $Ba_2WO_6$  [11]. Они образуются в системе, содержащей избыток бария. При недостатке окиси бария образуются соединения  $Ba_2WO_5$ ,  $Ba_2WO_4$ ,  $BaO \cdot WO_2$ , которые ограничивают получение высокой эмиссии катода.

Установлено [12], что при температуре поверхностного слоя покрытия 1000–1100 К температура зерна на  $50 \div 100^\circ C$  выше температуры слоя, поэтому минимальная скорость испарения зерна должна осуществляться при температуре зерна  $1100 \div 1200$  К. Этим требованиям удовлетворяют металлы вольфрам, молибден, платина и др. [12].

Особенности процессов, протекающих на границе оксидного слоя с зерном катода, рассмотрены в работе [3].

Таким образом, роль материала зерна сводится к ускорению процесса формирования окисла нестехиометрического состава в процессе его активировки, к повышению эмиссионной активности и долговечности работы катода в условиях вакуума и газоразрядной плазмы.

### Термоэлектронная эмиссия

Теория термоэлектронной эмиссии изложена в работах [2; 15; 16] и других. При рассмотрении термоэлектронной эмиссии твердых тел используются два метода: термодинамический и атомно-статистический. Термодинамический метод основан на анализе равновесия электронного газа с поверхностью твердого тела. Свойства твердого тела задаются обобщенным параметром работой выхода электронов.

Атомно-статистический метод основан на том, что распределение по скоростям электронного газа в полупроводнике, так же как и в металле, описывается функцией Ферми-Дирака. Плотность  $J_e$  тока термоэлектронной эмиссии в этом случае равна:

$$J_e = eD \int_{v_{x1}}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} dv_{v_x, v_y, v_z}, \quad (3)$$

где  $e$  – заряд электрона,  $D$  – среднее значение коэффициента прозрачности потенциального барьера;  $v_{x1}$  – минимальная составляющая скорости электрона в направлении, перпендикулярном активной поверхности катода, при которой он может преодолеть потенциальный барьер;  $dv_{v_x, v_y, v_z}$  – поток электронов с компонентами скорости в интервалах от  $v_x$  до  $v_x + dv_x$ , от  $v_y$  до  $v_y + dv_y$  и от  $v_z$  до  $v_z + dv_z$ .

Поток электронов, перемещающихся из полупроводника к единице его поверхности равен:

$$dv_{v_x, v_y, v_z} = v_x \frac{2m^3}{h^3} \cdot \frac{dv_x dv_y dv_z}{\exp\left[\frac{\varepsilon - \varepsilon_F}{kT} + 1\right]}, \quad (4)$$

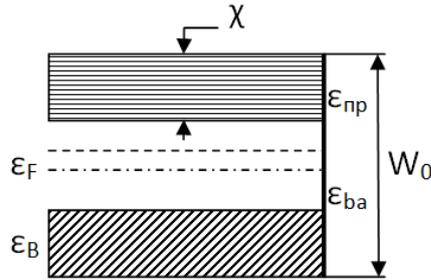
где  $m$  – масса электрона;  $h$  – постоянная Планка;  $\varepsilon = \frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2}$  – энергия

электронов зоны проводимости, участвующих в образовании тока термоэлектронной эмиссии;  $\varepsilon_F$  – энергия Ферми.

Минимальная составляющая  $v_{x1}$  скорости электрона в направлении, перпендикулярном поверхности, при которой он может преодолеть потенциальный барьер, удовлетворяет соотношению:

$$mv_{x1}^2/2=W_0, \quad (5)$$

где  $W_0$  – высота потенциального барьера (рис. 5).



**Рис. 5.** Энергетическая диаграмма оксидного катода:

$\varepsilon_{пр}$  – энергия, соответствующая дну зоны проводимости;  $\varepsilon_F$  – уровень Ферми;  $\varepsilon_{ба}$  – энергия, соответствующая локальному уровню бария

Решением (3) при условии, что в полупроводнике  $\frac{\varepsilon - \varepsilon_F}{kT} > 1$ , является уравнение Ричардсона-Дешмана:

$$J = \frac{4\pi me k^2}{h^3} DT^2 e^{-\frac{W_0 - \varepsilon_F}{kT}} = AT^2 e^{-\chi_0/kT}, \quad (6)$$

где  $\chi_0$  – расстояние от уровня Ферми до верха потенциального барьера.

В отличие от металлов у примесных полупроводников положение уровня Ферми зависит от температуры [3]:

$$\varepsilon_F = \frac{\varepsilon_{пр} + \varepsilon_{ба}}{2} - \frac{kT}{2} \ln \frac{2(2\pi mkT)^{3/2}}{n_{ба} h^3}, \quad (7)$$

где  $n_{ба}$  – концентрация примесных атомов бария.

Тогда (6) с учетом (7) примет вид:

$$J = BT^{5/4} e^{-\frac{\chi + \mu}{kT}} = BT^{5/4} e^{-\varphi/kT}, \quad (8)$$

где  $B = A \frac{h^3}{2} \frac{1}{2\pi mk}^{3/4} \frac{1}{n_{ба}}$ ,  $\chi = W_0 - \varepsilon_{пр}$ ;  $\theta = \varepsilon_{пр} - \varepsilon_{ба}$ ;  $\mu = \frac{\theta}{2}$ ;  $\varphi = \chi + \mu$ .

Из (8) следует, что ток термоэлектронной эмиссии пропорционален корню квадратному из концентрации атомов бария, которые являются донорной примесью.

У примесных полупроводников наблюдается резкая зависимость уров-

ня Ферми от температуры, поэтому температура входит в степени 5/4 в уравнение (8). Эмиссионная активность оксидного катода значительно выше вольфрамового катода в сопоставимых условиях [12].

В процессе работы электровакуумных и газоразрядных приборов у поверхности катода создается внешнее электрическое поле. Наличие у катода ускоряющего электрического поля приводит к снижению как внешней, так и внутренней работы выхода. Внешняя работа выхода изменяется так же, как и у металлического катода в соответствии с эффектом Шоттки:

$$\Delta\chi = e \frac{\overline{eE}}{4\pi\varepsilon_0} \quad (9)$$

Ускоряющее электрическое поле приводит к увеличению тока термоэлектронной эмиссии [24]:

$$J = J_0 \exp(e \overline{eE} / 4\pi\varepsilon_0 kT), \quad (10)$$

где  $J_0$  – плотность тока эмиссии в отсутствии электрического поля.

Электрическое поле также вызывает дополнительное уменьшение внутренней работы выхода полупроводникового катода [25]:

$$\Delta\mu = 2\lambda E \operatorname{ar}gSh \frac{\overline{e\chi_0 E_k}}{2 \frac{\delta kT}{2}}, \quad (11)$$

где  $\chi_0$  – глубина экранирования электронов в полупроводнике:

$$\chi_0 = \overline{(\varepsilon\varepsilon_0 kT / e^2 n_e)}, \quad (12)$$

где  $\varepsilon_0$  – относительная диэлектрическая проницаемость оксида;  $n_e$  – концентрация электронов в зоне проводимости.

Повышение температуры оксидного катода сопровождается резким ростом электронной эмиссии по сравнению с металлическим катодом. Зависимости электронного тока катода от напряженности и электрического поля имеют вид:

$$\ln j = f(\overline{E}). \quad (13)$$

Она представляют собой прямую линию, угол наклона которой значительно больше угла наклона прямых, полученных для однородной эмитирующей поверхности.

Аномальное увеличение тока обусловлено следующими причинами [2; 18]:

1. Неоднородностью поверхности оксида по работе выхода.
2. Геометрической неоднородностью пористого оксидного слоя.
3. Тепловой нестабильностью оксидного слоя при отборе тока.

Для неоднородных по работе выхода эмиттирующих поверхностей при

приложении внешнего электрического поля происходит компенсация поля пятен [26].

Существенное влияние на эмиссию оксидного катода оказывает его структура. Поры катода при рабочей температуре заполнены электронами. Под действием внешнего электрического поля происходит вытягивание электронов из пор к поверхности [28].

С ростом анодного напряжения электрическое поле все глубже проникает в поры, что приводит к увеличению плотности термоэлектронного тока и катод переходит в область Шоттки [28]. Увеличение напряженности электрического поля, создаваемой у структурно-неоднородного покрытия, приводит к повышению эффективной эмитирующей поверхности катода.

Величина  $F_3$  эффективной эмитирующей поверхности катода является функцией напряженности электрического поля и температуры оксида [28]:

$$F_3 = F_r \left( 1 + \frac{4}{3} \cdot \frac{eEL}{2kT} \right) \left( 1 + \frac{4}{9} \cdot \frac{eEL}{2kT} \right), \quad (14)$$

где  $F_r$  – геометрическая поверхность катода;  $L$  – средняя длина пробега электрона в порах.

Аномальное увеличение тока эмиссии обусловлено тепловым разогревом катода под действием тока. При отборе малых токов перегрев катода отсутствует, и зависимость тока катода от напряжения в режиме насыщения соответствует уравнению Шоттки [15].

С изменением температуры катода происходит изменение электропроводности оксидного покрытия [2; 18]. Электропроводность катодного покрытия равна:

$$x = x_{об} + x_{пов} + x_{пор}, \quad (15)$$

где  $x_{об}$ ,  $x_{пов}$ ,  $x_{пор}$  – соответственно электропроводности по объему, поверхности и порам покрытия.

При низких температурах электропроводность осуществляется, в основном, за счет переноса электронов по приповерхностному слою кристаллов [18]. Результаты исследований по изучению влияния электрического поля на электропроводность оксидов ВаО и SrО отражены в работе [29]. Отмечается, что электрическое поле приводит к значительному увеличению электропроводности оксидного покрытия. Относительный прирост электропроводности наблюдается в диапазоне температур 830–850 К. Электропроводность оксида стронция на 1–2 порядка меньше, чем у оксида бария.

### **Влияние состояния поверхности катода на термоэлектронную эмиссию**

В процессе работы катода на поверхности оксидного слоя образуются донорные центры. В результате ионизации донорных центров появляются электроны, приводящие как к изменению работы выхода катода, так и к изменению тока термоэлектронной эмиссии (8). В [30] приводится модель оксидного катода. Согласно этой модели, на поверхности оксидного слоя обра-

зуются избыток щелочных металлов. Создается поверхностный заряд, приводящий к искривлению зон энергии кристалла с понижением внутренней работы выхода. Кроме того, возникает дипольный слой [33], облегчающий выход электронов из зоны проводимости в вакуум за счет туннельного эффекта [32], а так же за счет ионизации поверхностных донорных центров [17].

В [3] на основе [19] уточнена зонная схема оксидного катода. Так, с ростом поверхностной концентрации доноров изгиб зон увеличивается, и уровень доноров приближается к зоне проводимости. В этом случае поверхность кристалла рассматривается квазиизолированной со своим уровнем Ферми. В слое полупроводника формируется зона с локальными донорными центрами, расположенными близко к зоне проводимости. Поэтому при невысоких температурах наступает полная ионизация примеси.

Уравнение термоэлектронной эмиссии оксидного катода с высокой плотностью поверхностных состояний имеет вид [3]:

$$J = eN_d \frac{kT}{\pi m} e^{-\chi/kT}. \quad (16)$$

Из (16) следует, что ток эмиссии электронов пропорционален концентрации  $N_d$  донорных центров при постоянной температуре эмиттера. Температурный коэффициент  $\alpha$  уменьшается с увеличением концентрации донорных центров [3]. Температурная зависимость работы выхода определяется соотношением:

$$\varphi_T = \varphi_0 + \alpha T. \quad (17)$$

Установлено, что дополнительное напыление бария на катод обеспечивает снижение работы выхода электронов оксидных покрытий щелочноземельных металлов [18].

Линейность зависимости тока термоэлектронной эмиссии катода от концентрации адатомов бария указывает на то, что барий играет роль донорных центров с одним электроном. Он может освободиться при термической ионизации донорного центра [3].

В [20] показано, что работа выхода двойного оксида  $SrO$ - $BaO$  при температуре 850 К ниже работы выхода оксида бария. Кроме того, при температуре выше 980 К увеличивается время достижения максимального значения эмиссии электронов, что авторы [20] связывают с диффузией бария в слой окиси стронция и последующего образования твердого раствора  $(Ba, Sr)O$ .

Что касается оксидов  $BaO$  и  $CaO$ , то температура, при которой прекращается воздействие  $BaO$  на  $CaO$ , равна 1450 К. В этом случае, как отмечается в [3], скорость испарения окиси кальция становится равной скорости напыления оксида бария.

Исследования состава приповерхностного слоя катода методом оже-спектроскопии показали, что активировка оксидного покрытия приводит к увеличению высокоэнергетических пиков  $Ba$ ,  $Sr$ ,  $Ca$ , а также к изменению формы высокоэнергетических пиков бария [21]. В [27] показано, что пленка

бария на поверхности катода образуется уже при температуре обезгаживания, равной  $T=800$  °С. Состав поверхности в процессе активировки практически не изменяется, при этом наблюдается увеличение электронной эмиссии.

В [22] утверждается, что подбором методики синтеза исходного материала и его состава, нанесения покрытия катода, выбором условий термообработки, а также режимов термического активирования можно значительно повысить эмиссионную способность катода. Так плотность эмиссионного тока предложенного авторами [22] оксидного катода при температуре 1050 К достигает  $15\text{--}20$  А/см<sup>2</sup>.

Межфазное взаимодействие, термическая и электронно-стимулированная диссоциация оксидов при работе катодов приводит к накоплению в них кислородных вакансий [23]. Концентрация вакансий в объеме определяет положение уровня Ферми, а концентрация на поверхности – поверхностное искривление зон. Автором [23] предложен расчет поверхностной концентрации вакансий, поверхностного искривления зон, работы выхода и плотности тока термоэмиссии в зависимости от температуры и объемной концентрации вакансий.

Приведенные в работе [31] результаты исследований не позволяют однозначно судить о справедливости модели полупроводника с поверхностными уровнями применительно к оксидному катоду. При расчете изотерм в [31] принят ряд предположений, в частности, малая глубина  $E_k=0$  залегания донорных уровней и объемных уровней, равных  $0,1$  эВ, что не соответствует действительным значениям для оксидов щелочноземельных металлов. Кроме того, расчет изотерм проведен лишь для одного значения температуры, что ограничивает возможности сравнения расчетных и экспериментальных данных.

А. Я. Князевым на основе зонной модели полупроводника с поверхностными донорными уровнями на примере окиси бария проведен расчет температурной зависимости работы выхода и электропроводности катода от концентрации поверхностных и объемных доноров [32].

Автор [32] рассматривает модель электронного невырожденного полупроводника с шириной запрещенной зоны  $E_g$ , глубиной залегания донорных уровней в объеме  $E_d$ , и на поверхности  $E_n$  (рис. 6).

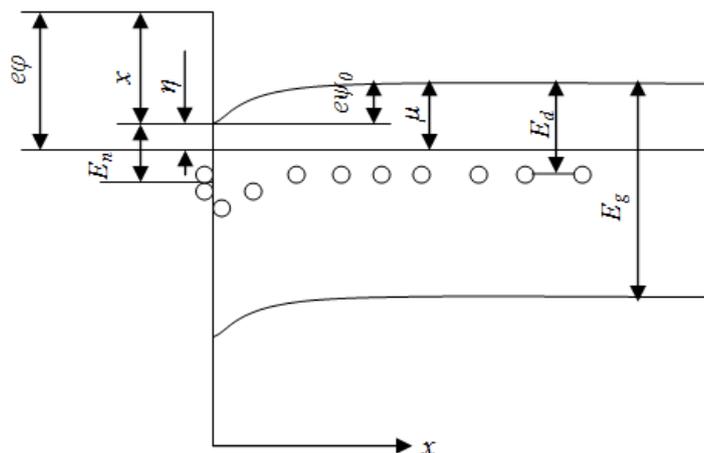


Рис. 6. Зонная схема приповерхностного слоя объемного заряда

Поверхностные уровни, образованные атомами, создают заряд на поверхности, вызывающий искривление зон полупроводника.

В этом случае работа выхода определяется уравнением:

$$e\varphi = \mu - e\varphi_0 + \chi \quad (18)$$

где  $\mu$  – энергия Ферми полупроводника,  $\chi$  – энергия электронного сродства.

При переходе электронов с поверхностных донорных уровней в зону проводимости поверхность слоя катода заряжается положительно, а в приповерхностном слое образуется отрицательный заряд. Суммарный заряд, созданный электронами, дырками и заряженными донорами равен [32]:

$$\rho(x) = -en_0 e^{\frac{e\psi(x)}{kT}} + ep_0 e^{-\frac{e\psi(x)}{kT}} + eN_d^+ x, \quad (19)$$

где  $n_0$  и  $p_0$  – соответственно концентрации электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне в объеме полупроводника, а  $N_d^+$  – концентрация ионизованных объемных доноров, определяемых распределением Ферми.

На основе уравнения Пуассона для распределения потенциала в слое автором [32] получено уравнение для определения величины изгиба зон на поверхности  $\psi_0$ :

$$\frac{\varepsilon kT}{8\pi e} n_0 e^{\frac{e\psi_0}{kT}} - 1 - \frac{eN_d\psi_0}{kT} + N_d \ln \frac{1+e^{\frac{E_d-\mu+e\psi_0}{kT}}}{1+e^{\frac{E_d-\mu}{kT}}}^{1/2} = \frac{N_{\Pi}}{1+e^{\frac{E_{\Pi}-\mu+e\psi_0}{kT}}}. \quad (20)$$

Решение уравнения (19) осуществляется с помощью ЭВМ. Искомая работа выхода катода с учетом изгиба зон находится из уравнения (18).

По мнению автора, зонная модель полупроводника с поверхностными донорными уровнями, приведенная в работе [32], по сравнению с моделью [30] позволяет более точно объяснить температурную зависимость работы выхода и электропроводность системы оксид-барий.

### Заключение

Из анализа известной литературы по оксидным катодам следует, что разработка оксидного катода с высокой термоэлектронной эмиссией возможна путем выбора соответствующего материала оксидного керна и оксидного покрытия. Работа выхода катода зависит от процессов его термовакuumной обработки и активировки в процессе изготовления электровакуумных и газоразрядных приборов. Значительное снижение внутренней работы выхода катода можно достичь путем дополнительных локализаций на его поверхности щелочного или щелочноземельного металла, что приводит к искривлению зон энергии у поверхности оксидного слоя. Наличие адатомов металла на оксидном покрытии приводит к образованию дипольного слоя, снижающего величину потенциального барьера и облегчающего выход электронов из зоны проводимости эмиттера в вакуум. При создании методики расчета многофакторной зависимости работы выхода полупроводникового эмиттера от температуры целесообразно использовать известные модели оксидного катода, предложенные А. П. Князевым [32] и Б. П. Никоновым [30].

### Литература

1. Добрецов, Л. Н. Эмиссионная электроника / Л. Н. Добрецов, М. В. Гомоюнова. – М. : Наука. – 1966. – 564 с.
2. Мойжес, Б. Я. Физические процессы в оксидном катоде / Б. Я. Мойжес. – М. : Наука. – 1968. – 480 с.
3. Никонов, Б. П. Оксидный катод / Б. П. Никонов. – М. : Энергия. – 1979. – 240 с.
4. Дюбуа, Б. Ч. Современные эффективные катоды / Б. Ч. Дюбуа, А. П. Королев // Электронная техника. – Сер.1. СВЧ – техника. – 2011, вып.1(508). – С. 5–24.
5. Алексеев, С. Н. Электровакуумные приборы : Учебное пособие / С. Н. Алексеев. – Ульяновск : УЛГТУ. – 2003. – 158 с.
6. Дюбуа, Б. Ч. Катоды для мощных многолучевых вакуумных приборов СВЧ / Б. Ч. Дюбуа, Е. М. Земчихин, О. В. Поливникова, В. И. Пугнин, Г. П. Чистова, А. Н. Юнаков // Электронная техника. – Сер.1. СВЧ – техника. – 2011. – Вып.1(508). – С. 44–69.
7. Рохлин, Г. Н. Разрядные источники света / Г. Н. Рохлин. – М. : Энергоатомиздат. – 1991. – 720 с.
8. Иориш, А. Е. Основы технологии производства электровакуумных приборов. Технохимические процессы электровакуумного производства / А. Е. Иориш, Я. А. Кацман, С. В. Птицын, А. А. Шейнгауз. – М. : Энергия. – 1975. – 303 с.
9. Тягунов, Г. А. Термоэлектронные катоды электровакуумных приборов / Г. А. Тягунов, И. В. Юдинская // Успехи электровакуумной техники. – М.-Л. : ГЭИ. – 1956. – С. 5–53.
10. Alen, A. C. Chemical transport in oxide cathodes / A. C. Alen, J. C. Duran, I. I. Gents, A. I. Griffioen // Philip. Res. Rep. – 1971. – Vol. 26. – № 6. – P. 518–531.
11. Жмудь, Е. С. Изучение системы ВаО–WO<sub>3</sub> / Е. С. Жмудь, Е. П. Остапенко // Электронная техника. – Сер. 1. СВЧ – техника. – 1959. – № 3. – С.137–147.
12. Птицын, С. В. Физические явления в оксидном катоде / С. В. Птицын. – М.-Л. : ГТТЛ. – 1948. – 136 с.
13. Коваленко, Ю. А. Термодинамика процессов протекающих при вакуумно-термической обработке оксидных эмиссионных материалов / Ю. А. Коваленко, Д. С. Королев // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ – техника. – Вып. 2(509). – 2011. – С. 56–62.
14. Синеряев, Г. В. Принципы и методы определения параметров равновесия / Г. В. Синеряев, Л. Синько, В. Г. Трусов // Московский технологический университет

им. Н. Э. Баумана. – 1978. – № 2. – С. 68.

15. Герман, Г. Оксидный катод / Г. Герман, С. Вагнер. – М. : Гостехиздат. – 1949. – 508 с.

16. Nottingham, W. B. Thermionic emission / W. B. Nottingham // *Handbuch der Physik* (S. Flugge, Ed.). - Berlin : Springer-Verlag, 1956. – Vol. 21. – P. 1–175.

17. Никонов, Б. П. Термоэлектронная эмиссия оксидного катода в потоке бария / Б. П. Никонов, К. С. Бейнар // *Радиотехника и электроника*. – 1970. – Т. 15. – № 6. – С. 1272–1282.

18. Бейнар, К. С. Исследование влияния поверхностных состояний на термоэлектронные свойства окислов щелочноземельных металлов / К. С. Бейнар, Б. П. Никонов // *Изв. АН. Сер. физика*. – 1971. – Т. 35. – № 2. – С. 286.

19. Клярфельд, Г. К. Светоотдача положительного столба разряда в парах натрия / Г. К. Клярфельд, П. Тарасков // *ЖТФ*. – 1937. – Т. 7. – № 8. – С. 836–843.

20. Бейнар, К. С. Эмиссионные свойства окислов стронция и кальция в потоке окиси бария / К. С. Бейнар, Б. П. Никонов // *Радиотехника и электроника*. – 1967. – Т. 12. – № 5. – С. 867.

21. Аристархова, А. А. / А. А. Аристархова, С. С. Волков // Тез. докл. IV Всесоюз. симпозиума по современным проблемам физики вторичной и фотоэлектронной эмиссии / Ленинград: ЛГУ. – 1981. – С. 60–61.

22. Пикус, Г. Я. Высокоэффективный термокатод на основе окислов щелочных земель металлов / Г. Я. Пикус, С. П. Ракитин, В. М. Самойлеико, В. И. Кочетков // Тез. докл. XXI Всесоюз. конф. по эмиссионной электронике. – Л. : ЛГТУ. – 1990. – Ч. 1. – С. 230.

23. Капустин, В. И. Расчет температурной зависимости работы выхода ВаО / В. И. Капустин // Тез. докл. XXI Всесоюз. конф. по эмиссионной электронике. – Л. : ЛГТУ. – 1990. – Т. I. – С. 229.

24. Соболев В. Д. Физические основы электронной техники / В. Д. Соболев. – М. : Высш. школа. – 1979. – 440 с.

25. Моргулис, Н. Д. К вопросу об эффекте Шоттки для сложных полупроводниковых катодов / Н. Д. Моргулис // *ЖЭТФ*. – 1946. – Т. 16. – № 11. – С. 959–964.

26. Зандберг, Э. Я. Поверхностная ионизация / Э. Я. Зандберг, Н. И. Ионов. – М. : Наука. – 1969. – 432 с.

27. Аристархова, А. А. Применение метода рассеяния ионов низких энергий для элементного анализа поверхности твердого тела / А. А. Аристархова [и др.] // *Электроника*. – 1973. – С. 79–82.

28. Москаленко, В. Ф. Импульсный разряд в ксеноне и смеси гелий-ксенон / В. Ф. Москаленко, В. П. Остапченко, В. А. Черников // *Электронная техника. Сер. Газоразрядные приборы*. – 1970. – Вып. 4. – С. 20–27.

29. Пикус, Г. Я. Влияние постоянного электрического поля на электропроводность окислов щелочноземельных металлов / Г. Я. Пикус, В. П. Тетеря, В. Ф. Шнюков // *Радиотехника и электроника*. – 1969. – Т. XIV. – № 1. – С. 184–186.

30. Никонов, Б. П. Модель оксидного катода с поверхностными донорными центрами / Б. П. Никонов // *Изв. акад. науки. СССР*. – 1971. – Т. XXXV. – № 2. – С. 270–277.

31. Zalm, P. Thermoionic cathodes. *Advan. Electron Electron. Phys.* / P. Zalm. – 1968. – Vol. 25. – P. 211.

32. Князев, А. Я. Влияние поверхности на работу выхода и электропроводность оксидного катода / А. Я. Князев // *Электронная техника. Сер.1. Электроника СВЧ*. – 1972. – № 9 – С. 54–66.

33. Свешников, В. К. Метод увеличения выхода электронов с катода в приборах тлеющего разряда / В. К. Свешников, С. В. Аткарский // *Учебный эксперимент в образовании*. – 2010. – № 4. – С. 79–81.

УДК 538.945

## МОДЕЛЬ РЕЗИСТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛАБЫХ СВЯЗЕЙ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ СВЕРХПРОВОДНИКЕ

М. А. Васютин, Н. Д. Кузьмичев

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет  
им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

Предложена модель слабосвязанного сверхпроводника, основанная на особенностях перехода от одиночной слабой связи к односвязной поверхности при снятии вольт-амперных характеристик. Обоснован метод нахождения функций распределения слабых связей по высшим гармоникам напряжения. Определена функциональная зависимость, соответствующая плотности функции распределения слабых связей по току. Найден максимальный критический ток слабых связей сверхпроводника.

*Ключевые слова и фразы:* сверхпроводимость, резистивные поверхности, функция распределения слабых связей.

Исследования слабосвязанных высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) интенсивно продолжают как в направлении изучения физических свойств определенных одиночных слабых связей [1], так и в рассмотрении слабосвязанной подсистемы в целом [2]. Переход от одной слабой связи к системе можно изучать по виду вольт-амперных характеристик (ВАХ) ВТСП. При этом ВАХ ВТСП, отражающие механизмы подавления сверхпроводимости, могут описываться гораздо точнее и быть более информативными (в частности, в определении функций распределения слабых связей по току, температуре и магнитному полю), если дополняются токовыми зависимостями гармоник напряжения [3–5].

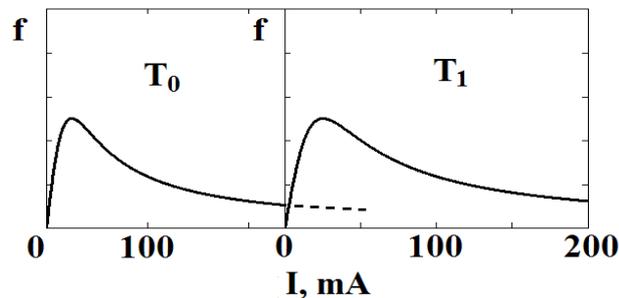
Модели ВАХ ВТСП подробно разобраны в обзорах [6; 7]. Механизмы ВАХ поликристаллов ВТСП вблизи температуры перехода образца в сверхпроводящее состояние ( $T_c$ ) условно разделяются на два класса: перколяционные модели и модели движения вихрей. В отсутствие магнитного поля вклад второго механизма несущественен. Перколяционная природа проводимости в ВТСП  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  (YBCO) (когда размеры гранул намного меньше длины когерентности) при переходе в сверхпроводящее состояние была доказана в изящном эксперименте по одновременному исследованию двух одинаковых образцов разными способами (температурная зависимость сопротивления и восприимчивости) [8]. При этом учитывался разброс по  $T_c$  гранул сверхпроводника. В данной работе рассматриваются распределения слабых связей YBCO.

В предлагаемой модели сверхпроводник представляет собой хаотически ориентированные гранулы, границы которых являются слабыми связями, имеющими плотность функции распределения по критическим токам  $f(i_c)$  с

максимумом при определенном значении  $i_c$ . Предполагается, что переход слабой связи в резистивное состояние происходит скачком, т. е. мы пренебрегаем остающейся малой сверхпроводящей частью тока через слабую связь при достижении тока  $i_c$ . Предполагается, что сопротивление всех слабых связей одинаково, а увеличение температуры лишь сдвигает  $f(i_c)$  в сторону уменьшения тока, не изменяя ее вида.

Напряжение на образце появляется тогда, когда бесконечный сверхпроводящий кластер, соединяющий потенциальные контакты, разрывается. При этом существует определенная температура  $T_0$ , при которой самая слабая связь переходит в резистивное состояние (разрушается) при сколь угодно малом токе. Для этой температуры критический ток образца  $I_c$  не равен нулю. При повышении температуры  $I_c$  уменьшается, так как растет число разрушенных слабых связей, и при достижении некоторой температуры  $T_1$  критический ток  $I_c$  становится равным нулю (рис. 1).

Значительная часть слабых связей при  $T_1$  уже разрушена, требуется учесть лишь оставшиеся. Для иллюстрации этого процесса рассмотрим сечения образца, перпендикулярные направлению тока. Толщину сечений выберем равной среднему размеру гранулы. Тогда, рассматривая некоторое самое «слабое» сечение, можно заключить, что оно при температуре  $T_1$  будет содержать наибольшее (но не максимально возможное) количество разрушенных слабых связей.



**Рис. 1.** Плотности функций распределения слабых связей по току при температуре  $T_0$  и слабых связей (штриховая линия) и резистивных поверхностей при температуре  $T_1$

Принимая во внимание трехмерность задачи, вместо плоскости получим некоторую самую «слабую» поверхность («критическую» в формулировке авторов работы [9]). Учитывая равновероятность распределения слабых связей по трем направлениям в пространстве, можно определить пороговое значение еще неразрушенных слабых связей  $p_c$ , при котором на образце появляется напряжение. Экспериментальные оценки для трехмерной кубической решетки дают значение  $p_c \approx 0,25$  [6; 10].

При температурах  $T \geq T_1$  увеличение тока от нуля до некоторого текущего значения  $I$  приводит к появлению на образце напряжения:

$$V I = R_0 I + R_1 \int_0^I F i_r di_r, \quad (1)$$

где  $R_0$  – линейное сопротивление образца, обусловленное металлическим характером проводимости слабых связей, равно нулю при  $T_1$ ;  $R_1$  – нелинейное сопротивление, возникающее при увеличении числа резистивных поверхностей,  $F(i_r)$  – плотность функции распределения резистивных поверхностей по току.

Функция  $F(i_r)$  определяется видом функции распределения  $f(i_c)$  с учетом того, что используется «хвост» этой функции (штриховая линия на рис. 1):

$$F(i_r) = \frac{N(i_r)}{1+[N(i_r)]^2},$$

где  $N i_r = \int_0^{i_r} \frac{i+I_0}{1+i+I_0} di$  – число слабых связей, разрушенных при увеличении тока от  $I_0$  до текущего значения. Ток  $I_0$  определялся из равенства:

$$\int_0^{I_0} \frac{i}{1+i^2} di = 1 - p_c \int_0^{I_{max}} \frac{i}{1+i^2} di. \quad (2)$$

При нахождении  $N(i_r)$  предполагалось, что плотность функции распределения слабых связей  $f(i_c)$  имеет вид нелинейной части сопротивления образца, а значит, близка к токовой зависимости второй гармоники напряжения  $U_2(I)$ . Вторая гармоника при температурах  $T_1$  и выше хорошо аппроксимируется функцией  $I/(1+I^2)$ :

$$f(i_c) = \frac{i_c}{1+i_c^2}. \quad (3)$$

Число разрушенных слабых связей в данном случае (когда учтен лишь «хвост»):

$$N i_r = \frac{1}{2} \ln \frac{1+I_0+i_r^2}{1+I_0^2},$$

где  $I_0 = I_m \sqrt{1 + \frac{I_{max}^2}{I_m^2} (1-p_c)^{1/2} - 1}$ . Для согласования функции (3) с экспериментальной токовой зависимостью применялось значение тока ее максимума –  $I_m = 25$  мА. При этом  $I_0 = 270$  мА.

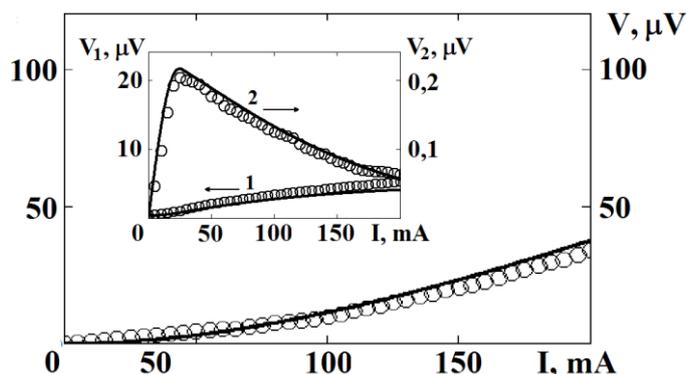
Определяя  $f(i_c)$  по второй гармонике (как и  $F(i_r)$ ) и зная  $p_c$ , а тем самым и  $I_0$  (изменяющимся параметром является максимальный критический ток слабых связей  $I_{max}$  при  $T_0$ ), по формулам (1) (2) и (3) можно вычислить функцию  $V(I)$ . Разлагая ее в ряд Фурье и находя амплитуды первой и второй гармоник, можно описывать экспериментальные токовые зависимости.

На рис. 2 приведены экспериментальные и расчетные данные для ВАХ, первой и второй гармоник напряжения.

На вставке показаны токовые зависимости первой  $V_1(I)$  и второй  $V_2(I)$  гармоник напряжения на том же образце. Светлые круги – экспериментальные данные, сплошные линии – расчет по формулам 1–3. Амплитуда пере-

менного тока – 27 мА, частота – 1 кГц. Ошибка измерения равна диаметру кругов

Хорошее согласие экспериментальных и расчетных данных не только для ВАХ, но и для первой и второй гармоник напряжения является достаточно весомым аргументом в пользу того, что  $f(i_c)$  имеет именно вид (3). Третья и более высокие гармоники не учитывались из-за их малости по сравнению с первой и второй. Отметим, что вторая гармоника до сих пор не была предметом специального исследования и функции  $f(i_c)$  выбирались достаточно произвольно.



**Рис. 2.** Вольт-амперная характеристика  $V(I)$  образца ВТСП YBCO при температуре обращения в ноль критического тока в нулевом магнитном поле

В эксперименте применялся обычный четырехконтактный метод измерений. Сопротивление контактов было меньше 3 мΩ. Постоянный ток  $I$  менялся от нуля до 200 мА, амплитуда переменного – до 27 мА. Напряженность магнитного поля –  $0 < H < 25$  Ое.

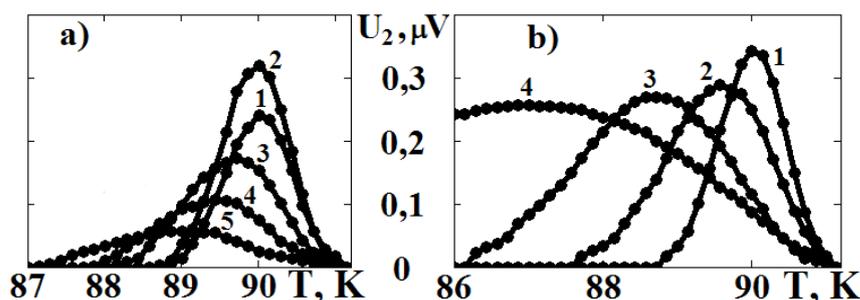
Образцы имели размеры  $10 \times 5 \times 1$  мм<sup>3</sup>,  $T_c$  – от 91,4 К до 92,3 К, ширину перехода  $\Delta T_c$  – от 0,7 К до 1,4 К. Плотность  $\rho \approx 4,18$  г/см<sup>3</sup>. Более подробно методика экспериментов и предварительные данные на подобных образцах приведены в работах [3–5].

Для аппроксимации использовались только два параметра:  $I_{\max} = 600$  мА и  $R_1 = 0.72$  мΩ ( $R_0 \approx 0$  для  $T_1$ ). Одновременное приближение экспериментальных данных ВАХ, первой и второй гармоник напряжения зависимостями  $V(I)$ ,  $V_1(I)$  и  $V_2(I)$  накладывает очень сильные ограничения на вид функции распределения  $f(i_c)$ .

Увеличение температуры приводит к уменьшению  $I_{\max}$  и увеличению  $R_0$  и  $R_1$ , что соответствует эксперименту. Некоторое несоответствие экспериментальных и расчетных данных при токах  $I > 150$  мА объясняется дополнительной линейной зависимостью сопротивления каждой разрушенной слабой связи от тока при  $T > T_1$ .

В магнитном поле при отличном от нуля критическом токе в ВТСП проявляются фрактальные свойства [11; 12], усложняющие вид ВАХ. Разброс слабых связей по  $T_c$  иллюстрируется здесь температурными зависимостями

второй гармоники напряжения при различных токах и магнитных полях (рис. 3).



**Рис. 3.** Температурные зависимости второй гармоники напряжения  $U_2(T)$  на поликристаллическом образце YBCO при амплитуде тока 27 мА частотой 1 кГц:

а) при различных постоянных токах  $I$  в нулевом магнитном поле:

1 – 10 мА, 2 – 15 мА, 3 – 50 мА, 4 – 96 мА, 5 – 210 мА;

б) в различных магнитных полях  $H$  при постоянном токе  $I = 17.3$  мА:

1 – 0, 2 – 3.4 Ое, 3 – 7.7 Ое, 4 – 25 Ое

В отличие от магнитополевой, токовая зависимость второй гармоники  $U_2$  (рис. 3а) проще и, по сути дела, отображает функцию распределения слабых связей по температуре гауссовым законом. При токах от нуля до некоторого тока максимума  $U_2(I)$  зависимость  $U_2(T)$  не меняет температурного положения максимума, увеличиваясь только по значению.

Дальнейшее увеличение тока приводит к смещению положения максимума в сторону низких температур, не меняя высокотемпературную точку обращения в нуль  $U_2(T)$ , близкую к  $T_c$ .

Зависимости  $U_2(T)$  в различных магнитных полях (рис. 3б) имеют вид асимметричных максимумов, которые смещаются в сторону низких температур при увеличении  $H$ . При этом высокотемпературная точка обращения в нуль  $U_2(T)$  не смещается.

Величина максимума  $U_2(T)$  с ростом поля уменьшается вначале быстро ( $dU_2/dH = 30$  нВ/Ое,  $H < H^* \approx 10$  Ое), затем – на порядок медленнее ( $dU_2/dH = 3$  нВ/Ое,  $H > H^*$ ).

Зависимость  $U_2(H)$  при температуре максимума в нулевом поле при увеличении  $H$  выше 7–10 Ое выходит на плато. Объяснить полученные зависимости можно, по-видимому, лишь с привлечением механизмов, учитывающих разброс гранул по  $T_c$ : модели анизотропных сверхпроводящих гранул [13] и модели особого состояния сверхпроводника вблизи  $T_c$  при магнитных полях, близких к критическим [14]. Основанием для использования этих моделей является наличие в образцах некоторой части гранул с пониженным значением  $T_c$ , что приводит к перекрытию плотностей функций распределения гранул и межгранульных связей по  $T_c$ .

Зная значения  $I_{\max}$  при  $T_0$ ,  $I_0$  при  $T_1$  и принимая  $I_{\max} = 0$  при  $T_2$ , можно определить скорость уменьшения максимального критического тока с увеличением температуры. Для наших образцов  $dI_{\max}/dT \approx 167$  мА/К.

Таким образом, показано, что анализ ВАХ ВТСП с учетом высших гармоник напряжения в рамках модели резистивных поверхностей приводит к установлению вида функции распределения слабых связей по току и ее качественному определению по температуре и магнитному полю.

Кроме того, данная модель позволяет определить максимальный критический ток слабых связей в качестве единственного изменяемого параметра при фиксированных значениях сопротивлений.

#### Литература

1. Kupriyanov, M. Yu. / M. Yu. Kupriyanov, M. M. Khapaev, Y. Y. Divin, V. N. Gubankov // Pis'ma v ZhETF. – 2012. – № 95. – С. 317.
2. Балаев, Д. А. / Д. А. Балаев, А. А. Быков, С. В. Семенов // ФТТ. – 2011. – № 53. – С. 865.
3. Васютин, М. А. / М. А. Васютин, Н. Д. Кузьмичев // Письма в ЖТФ. – 1992. – № 18. – С. 5.
4. Кузьмичев, Н. Д. / Н. Д. Кузьмичев // ЖТФ. – 1994. – № 64. – С. 63.
5. Васютин, М. А. / М. А. Васютин, Н. Д. Кузьмичев, В. В. Славкин // Прикладная физика. – 1995. – № 2. – С. 51.
6. Мейлихов, Е. З. / Е. З. Мейлихов // УФН. – 1993. – № 163. – С. 27.
7. Хирный, В. Ф. / В. Ф. Хирный, А. А. Козловский // УФН. – 2004. – № 174. – С. 285.
8. Гантмахер, В. Ф. / В. Ф. Гантмахер, А. М. Неминский, Д. В. Шовкун // Письма в ЖЭТФ. – 1990 – № 52. – С. 1214.
9. Rhyner, J./ J. Rhyner, G. Blatter // Phys. Rev. – 1989. – В. 40, – Р. 829.
10. Bernasconi, J. / J. Bernasconi // Phys. Rev. – 1978. – В. 18. – Р. 2185.
11. Васютин, М. А. / М. А. Васютин // Письма в ЖТФ. – 2011. – № 37. – С. 1.
12. Терентьев, К. Ю. / К. Ю. Терентьев, Д. М. Гохфельд, С. И. Попков // ФТТ. – 2011. – № 53. – С. 2289.
13. Аронзон, Б. А. / Б. А. Аронзон, Ю. В. Гершанов, Е. З. Мейлихов, В. Г. Шапиро // СФХТ. – 1989. – № 2. – С. 83.
14. Батыев, Э. Г. / Э. Г. Батыев // ЖЭТФ. – 2012. – № 142. – С. 151.

УДК 615.27 : 616.127 – 092.4

### СПЕКТРЫ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ТКАНЕЙ СЕРДЕЧНЫХ МЫШЦ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ИНФАРКТЕ МИОКАРДА

**М. Н. Замотаева, Н. Д. Кузьмичев, И. А. Дроздов**

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет  
им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

В работе выполнены исследования электронного парамагнитного резонанса спектров тканей сердца, печени и легкого интактных крыс и крыс контрольной группы с экспериментальным инфарктом миокарда. Метод может быть ис-

пользован в учебном эксперименте при обучении студентов биофизиков, биохимиков, биологов и медиков.

*Ключевые слова и фразы:* электронный парамагнитный резонанс, инфаркт миокарда, эксперимент.

### **Введение**

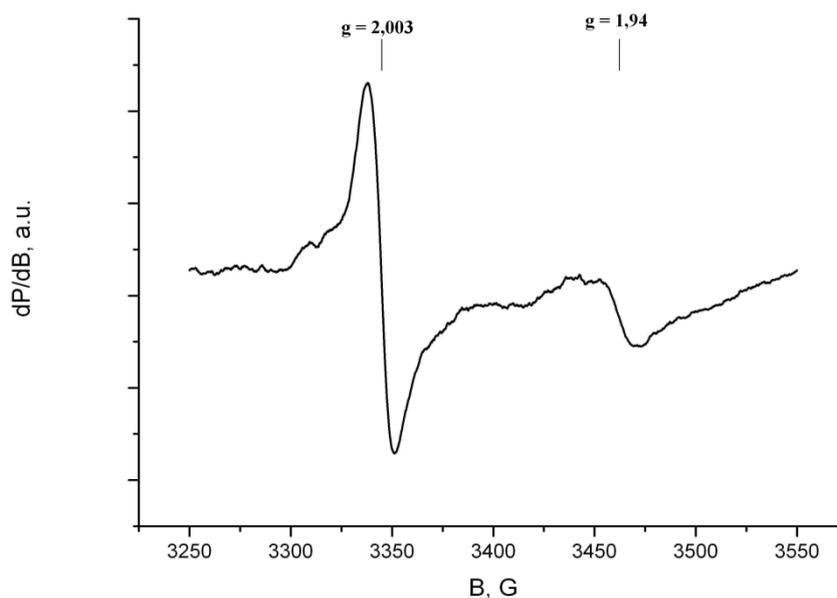
Проблема изучения причин заболеваний сердца и их лечения обогатилась в последнее время раскрытием механизма повреждения клеточных структур. Например, избыточная продукция активных форм кислорода вызывает усиленное окислительное повреждение биомолекул. Самая высокая степень активности показателей перекисного окисления липидов выявлена у больных с острым инфарктом миокарда. Эти изменения могут быть выявлены методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), поскольку в важнейших ферментативных и окислительно-восстановительных процессах активными промежуточными состояниями являются свободные радикалы и парамагнитные состояния металлокомплексов [1; 2]. Хорошо известна связь между содержанием парамагнитных центров и уровнем окислительно-восстановительных реакций [2–4].

Таким образом, с помощью метода электронного парамагнитного резонанса можно изучать метаболизм и механизм действия лекарственных препаратов, применяемых при лечении инфаркта миокарда, а также использовать этот метод в учебном эксперименте при обучении студентов биофизиков, биохимиков, биологов и медиков.

### **Экспериментальная методика и результаты**

В настоящей работе выполнены исследования ЭПР спектров тканей сердца, печени и легкого интактных крыс и крыс контрольной группы с экспериментальным инфарктом миокарда.

Использовались образцы тканей органов массой от 80 до 120 мг, которые сразу же после удаления из организма крыс помещались во фторопластовые капсулы, прикреплялись к кварцевым держателям и замораживались в жидком азоте ( $T \approx 77 \text{ K}$ ). Спектры ЭПР тканей крыс регистрировались ЭПР спектрометром X-диапазона CMS-8400 («АДАНИ»-Минск) при температуре жидкого азота.

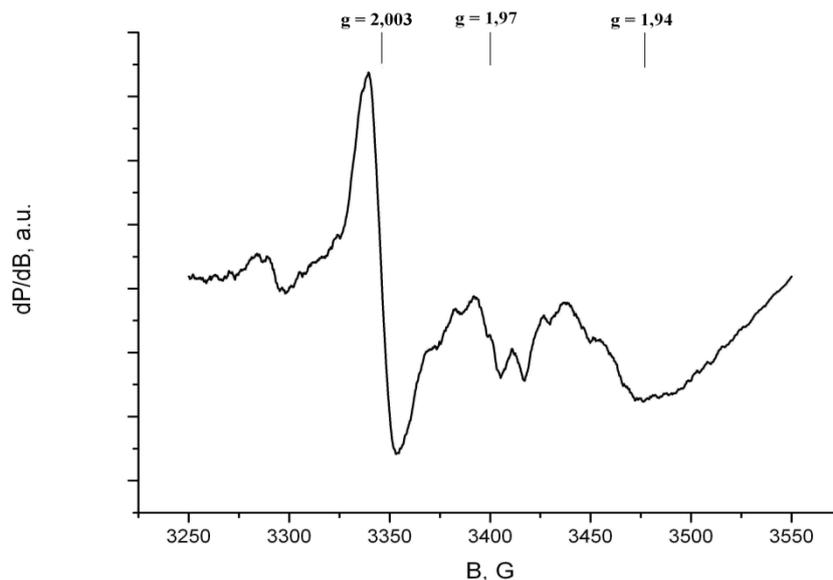


**Рис. 1.** Спектр ЭПР ткани сердца интактной крысы

По оси  $x$  отложена индукция  $B$  магнитного поля в гауссах (G), а по оси  $y$  производная по величине индукции магнитного поля от поглощенной СВЧ мощности, т. е.  $dP/dB$  в произвольных единицах (arbitrary units – a. u.). Значения фактора Ланде  $g$  для свободных радикалов и Fe-S центров приведены на рис. 1.

Все полученные спектры (рис. 1–3) содержали сигналы от свободных радикалов (CP) ( $g \cong 2,003$  – флавины, убихиноны) и Fe-S центров ( $g \cong 1,94$  и  $2,02$ ) локализованных в первом комплексе цепи электронного транспорта (ЦЭТ) митохондрий (восстановленные железосерные центры).

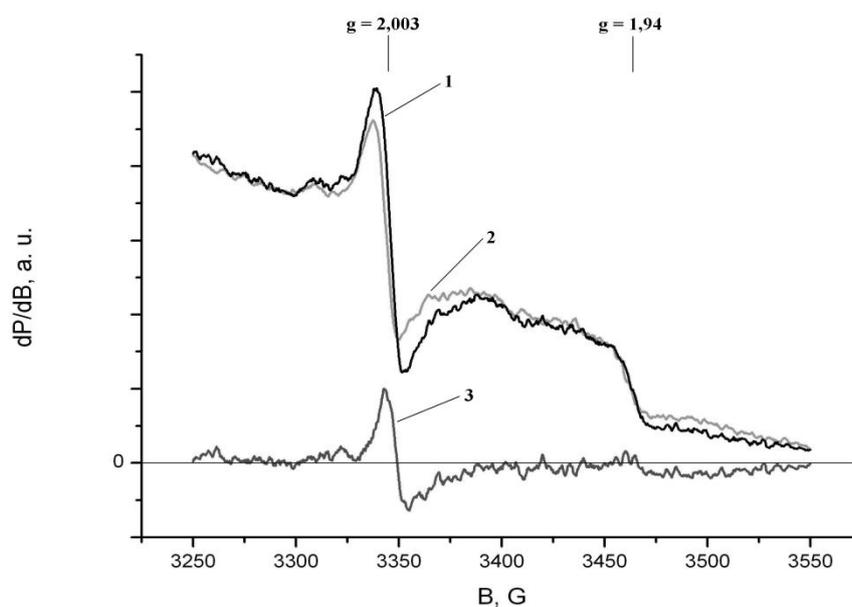
На рис. 1 приведен спектр ЭПР сердечной ткани интактной крысы. Из рисунка видно, что наиболее интенсивными являются сигналы с  $g$ -факторами равными 1,94 и 2,003.



**Рис. 2.** Спектр ЭПР печени интактной крысы

На рис. 2 приведены спектр ЭПР тканей печени интактной крысы. В печени кроме сигналов от СР и Fe-S центров наблюдаются и другие сигналы значительной интенсивности, например, сигнал от  $\text{Mo}^{5+}$ -содержащих ферментов ( $g = 1,97$ ).

Спектр ЭПР легкого значительно слабее спектров сердца и печени и содержит в основном сигнал от СР, а остальные сигналы по интенсивности сравнимы с шумовым фоном.

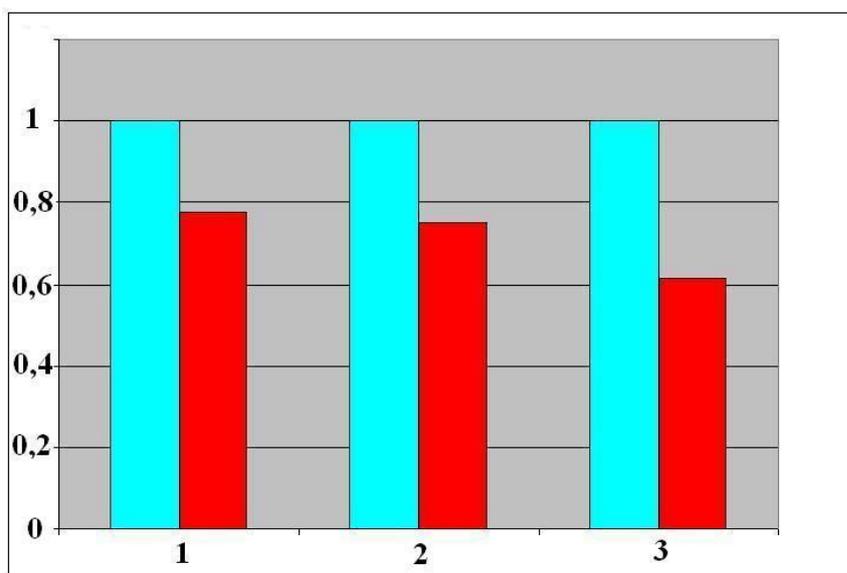


**Рис. 3.** Спектры ЭПР сердечной ткани крысы контрольной группы: 1 – неповрежденная часть миокарда, 2 – поврежденная часть миокарда, 3 – сигнал представляющий собой разность сигналов 1 и 2

На рис. 3 приведены спектры ЭПР неповрежденной (1) и поврежденной (2) тканей сердца контрольной крысы после перевязки нисходящей ветви левой коронарной артерии. Из кривой (3), которая представляет собой разность сигналов (1) и (2), хорошо видно, что СР сигнал неповрежденной ткани превышает СР сигнал поврежденной части. Сигналы Fe-S центров отличаются слабо. На рис. 4 выполнено сравнение СР сигналов для трех крыс контрольной группы.

Интенсивность СР сигналов неповрежденной части миокарда ( $I = \max(dP/dB) - \min(dP/dB)$ ) нормировалась на единицу (светлые столбики). Интенсивность СР сигналов от поврежденных частей миокарда (темные столбики) составляла 60–80 % от интенсивности СР сигналов неповрежденных частей миокарда.

При сравнении интенсивности ЭПР сигналов тканей сердец от свободных радикалов интактных крыс и аналогичных сигналов от неповрежденных частей тканей сердец крыс контрольной группы (рис. 1; 3) видно, что ЭПР сигнал тканей сердец интактных крыс на 5–8 % интенсивнее.



**Рис. 4.** Результаты сравнения интенсивности СР сигналов от неповрежденной (светлые столбики) и поврежденной (темные столбики) частей миокарда

По оси  $x$  отложены номера крыс контрольных групп. По оси  $y$  отложены интенсивности СР сигналов. Интенсивность СР сигналов от неповрежденной частей миокарда принималась за единицу.

Динамика изменения интенсивности СР сигналов от неповрежденной и поврежденной частей миокарда, полученная сразу же после удаления из организма крысы и после хранения образцов в жидком азоте спустя несколько суток показывает слабые изменения интенсивности сигналов в пределах 3–5 %.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов по исследованию ЭПР спектров тканей сердец интактных крыс и крыс контрольной груп-

пы с экспериментальным инфарктом миокарда показывают, что инфаркт миокарда приводит к подавлению внутриклеточных дыхательных процессов, к значительному изменению окислительно-восстановительных процессов, к уменьшению активных промежуточных свободных радикалов.

### Литература

1. Руге, Э. К. Редокс-состояние переносчиков электрон-транспортной цепи митохондрий сердца в условиях перфузии-ишемии-реперфузии: исследование методом низкотемпературной ЭПР-спектроскопии / Э. К. Руге, В. Л. Лакомкин, А. А. Тимошин // Биофизика. – 1997. – Т. 42. – Вып. 6. – С. 1240–1246.
2. Пулатова, М. К. Электронный парамагнитный резонанс в радиобиологии / М. К. Пулатова, Г. Т. Рихирева, З. В. Куроптева. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 232 с.
3. Адамян, Л. В. Нарушение электронно-транспортной цепи как проявление оксидативного стресса при эндометриозе / Л. В. Адамян, Е. Н. Бугрова В. Д. , Микоян, А. Ф. Ванин // Проблемы репродукции. – 2007. – № 5. – С. 103–107.
4. Замотаева, М. Н. Исследование парамагнитных центров при экспериментальном инфаркте миокарда и на фоне коррекции мексидолом / М. Н. Замотаева, А. М. Зюзин, Н. Д. Кузьмичев // Железнодорожный транспорт: наука, техника, образование : мат. Всерос. науч.-практ. конф. 25 ноября 2011 г. – 2011. – С. 141–143.

УДК 519.64; 538.945; 537.62

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАМАГНИЧИВАНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ДИСКОВ В ПЕРЕМЕННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

**Н. Д. Кузьмичев, А. А. Федченко**

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет  
им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

В работе описывается программный комплекс, на основе которого моделируется процесс проникновения магнитного поля в жесткий сверхпроводник второго рода. Программа позволяет рассчитывать карты распределения экранящего сверхтока и магнитного поля, гистерезисные петли кривых намагниченности и гармоника намагниченности. Программный комплекс можно использовать при исследовании магнитных свойств новых сверхпроводников, а также в учебном процессе при изучении свойств сверхпроводников II рода.

*Ключевые слова и фразы:* модель, сверхпроводимость, гистерезис, намагниченность.

С целью детального изучения поведения сверхпроводников второго рода согласно моделям критического состояния была разработана специальная программа, которая позволяет проводить численные расчеты важных характеристик сверхпроводника под воздействием внешних переменных и по-

стоянных магнитных полей, изучать полученные зависимости, анализировать и сравнивать их с экспериментальными данными. Моделирование проникновения магнитного поля в сверхпроводник II рода включает в себя несколько аспектов, каждый из которых характеризует происходящие в сверхпроводнике процессы.

Процесс моделирования охватывает собой решение следующих задач:

I. Расчет карт распределения экранирующего сверхтока.

II. Расчет карт распределения полного магнитного поля.

III. Расчет кривых намагниченности.

IV. Расчет гармоник намагниченности.

В общей структуре программы можно выделить три взаимосвязанных компонента. Каждый из этих компонентов представляет собой логически завершенный и оформленный блок функций и классов, решающий специализированную задачу по сбору, анализу и выводу информации. Ядро программы – это большой комплекс различных классов, их объектов и функций; основная цель – расчет критического состояния согласно различным моделям с использованием алгоритмов численных методов.

Расчет критического состояния согласно основным моделям сверхпроводников II рода включает в себя нахождение величины напряженности магнитного поля для моделей Бина, Кима, Кима-Андерсена и других.

Все необходимые для расчета параметры можно задать с помощью разработанного интерфейса. Данное приложение включает в себя диалоговые окна и элементы управления.

В силу симметрии расчет карт распределения осуществляется для  $\frac{1}{4}$  поперечного сечения образца. При вычислении карт распределения используется сетка  $L \times K$ , ( $L$  шагов вдоль радиуса  $r$  и  $K$  вдоль оси  $z$ ). Для каждого узла этой сетки рассчитываются соответствующие ей величины радиальной и осевой составляющих напряженностей полного магнитного поля  $H_z$  и  $H_r$  при заданной величине напряженности  $H_0$  внешнего магнитного поля.

Гистерезисные петли намагниченности (рис. 1) рассчитываются при колебании внешнего магнитного в некоторых заданных пределах. Поле имеет две компоненты: переменную, изменяющуюся с некоторой частотой, и постоянную (необязательный компонент). Расчет производится для каждого момента времени в течение всего периода изменения магнитного поля с учетом предыдущего воздействия на образец. Вычисление намагниченности основано на расчете трех ключевых радиусов. Расчет начинается с вычисления величины радиуса  $\rho$ , на глубину которого проникло внешнее магнитное поле, затем – радиусов  $\lambda$  и  $\zeta$ , в которых направление течения тока критической плотности меняет свой знак.

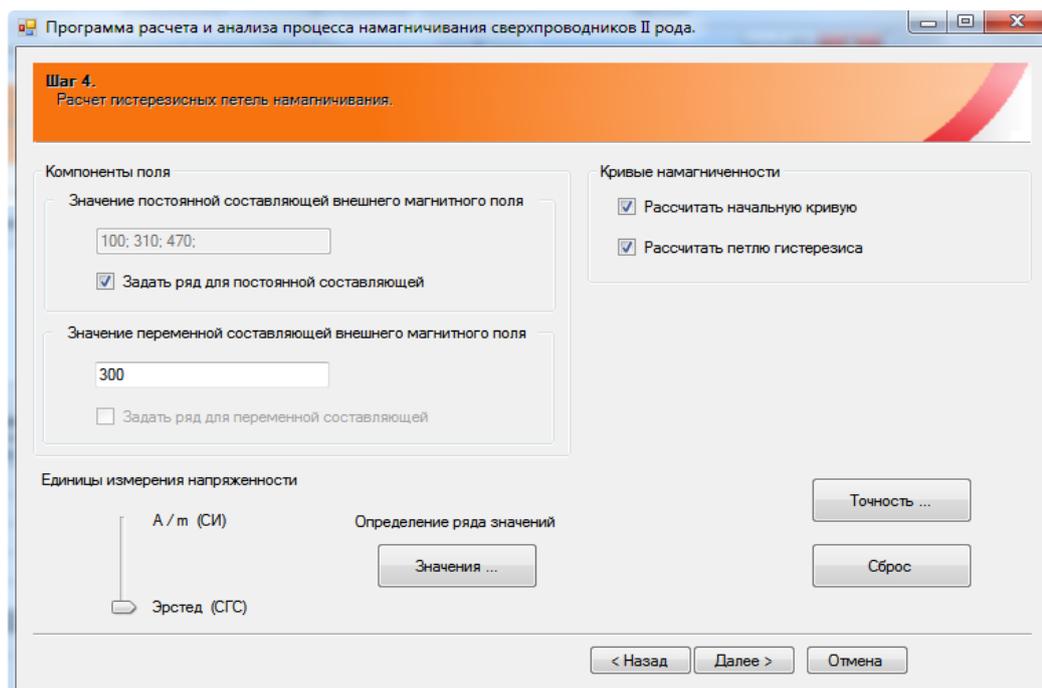


Рис. 1. Страница ввода параметров для расчета кривых намагниченности

Важной частью проведенных расчетов магнитных характеристик сверхпроводника на основе моделей критического состояния было вычисление и исследование гармоник сигнала отклика на изменяющееся внешнее магнитное поле. Программа позволяет вычислять синфазные и квадратурные части гармоник намагниченности и напряжения отклика сверхпроводника, помещенного в катушку индуктивности, под воздействием внешнего магнитного поля, сочетающего в себе две составляющие: постоянную  $H_d$  и переменную амплитудой  $h$ .

Одним из основных компонентов приложения стала реализация технологии многокомпонентных объектов (ComponentObjectModel, COM). Технология используется для того, чтобы сделать возможной соединение, обмен информацией и динамическое создание объектов процессами с помощью языков программирования. В качестве среды, используемой для визуализации результатов, используется графический комплекс OriginLab. После расчета в соответствии с выбранной моделью критического состояния программа устанавливает связь с клиентом комплекса и через COM-функции и скрипты LabTalk передает расчетные данные и задает команды на построение таблиц, матриц и графиков.

Формат вывода результатов расчета: текстовые файлы расширения txt кодировки ASCII и/или таблицы данных, графики и диаграммы в комплексе OriginLab. Приложение разработано на языке программирования C# в среде Microsoft Visual Studio 2010.

*Результаты работы для модели Кима-Андерсона.* Были вычислены оптимальные величины таких параметров как критическая плотность тока  $j_c$

и объемная плотность силы пиннинга  $\alpha$ , при которых модель критического состояния Кима-Андерсена наилучшим образом сходилась бы с результатами эксперимента, представленного в работе [1]. Расчет производился для используемых в эксперименте поликристаллических образцов состава  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  в виде коротких цилиндров.

На рис. 2 показаны кривые, построенные по экспериментальным и расчетным данным для амплитуд модуляций 100, 300 и 470 Ое переменной составляющей поля для второй гармоники намагниченности. Символами выделены кривые, построенные программой при таких же условиях [2].

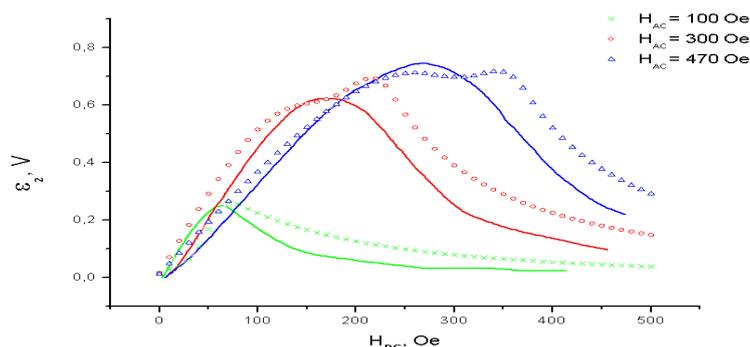


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и расчетных данных для второй гармоники

Для одного из образцов с найденными характеристиками  $\alpha$ ,  $j_c(0)$  и  $H_0$  была рассчитана гистерезисная петля намагниченности при амплитуде модуляции переменного магнитного поля 300 Ое (рис. 3).

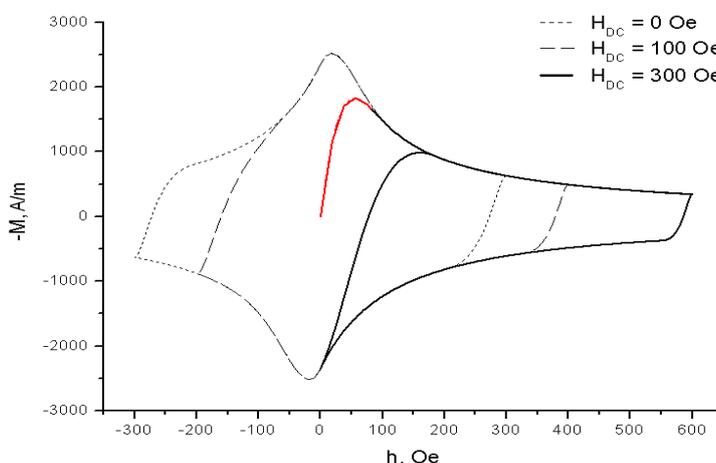


Рис. 3. Петли намагниченности, рассчитанные программой

Полученный в результате расчета карт распределения поля массив представляет собой распределение напряженности магнитного поля в одной четверти сечения сверхпроводящего образца. Объемный график, демонстрирующий распределение поля  $H_z(z,r)$  для цилиндра с геометрическим соотношением сторон  $d/2R = 0,25$ , представлен на рис. 4. При этом принималось, что внешнее поле проникло на глубину  $a = 0,8 R$  ( $R$  – радиус образца). Внутренняя область образца, незатронутая магнитным полем, образует практически ровную поверхность, контур которой определяется уравнением  $z(r)$  модели

критического состояния Бина, учитывающей искривление линий магнитного поля [3]. В остальной области напряженность поля отлична от нуля, а на границе сверхпроводника наблюдается значительный «скачок» напряженности. При большом удалении от образца значение поля стремится к величине внешнего поля  $H_0$ . Для того чтобы иметь возможность сравнить распределение магнитного поля в зависимости от процента проникновения, построена контурная диаграмма (рис. 5). Она включает в себя три случая:  $a/R = 0,2$ ;  $0,5$  и  $0,8$ .

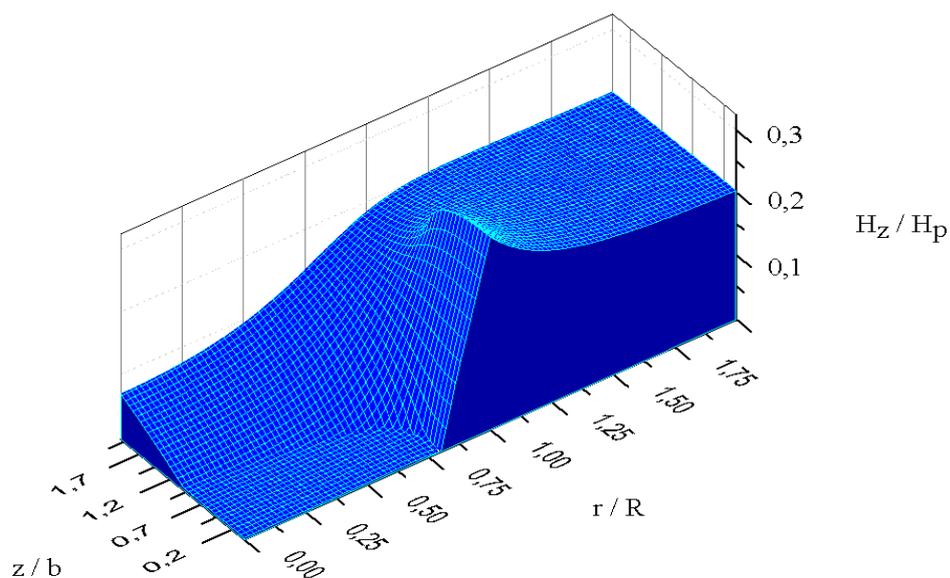


Рис. 4. Объемный график-поверхность распределения осевой составляющей напряженности

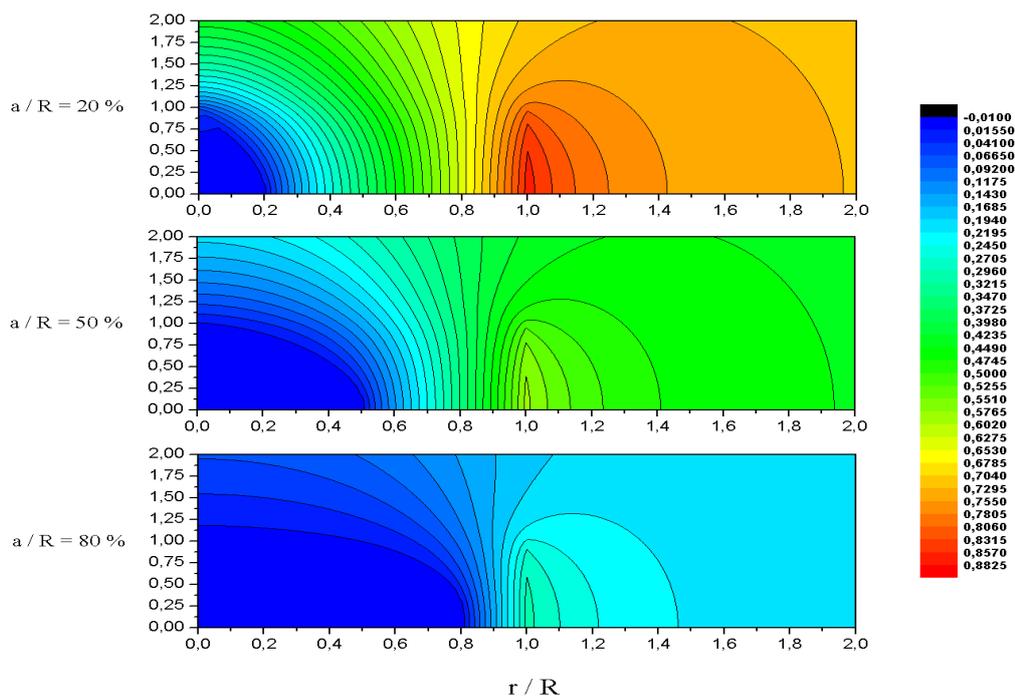


Рис. 5. Цветные контурные диаграммы распределения  $H_z$

### Литература

1. Кузьмичев, Н. Д. Генерация гармоник поликристаллическими  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  в сильных переменных магнитных полях / Н. Д. Кузьмичев, В. В. Славкин // Письма в ЖТФ. – 1992. – Т. 18. – Вып. 8. – С. 11–15.
2. Кузьмичев, Н. Д. Математическое моделирование нелинейного отклика короткого цилиндра из жесткого сверхпроводника / Н. Д. Кузьмичев, А. А. Федченко // Изв. высш. уч. зав. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2011. – № 3 (19). – С. 110–119.
3. Кузьмичев, Н. Д. Намагниченность коротких цилиндров жестких сверхпроводников второго рода и карта распределения экранирующего сверхтока в модели Бина / Н. Д. Кузьмичев, А. А. Федченко // ЖТФ. – 2012. – Т. 82. – Вып. 5. – С. 61–65.

УДК 535.345.673

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ СВЕТОФИЛЬТРОВ ДЛЯ АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧ

**А. С. Иванцев**

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет  
им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

Описан экспериментальный метод изготовления узкополосных диэлектрических многослойных светофильтров на основе чередующихся слоев сернистого цинка и фтористого магния для мультиплексоров, применяемых в атмосферных оптических системах передач. Описанный эксперимент позволит более качественно объяснить работу атмосферной оптической системы передачи студентам, обучающимся по специальности 210406.65 «Сети связи и системы коммутации» и направлению 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

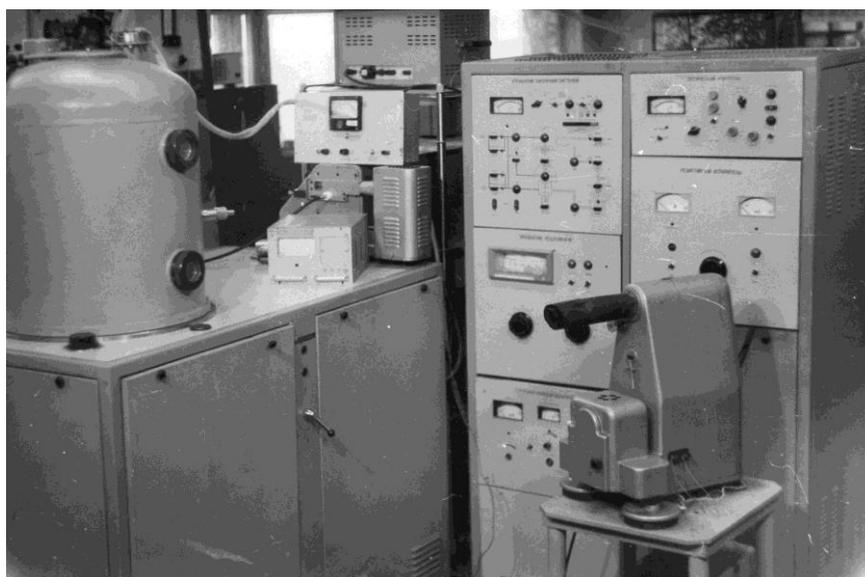
*Ключевые слова и фразы:* показатель преломления, геометрическая толщина, оптическая толщина, диэлектрический слой, фотометрический контроль.

В работах [1; 2] описаны конструкция мультиплексора для атмосферной оптической системы передачи и метод конструирования светофильтров для оптической системы передачи (АОСП). При выборе технологии изготовления многослойных интерференционных светофильтров (МИП) для (АОСП) исходят из того, что диэлектрические пленки, составляющие МИП должны иметь строго заданные толщины, измеряемые с точностью до  $10^{-7}$  м. При этом во время нанесения диэлектрических слоев нужно производить точный контроль оптической толщины (произведения геометрической толщины на величину показателя преломления) слоя во время нанесения. Среди известных способов нанесения тонких диэлектрических слоев известны термиче-

ское испарение, катодное и плазменное распыление, электронно-лучевое испарение.

В данной работе остановимся на объяснении технологии напыления диэлектрических слоев методом термического испарения, так как он наиболее прост для понимания студентами. Получение диэлектрических слоев методом термического испарения происходит в три этапа: отрыв молекул, атомов или ионов от поверхности массивного вещества под действием термического нагрева; перенос материала от источника испарения или распыления к стеклянной подложке в виде пучка молекул, атомов или ионов с определенным углом испарения; осаждения на подложке [3; 4]. Весь процесс нанесения диэлектрических пленок всеми указанными методами, в том числе и методом термического испарения, производится только в атмосфере вакуума не хуже  $10^{-5}$  мм ртутного столба.

Из всех методов нанесения тонких пленок метод термического испарения в вакууме является наиболее гибким, оборудование для него наиболее простое, дешевое, характеризуется высокой производительностью. Для изучения технологии нанесения МИП на лабораторных занятиях была использована отечественная напылительная установка УРМЗ.279.011, изображенная на рис. 1.

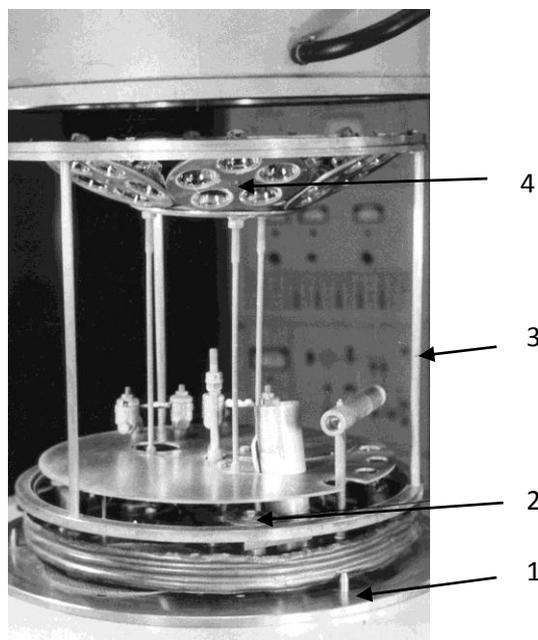


**Рис. 1.** Внешний вид вакуумной напылительной установки УРМЗ.279.011

Она предназначена для термического и электронно-лучевого испарения с оптическим контролем толщины пленок в процессе напыления и характеризуется следующими основными параметрами. Предельный вакуум в рабочей камере  $5 \cdot 10^{-7}$  мм рт. ст., время достижения предельного вакуума 2 часа. Размер рабочей камеры  $\varnothing 500 - 650$  мм, количество резистивных испарителей – 3, электронно-лучевых – 1, количество площадок диаметром 50 мм на карусели для размещения стеклянных дисков, на которые напыляются МИ-

Пы-24, скорость вращения карусели от 10 до 100 об/мин с плавной регулировкой, диапазон температур нагрева подложек от 100 до 400 °С.

Очищенные подложки помещались в специально сконструированное подколпачное устройство, представленное на рис. 2.



**Рис. 2.** Подколпачное устройство для напыления МИП:  
1 – основание вакуумной камеры; 2 – вращающийся ролик; 3 – карусель;  
4 – подложкодержатели

Устройство предусматривает вращение подложек в двух направлениях: вокруг оси камеры и вокруг собственной оси подложки. Благодаря такому «планетарному» вращению каждой подложки равномерность МИП довольно высокая (6–8 %), она полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к светофильтрам для оптических целей. Разработанное и изготовленное подколпачное устройство просто в эксплуатации, характеризуется отсутствием толчков при запуске и остановке, равномерностью вращения благодаря отсутствию зубчатых передач. «Планетарное» вращение подложкодержателей происходит за счет сил трения между отшлифованными металлическими поверхностями деталей карусели установки.

При достижении вакуума  $\sim 2 \cdot 10^{-2}$  мм рт. ст. подложки очищались в тлеющем разряде в течение  $\sim 3$ -х минут, затем вакуум возрастал до давления  $\sim 5 \cdot 10^{-6}$  мм рт. ст. и подложки прогревались методом лучистого нагрева до 240–260 °С в течение 10 минут, затем снижалась до 90–110 °С.

Для получения пленок  $ZnS$  испарялся порошковый сернистый цинк (ТУ6-09-4891-80), а для получения пленок  $MgF_2$  испарялся порошковый фтористый магний (ТУ6-09-4859-80). Порошки перед помещением в вакуумную камеру спрессовывались в таблетки и проходили термическую обработку в вакууме с целью спекания и очистки их от некоторых вредных примесей.

Толщины пленок  $ZnS$  и  $MgF_2$  контролировались фотометрическим методом по стеклу-спутнику. Схема контроля толщины пленок приведена на рис. 3.

Для монохроматизации контрольного пучка света применялись стандартные узкополосные интерференционные фильтры с полушириной пропускания  $\sim 15$  нм, настроенные на требуемые по расчету различные участки длин волн. При этом следует объяснить студентам, что через 1–2 года эксплуатации установки в серийном производстве наблюдается старение светофильтров, заключающееся в изменении спектрального состава пропущенного излучения и уменьшения коэффициента пропускания излучения. С целью ликвидации этого явления следует заменить светофильтры на стандартный монохроматор.

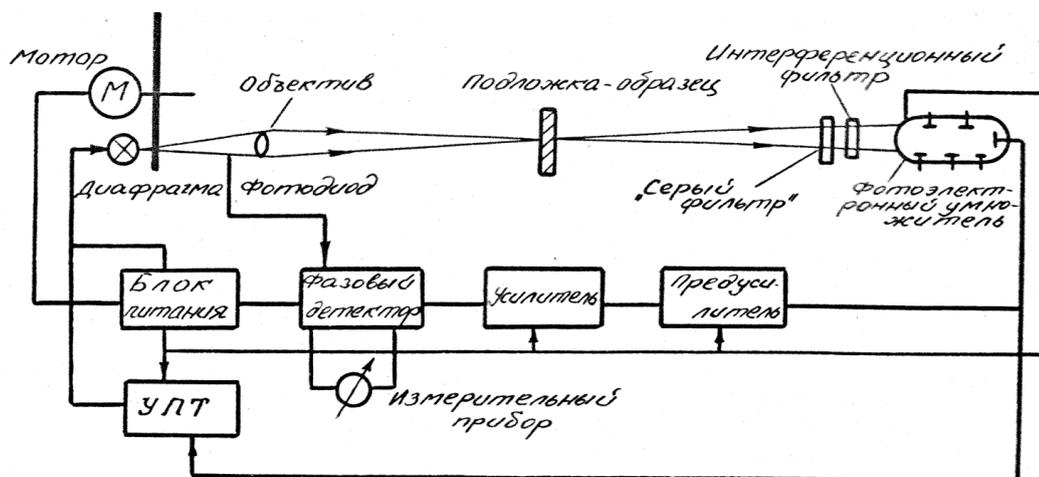
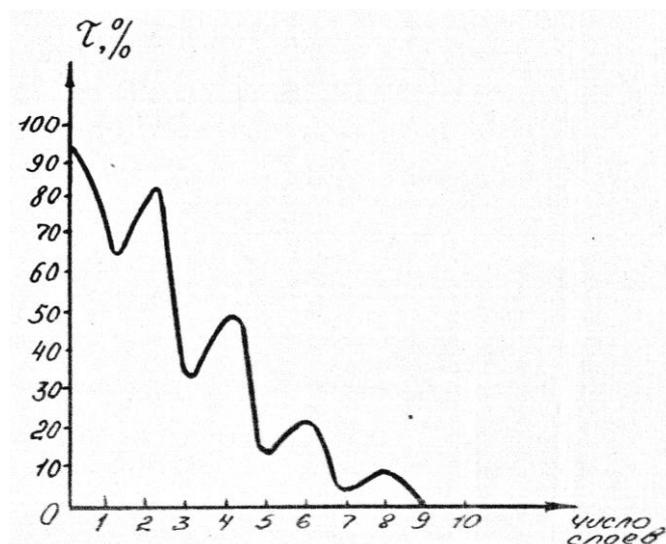


Рис. 3. Схема контроля толщины пленок  $ZnS$  и  $MgF_2$  фотометрическим методом во время напыления

Связь между системой оптического контроля напылительной установки и монохроматором осуществить волоконно-оптическим световодом [6; 7]. Во время напыления фиксировалась толщина каждого слоя  $ZnS$  и  $MgF_2$  по первому экстремуму светопропускания стекла-спутника, когда оптическая толщина пленки составляет  $\lambda/4$ , где  $\lambda/4$  – длина волны максимального пропускания контрольного светофильтра. По достижении экстремума пропускания молекулярный поток вручную отсекался от испарителя заслонкой и отключалось напряжение, питающее испаритель. Точность контроля толщины зависит от навыка оператора и может составлять 3–5 %.

При нанесении пленок  $ZnS$  коэффициент пропускания с увеличением толщины уменьшается и достигает минимума при оптической толщине  $\lambda/4$ , затем увеличивается, достигая максимума при  $\lambda/2$  и далее через каждые  $\lambda/4$  наблюдаются экстремумы. При напылении пленок  $MgF_2$  с увеличением толщины последней повышается коэффициент пропускания и достигает экстремального значения при толщине, равной  $\lambda/4$ , затем уменьшается до минимального значения при толщине  $\lambda/2$ . Через слои, равные по толщине  $\lambda/4$ ,

наблюдаются экстремумы коэффициента пропускания. На рис.4.показано изменение пропускания МИП с увеличением числа слоев  $ZnS$  и  $MgF_2$  в нем.

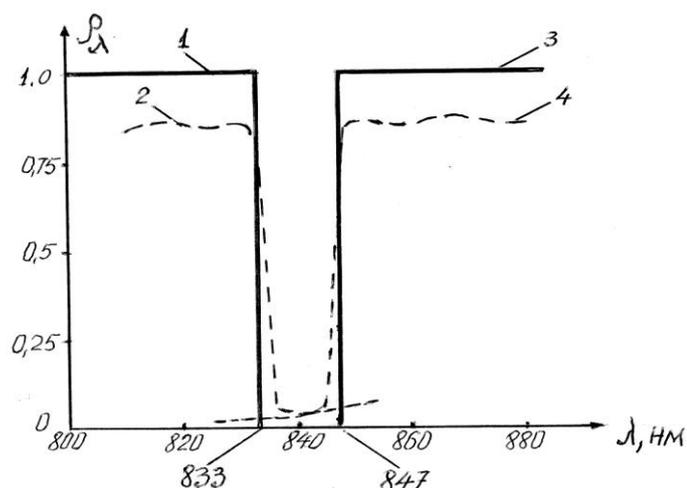


**Рис. 4.** Зависимость коэффициента пропускания МИП от числа чередующихся слоев  $ZnS$  и  $MgF_2$ , ( $\lambda=555$  мкм, 1 слой –  $ZnS$ , 2 слой –  $MgF_2$ )

По указанной технологии на плоские стекла были нанесены два типа пятнадцатислойных МИП (коротковолновый и длинноволновый). В первом случае каждый МИП наносился на разные поверхности стекол, во втором случае коротковолновый и длинноволновый МИП наносились на одну поверхность стекла. Спектральное пропускание таких покрытий оказалось практически одинаковым. Стеклопластина практически не меняет спектральные характеристики МИП. Поэтому в дальнейшем все работы по нанесению узкополосных интерференционных светофильтров проводились на одной стороне стеклянной подложки.

После нанесения пленок  $ZnS$  и  $MgF_2$  на стеклянные подложки светофильтры вынимались из рабочей камеры напылительной установки и прогревались на воздухе в течение двух часов при температуре 340–350 °С. Благодаря этому отжигу оптические и эксплуатационные свойства светофильтров стабилизировались, т. е. оставались постоянными при температурах до 200–250 °С в течение нескольких сот часов.

На рис. 5 представлены спектральные характеристики отражения идеальных коротковолнового и длинноволнового светофильтров, а также экспериментальные характеристики таких же светофильтров, состоящих из пятнадцати чередующихся слоев  $ZnS$ – $MgF_2$  каждый.



**Рис. 5.** Спектральные характеристики отражения светофильтров:  
1 и 3 – идеальные соответственно коротковолновый и длинноволновый;  
2 и 4 – экспериментальные пятнадцатислойные интерференционные соответственно коротковолновый и длинноволновый

Учитывая, что ширина основной полосы отражения пятнадцатислойного покрытия составляет 40 нм [3], длинноволновый край коротковолнового светофильтра нужно настроить на длину волны отражения 836 нм, а коротковолновый край длинноволнового светофильтра нужно настроить на длину волны отражения 843 нм. Такие две многослойные системы интерференционных покрытий обеспечили получение пропускающего МИП в диапазоне длин волн 833-847 нм, что вполне устраивает мультиплексор для атмосферной оптической системы передач на базе инфракрасных излучающих диодов (ИКИД) серии У-254.

Описанный эксперимент позволит более качественно объяснить работу атмосферной оптической системы передачи студентам, обучающимся по специальности 210406.65 «Сети связи и системы коммутации» и направлению 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

#### Литература

1. Иванцев, А. С. Мультиплексор для атмосферной оптической системы передачи / А. С. Иванцев // Учебный эксперимент в образовании. – 2012. – № 2. – С. 20–25.
2. Метод конструирования светофильтров для атмосферной оптической связи / А. С. Иванцев // Учебный эксперимент в образовании. – 2012. – № 3. – С. 60–66.
3. Александров, Л. Н. Многослойные пленочные структуры для источников света / Л. Н. Александров, А. С. Иванцев. – Новосибирск : Наука, Сиб.отд., 1981. – 136 с.
4. Палатник, Л. С. Механизм образования и субструктура конденсированных пленок / Л. С. Палатник, М. Я. Фукс, В. М. Косевич. – М. : Наука, 1972. – 319 с.
5. Холленд, Л. Нанесение тонких пленок в вакууме / Л. Холленд. – М. : Госэнергоиздат, 1963. – 608 с.
6. Грицкевич, В. Б. Модернизация установки вакуумного распыления / В. Б. Грицкевич, А. С. Иванцев, Н. М. Улькин // Светотехника. – 1987. – № 1. – С. 20–21.
7. Иванцев, А. С. Светооптическое устройство для волоконных световодов / А. С. Иванцев, Н. М. Улькин, Т. И. Жучкова, М. Е. Немировский, Л. Д. Соснов // Медицинская техника. – 1987. – № 1. – С. 25–30.

УДК 004.932.2

## КОМПЛЕКТ ПРОГРАММ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ НА БАЗЕ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ

**А. В. Брагин, Д. В. Пьянзин, А. А. Трифионов, С. В. Ильин,  
А. В. Спирин**

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет  
им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

В статье рассматривается комплект программ для проектирования систем компьютерного зрения на базе нечетких классификаторов, а также реализованное, в настоящее время, программное обеспечение выполняющее распознавание и классификацию лабиринтных доменных структур.

*Ключевые слова и фразы:* компьютерная программа, нечеткий классификатор, алгоритм.

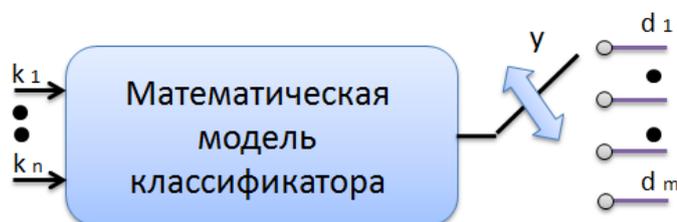
При разработке систем компьютерного зрения [1; 4; 5] широко используются методы нечеткой логики позволяющие разрабатывать классификаторы объектов различной формы, что является одной из основных задач данных систем. Преимуществом таких классификаторов является простота реализации, наличие специализированных пакетов программ по их разработке и т. д. (MATLAB, LABVIEW) [3; 4].

Задача классификации состоит в отнесении объекта, заданного вектором информативных признаков  $K=(k_1, k_2, \dots, k_n)$ , к одному из наперед определенных классов  $(d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_m)$  т. е. состоит в выполнении отображения вида [1; 6; 9]:

$$K = (k_1, k_2, \dots, k_n) \rightarrow y \in d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_m, \quad (1)$$

здесь  $y$  – выходной параметр нечеткого классификатора.

Обобщенная структура классификатора приведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Обобщенная структура нечеткого классификатора

Классификация на основе нечеткого логического вывода происходит по базе знаний вида:

$$\bigcup_{p=1}^m \left[ \bigcap_{i=1}^n (k_i = a_i^{jp}) \text{ с весом } \omega_{jp} \right] \rightarrow y = d_j, j = \overline{1..m}, \quad (2)$$

где  $a_i^{jp}$  – нечеткий терм, которым оценивается переменная  $k$  в строчке с номером  $jp$  ( $p=1, n$ );  $n_j$  – количество строчек – конъюнкций, в которых выход  $y$  оценивается нечетким термом  $d_j$ ,  $j=1, m$ ;  $m$  – количество термов, используемых для лингвистической оценки выходного параметра  $y$ .

Разработку нечеткого классификатора можно представить в виде следующих этапов:

1. Разделение объектов на классы ( $d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_m$ ) в зависимости от формы.
2. Представляем объекты набором признаков  $K=(k_1, k_2, \dots, k_n)$ , характеризующих их форму.
3. Выполняем расчет данных признаков.
4. Кластеризация полученных значений.
5. Построение функций принадлежности объектов к заданным классам.
6. Построение базы знаний классификатора.
7. Настройка классификатора.
8. Апробация работы классификатора.

Основной задачей работы была автоматизация представленного выше процесса с целью получения программного обеспечения, с помощью которого можно разрабатывать нечеткие классификаторы для объектов различных форм. Программное обеспечение было разработано в среде MATLAB.

В качестве информативных признаков в программе использовались коэффициенты формы объекта:

- коэффициент выпуклости;
- коэффициент округлости;
- коэффициент заполнения;
- эксцентриситет эллипса с главными моментами инерции.

Для построения нечеткого классификатора необходимо определить диапазоны изменения коэффициентов формы нескольких сотен или тысяч объектов различных классов. Для этого в программу загружаются цифровые изображения данных объектов, после этого программа рассчитывает их коэффициенты формы и создает .dat – файл с полученными значениями коэффициентов.

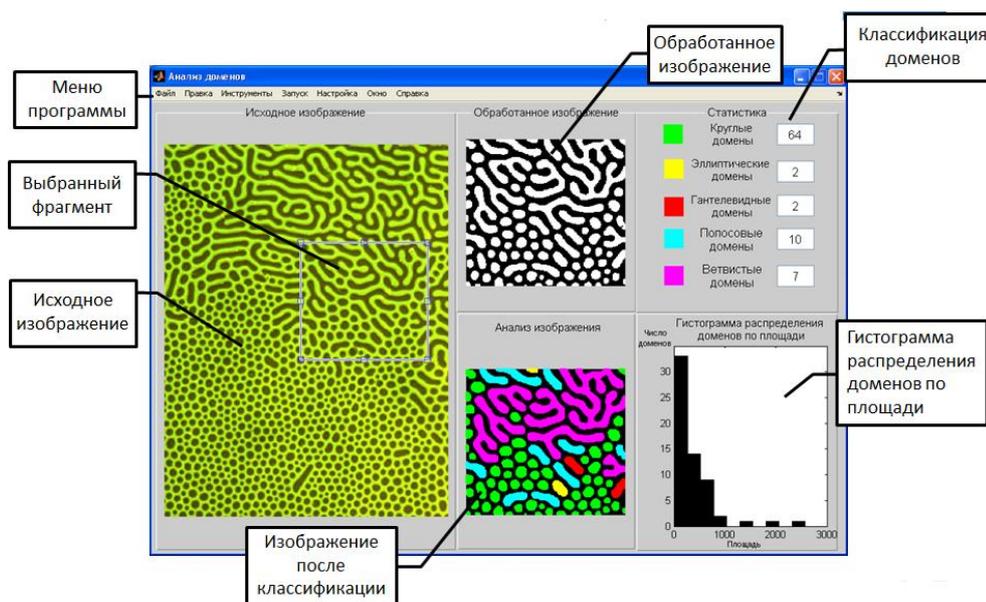
Далее программа выполняет нечеткую кластеризацию (алгоритм нечетких средних [6; 9]) полученных коэффициентов формы, при этом у пользователя есть возможность получать результаты кластеризации, комбинируя значения различных признаков. По результатам нечеткой кластеризации выбираются те информативные признаки, при использовании которых можно с большей вероятностью разделить объекты на заданные классы. Кроме этого, программа возвращает матрицы с функциями принадлежности объектов за-

данных классов, что позволяет на основе данной информации синтезировать нечеткие правила базы знаний нечеткого классификатора (2).

После составления базы знаний классификатора программа выполняет его настройку, которая заключается в нахождении параметров функций принадлежности входных переменных и весовых коэффициентов правил  $\omega_{jp}$ , которые минимизируют отклонение между желаемым и действительным поведением нечеткого классификатора на обучающей выборке. В качестве критерия настройки выбирается процент ошибок классификации на обучающей выборке.

На основе представленного комплекта программ разработана математическая модель нечеткого классификатора лабиринтных доменных структур магнитооптических материалов, которые изучаются на кафедре радиотехники ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева». На базе данной математической модели в среде MATLAB разработана программа распознавания, классификации и анализа лабиринтных доменных структур магнитооптических материалов, которые содержат круглые, эллиптические, гантелеобразные, полосовые и ветвистые объекты [2; 7; 8].

Интерфейс программы приведен на рис. 2.



**Рис. 2.** Интерфейс программы для классификации лабиринтных доменных структур

В программе реализуются следующие этапы, результаты которых выводятся в рабочем окне:

- загрузка исходного изображения;
- выбор области для анализа (если это необходимо);
- предварительная обработка изображения и его бинаризация;
- классификация объектов на изображении;
- вывод статистических данных.

В результате статистической обработки выводятся следующие данные: количество доменов различной формы; классификация доменов по форме; распределение доменов по площади.

Зарождение и формирование лабиринтной доменной структуры в магнитооптических материалах происходит под действием внешних магнитных и температурных полей в магнитооптической установке. Регистрация данных структур проводится с помощью цифровой камеры магнитооптическим методом с использованием эффекта Фарадея [2; 7; 8]. Структура установки приведена на рис. 3.



Рис. 3. Структурная схема магнитооптической установки

Система компьютерного зрения NI EVS-1464 является устройством управления магнитооптической установкой и обеспечивает как формирование сигналов управления магнитными полями, так и захват, обработку и анализ цифровых изображений доменных структур. Для ее управления был разработан виртуальный прибор в среде LABVIEW, позволяющий управлять установкой [3], однако прибор не обеспечивал обработку и классификацию объектов лабиринтных структур, что в свою очередь ограничивало функциональные возможности установки.

Для реализации дополнительного программного модуля по классификации и его подключения к виртуальному прибору разработанная в MATLAB программа была откомпилирована в библиотеку среды C#.

В процессе компиляции была создана библиотека MatNet.dll, которую подключили к виртуальному прибору управления магнитооптической установкой. Интерфейс модернизированного виртуального прибора приведен на рис. 4.

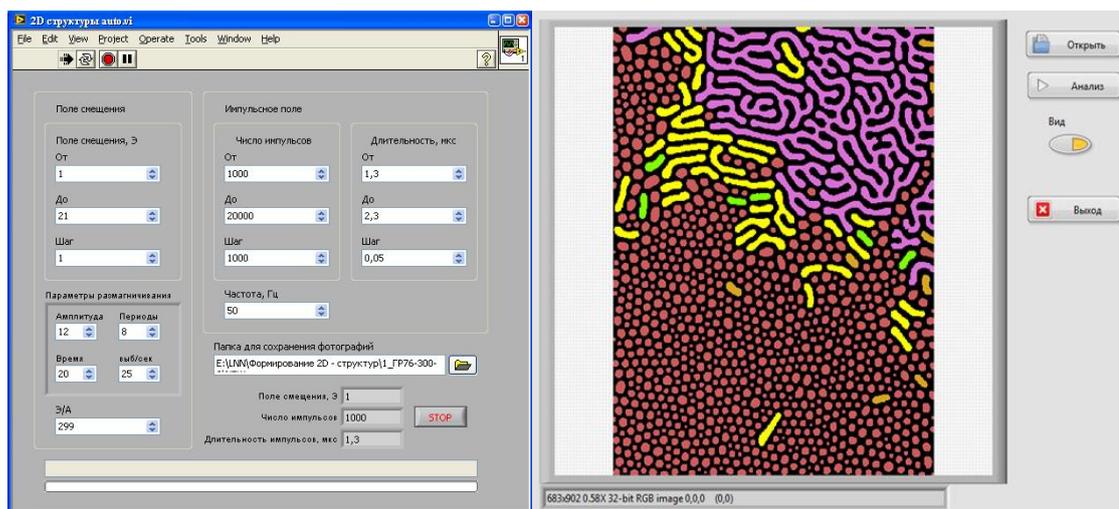


Рис. 4. Модернизированный виртуальный прибор

С помощью виртуального прибора задается частота импульсов перемещающегося поля; параметры размагничивания; параметры сканирования (диапазон и шаг сканирования) по постоянному магнитному полю смещения и числу импульсов перемещающегося поля. Зарегистрированные результаты (фотографии доменных структур) сохраняются в виде графических файлов, а информация о параметрах регистрации включается в имя файла.

Загрузка изображения из каталога с цифровыми изображениями происходит нажатием кнопки «Открыть», в котором сохранены изображения исследуемой структуры, полученные при разных внешних магнитных полях. При нажатии кнопки «Анализ» выбранное изображение обрабатывается и анализируется. В процессе анализа происходит классификация объектов и маркировка каждого класса своим цветом на изображении.

Разработанные алгоритмы и программы применяются на кафедре радиотехники в образовательном процессе при выполнении лабораторных и практических работ по дисциплинам «Цифровая обработка сигналов», «Основы цифрового телевидения», что позволяет готовить высококвалифицированных специалистов в направлении разработки и внедрения систем компьютерного зрения.

#### Литература

1. Jähne, B. Digital image processing / B. Jähne. - Springer Berlin Heidelberg New York, 2005. – 654 p.
2. Zvezdin, A. K. Modern magneto-optics and magneto-optical materials / A. K. Zvezdin, V. A. Kotov. – Bristol and Philadelphia : IOP Publishing, 1997. – 386 p.
3. Визельтер, Ю. В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision / Ю. В. Визельтер. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 464 с.
4. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений в среде MatLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М. : Техносфера, 2006. – 616 с.
5. Потапов, А. А. Новейшие методы обработки изображений / А. А. Потапов, Ю. В. Гуляев, С. А. Никитов и др. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
6. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

7. Летюк, Л. М. Технология материалов магнитоэлектроники / Л. М. Летюк, В. Г. Костишин, А. В. Гончар. – М. : МИСИС, 2005. – 352 с.
8. Логунов, М. В. Формирование и эволюция гигантских динамических доменов в гармоническом магнитном поле / М. В. Логунов, М. В. Герасимов // Физика твердого тела. – 2003. – Т. 45. – С. 1031–1036.
9. Штовба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

УДК 628.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЖИГАНИЯ МИНИАТЮРНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

**Ю. Н. Тихонова, А. В. Куренщиков**

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт  
им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

В статье рассматривается процесс зажигания миниатюрных люминесцентных ламп, приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований.

*Ключевые слова и фразы:* разряд, плазма, положительный столб, напряжение зажигания, градиент потенциала, давление, катод, ток накала.

В настоящее время люминесцентные лампы (ЛЛ) с диаметром разрядной трубки менее 10 мм широко используются для подсветки экранов жидкокристаллических дисплеев, для освещения салона и приборной доски на транспорте, для подсветки табло различных указателей и т. д. Световая отдача таких ЛЛ составляет 50–70 лм/Вт, световой поток 300–950 лм (в зависимости от мощности). Однако имеющиеся сведения в патентной и периодической литературе недостаточны для расчета конструкции таких ламп.

Имея малый диаметр разрядной трубки, эти лампы обладают высоким напряжением зажигания при питании переменным током низкой частоты – порядка 400–600 В, поэтому на сегодняшний день они работают исключительно с электронными пускорегулирующими аппаратами на частотах порядка 40 кГц. Однако на отечественном железнодорожном, водном, воздушном транспорте стандартная частота питающей сети равна 400 Гц с напряжением 220 В, поэтому особый интерес представляет работа в направлении создания серии миниатюрных ЛЛ (МЛЛ) на рабочие частоты 400 Гц, работающие по обычной схеме с индуктивным балластом.

Нами проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований процесса пробоя промежутка катод – внешний электрод градиента потенциала в момент пробоя; пробоя межэлектродного промежутка МЛЛ,

который позволил создать метод расчета величины напряжения зажигания МЛЛ.

Напряжение зажигания разряда  $U_3$  определяется соотношением [1]:

$$U_3(f) = 2U_{KC}(f) + E(f) l, \quad (1)$$

где  $U_{KC}(f)$  – напряжение пробоя промежутка катод – стенка;  $E(f)$  – градиент потенциала плазменного столба разряда при минимально возможном токе;  $f$  – частота напряжения питания;  $l$  – расстояние между электродами.

Для установления связи напряжения пробоя промежутка катод лампы – внешний электрод с параметрами МЛЛ исследуемая система электродов заменялась эквивалентной коаксиальной системой, и для данной системы находилось напряжение пробоя (рис. 1).

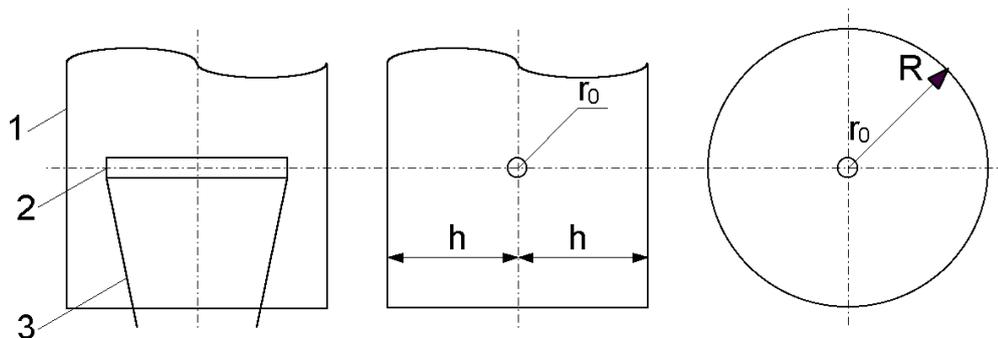
На основе известного критерия возникновения самостоятельного разряда

$$\int_{r_0}^{R-r_0} \alpha dr = \ln\left(\frac{1}{\gamma} + 1\right)$$

находилась связь напряжения пробоя холодный катод – стенка лампы с параметрами МЛЛ.

$$\frac{a_2 C_1^{-2} C_2^{-2}}{p} \frac{\ln\left(\frac{R}{r_0} - 1\right)}{\ln^2\left(\frac{R}{r_0}\right)} U_{KC}^2 - a_1 C_1^{-1} C_2^{-1} \frac{\ln\left(\frac{R}{r_0} - 1\right)}{\ln\left(\frac{R}{r_0}\right)} U_{KC} + a_0 p (R - 2r_0) + \ln\left(\frac{1}{\gamma} + 1\right) = 0, \quad (2)$$

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  – коэффициенты аппроксимации;  $p$  – давление аргона;  $C_1$  – коэффициент, учитывающий снижение подвижности электронов;  $C_2$  – коэффициент, учитывающий уменьшение эффективного сечения атомов ртути;  $R$  – радиус эквивалентного внешнего цилиндра;  $r_0$  – радиус электрода МЛЛ;  $\gamma$  – коэффициент ионно-электронной эмиссии.



**Рис. 1.** Приведение системы цилиндрических электродов к коаксиальной:  
1 – оболочка МЛЛ; 2 – катод; 3 – вводы

На основе уравнения Пуассона определялось влияние термоэлектронной эмиссии на напряжение пробоя промежутка катод – внешний электрод. Из решения данного уравнения было получено выражение, связывающее напряжение пробоя с температурой электрода, геометрией и наполнением лампы:

$$U_{KC}(T_K) = \int_{r_0}^R \frac{U_{KC}(T_K)}{r \ln\left(\frac{R}{r_0}\right)} \sqrt{1 - \frac{\left[ AT_K^2 \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT_K}\right) - AT_X^2 \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT_X}\right) \right]}{\varepsilon\varepsilon_0\mu_1 r_0 E_0^2}} (r^2 - r_0^2) dr, \quad (3)$$

где  $A$  – постоянная Ричардсона-Дешмана;  $T_K$  – температура накаленного катода;  $T_X$  – температура катода при 20°C;  $\varphi$  – работа выхода электронов из катода;  $E_0$  – напряженность электрического поля на катоде.

Величина градиента потенциала в момент пробоя разрядного промежутка определялась из условия

$$\int_0^L \alpha dl = \ln\left(\frac{1}{\gamma} + 1\right), \quad (4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент объемной ионизации газа;  $\gamma$  – коэффициент ионно-электронной эмиссии;  $L$  – длина межэлектродного промежутка.

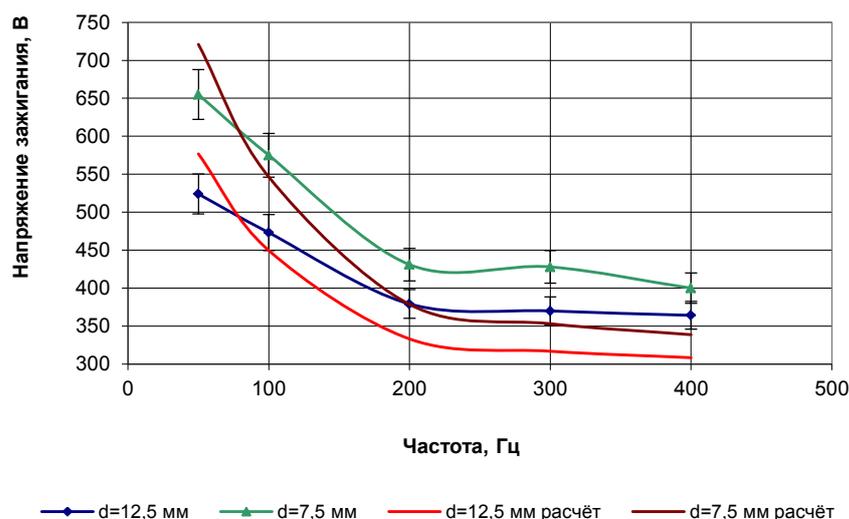
Уравнение для определения градиента потенциала  $E$  имеет вид:

$$\frac{a_2 S^2 C_1^{-2} C_2^{-2}}{p} E^2 - a_1 S C_1^{-1} C_2^{-1} E + a_0 p + \frac{1}{L} \ln\left(\frac{1}{\gamma} + 1\right) = 0, \quad (5)$$

где  $S$  – площадь передней поверхности плазменного облака.

Нами проведены расчеты напряжения зажигания МЛЛ по формуле (1) с учетом формул (2), (3), (5). Расчеты проводились для МЛЛ со следующими параметрами  $d = 12,5, 9,5, 7,5$  мм, толщина стенки  $h = 1$  мм, наполнение  $\text{Ag} + \text{Hg}$  с давлением  $p = 6, 7, 8, 9$  мм рт. ст., катод с эмиссионным покрытием на основе тройного карбоната бария, стронция, кальция с 5 % добавкой  $\text{MgZrO}_3$  с  $\gamma = 0,2$ ,  $a_0 = 0,2$  см мм рт.ст.<sup>-1</sup>,  $a_1 = 0,0296$  В<sup>-1</sup>,  $a_2 = 2,697 \cdot 10^{-3}$  В<sup>-2</sup>, в диапазоне частот приложенного напряжения 50–400 Гц.

Результаты расчетов по формулам (2), (3), (5) и (1) проверялись нами экспериментально, для каждого выражения отдельно. Сравнение результатов расчетов и экспериментов подтвердило правильность расчетов с погрешностью не более 15 % (рис. 2).



**Рис. 2.** Зависимости напряжения зажигания МЛЛ от частоты при  $p=8$  мм рт. ст., токе накала 100 мА

На основе комплекса проведенных исследований мы выяснили, что напряжение пробоя  $U_{КС}$  с ростом частоты приложенного к разрядному промежутку напряжения с 50 до 400 Гц при токе накала катода  $I_H = 120$  мА увеличивается в среднем на 8 %, градиент потенциала уменьшается в среднем на 65 %, напряжение зажигания уменьшается в среднем на 38 %. Минимум напряжения зажигания для МЛЛ с диаметром трубки 7,5 мм достигается при зажигании с накаливаемыми электродами, давлении 8 мм рт. ст. и частоте напряжения питания 400 Гц.

#### Литература

1. Свешников, В. К. Метод расчета напряжения зажигания разряда в разрядных трубках / В. К. Свешников // Электронная техника. Сер. Электроввакуумные и газоразрядные приборы. – 1985. – Вып. 2 (107). – С. 55–58.
2. Куренчиков, А. В. Исследование градиента потенциала плазменного столба миниатюрных люминесцентных ламп / А. В. Куренчиков, М. Г. Ошкина // Учебный эксперимент. – 2012. – № 3. – С. 71–78.

# ABSTRACTS

---

---

## HUMAN ENVIRONMENT OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION

E. A. Martynova, A. A. Pyanzova

**Abstract.** The article is devoted to the problem of formation socially-significant qualities of students in the process of professional education. It is noted that education should not be reduced to the system of knowledge only, it must form cultural and moral qualities of students.

**Key words and phrases:** human environment, human education, cultural and moral space, human values.

## ROLE OF PHILOSOPHY IN THE FORMATION OF DOMINANT WORLDVIEW STUDENTS: EXPERIENCE THE ORGANIZATION AND OPERATION OF PHILOSOPHICAL CLUB

E. N. Rodina, N. A. Tivicova, S. S. Kotova

**Abstract.** The article examines the experience of the organization and work of the student research philosophy of the club, its educational goals and educational opportunities in a profound social and cultural changes of modern times.

**Key words and phrases:** philosophy club, a person, group, scientific research.

## THEORETICAL BASIS OF TEACHING METHODS PHYSICS IN HIGH SCHOOL FUTURE ENGINEERS FOR USE MATHEMATICAL MODELING IN PROFESSIONAL ACTIVITIES

L. V. Maslennikov, O. A. Aryukova, Yu. G. Rodioshkina

**Abstract.** Discuss the possibility of forming concepts course on mathematical modeling in the study of physics at a technical college.

**Key words and phrases:** model, modeling, physical process.

## USING OF A TELEVISION COMPLEX IN EDUCATIONAL PROCESS ON PHYSICS

A. Yu. Kazakov, A. V. Kostyunin, T. V. Lyapina

**Abstract.** This article is devoted to the analysis of need of use of modern means in educational process. The design is developed and the educational closed television complex on the basis of the color digital dome camera of internal supervision is realized. Possibilities of use of educational closed television complex in physical experiments are considered and advantages of an offered technique are revealed.

**Key words and phrases:** the educational closed television complex, the digital camera, physical experiment.

## ORGANIZATION OF RESEARCH LABORATORY “PHYSICAL PROCESSES AND MATHEMATICAL MODELING “

**T. V. Kormilitsyna**

**Abstract.** Discusses the research work of students in the research laboratory for the simulation experiments and setting up simulations.

**Key words and phrases:** experiment, computer simulation research.

## THE USE OF COMPUTER SIMULATIONS IN THE STUDY OF THE TOPIC “THE MOTION OF A CHARGED PARTICLE IN A MAGNETIC FIELD. LORENTZ FORCE”

**H. H. Abushkin**

**Abstract.** Discusses the use of the network version of “Open physics” in the study of specialized classes in secondary school theme “motion of a charged particle in a magnetic field. Lorentz force”. The main attention is paid to the use of computer simulation and computer technologies used.

**Key words and phrases:** information and communication technology, learning tools, thinking, computer experiment, the movement of electrically charged particles in a magnetic field cyclotron mass spectrometer, the learning process.

## THE USE OF VIDEO PROBLEMS IN THE STUDY PHYSICS AT SCHOOL

**V. I. Kudryashov**

**Abstract.** The article discusses the methodological aspects of technology development and use of video problems in the teaching of physics course in the secondary school.

**Key words and phrases:** multimedia, video challenge, video experience.

## FEATURES OF PHYSICAL PROCESSES IN THE OXIDE CATHODE

**V. K. Sveshnikov, A. F. Bazarkina**

**Abstract.** The analysis of physical and chemical processes occurring in oxide cathodes in the stages of thermal vacuum processing aktivirovki and their work. Discusses ways of increasing emission activity cathodes. It is noted that the basis of a method of calculating the emitter can be used by well-known model of the oxide cathode. The material will be useful for researchers, students and post-graduate students in the field of electronics and light sources.

**Key words and phrases:** model, emission, an oxide cathode, ionization, the donor, acceptor, the crystal lattice.

## MODEL RESISTIVE SURFACES AND THE DISTRIBUTION FUNCTION OF WEAK TIES IN HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS

M. A. Vasyutin, N. D. Kuzmichev

**Abstract.** A model of weakly coupled superconductors, based on the characteristics of the transition from a single weak link to a simply connected surface when removing the current-voltage characteristics. Grounded method for finding the weak links of the distribution functions for the higher harmonics, voltage. Determined the functional dependence of the distribution function corresponding to the density of weak links in current. Found the maximum critical current of the weak links of the superconductor.

**Key words and phrases:** superconductivity, resistive surface, the distribution function of weak ties.

## ELECTRON PARAMAGNETIC RESONANCE SPECTRA TISSUES OF THE HEART MUSCLE IN EXPERIMENTAL MYOCARDIAL INFARCTION

M. N. Zamotaeva, N. D. Kuzmichev, I. A. Drozdov

**Abstract.** In the paper, the study of electron paramagnetic resonance spectra of the tissues of the heart, liver and lung of intact rats and rats of the control group with an experimental myocardial infarction. The method can be used in an educational experiment in teaching students biophysicists, biochemists, biologists and physicians.

**Key words and phrases:** electron paramagnetic resonance, myocardial infarction, experiment.

## MATHEMATICAL MODELING THE MAGNETIZATION PROCESS SUPERCONDUCTING DISK IN AN ALTERNATING MAGNETIC FIELD USING THE SOFTWARE

N. D. Kuzmichev, A. A. Fedchenko

**Abstract.** The paper describes a software system, which is modeled on the basis of the penetration of a magnetic field in a hard type-II superconductor. The program allows the calculation of distribution maps over current screening and magnetic field, the hysteresis loop of the magnetization curves and the harmonics of the magnetization. Software package can be used to study the magnetic properties of the new superconductors, as well as in the educational process in the study of the properties of type II superconductors.

**Key words and phrases:** model, superconductivity, hysteresis, magnetization.

## MAKING INTERFERENCE FILTERS FOR ATMOSPHERIC OPTICAL TRANSMISSION SYSTEMS

A. S. Ivantsev

**Abstract.** Described an experimental method of manufacturing multilayer dielectric notch filters based on alternating layers of zinc sulfide and magnesium fluoride for multiplexers used in atmospheric optical transmission systems. This experiment will allow a qualitative explanation of the work of the atmospheric optical transmission system for students enrolled in the specialty 210406.65 “Communication networks and switching systems”, and the direction 210700.62 “Info-communication technology and communication systems”.

**Key words and phrases:** refractive index, geometric thickness, optical thickness, dielectric layer, photometric monitoring.

## THE SET OF PROGRAMS FOR THE DESIGN OF COMPUTER VISION BASED ON FUZZY CLASSIFIER

A. V. Bragin, D. V. Pyanzin, A. A. Trifonov, S. V. Ilyin, A. V. Spirin

**Abstract.** The article discusses a software suite for the design of computer vision-based fuzzy classifier, and to realize, now, the software performs the identification and classification of labyrinthine domain structures.

**Key words and phrases:** computer program, the fuzzy classifier, algorithm.

## MINIATURE PLUG RESEARCH LUMINESCENT LAMPS

Yu. N. Tikhonova, A. V. Kurenschikov

**Abstract.** The article deals with the ignition of miniature fluorescent lamps, results of theoretical and experimental studies.

**Key words and phrases:** the discharge, plasma, positive column, ignition voltage potential gradient, pressure, cathode filament current.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Абушкин Харис Хамзеевич**

*Кандидат педагогических наук, заведующий кафедрой физики и методики обучения физике ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Арюкова Ольга Александровна**

*Инженер кафедры общенаучных дисциплин Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Базаркин Александр Федорович**

*Аспирант кафедры физики и методики обучения физике ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Брагин Анатолий Валерьевич**

*Старший преподаватель кафедры радиотехники ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Васютин Михаил Александрович**

*Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общенаучных дисциплин Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Дроздов Илья Александрович**

*Аспирант медицинского института ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Замотаева Мария Николаевна**

*Кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры фармакологии медицинского института ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Иванцев Анатолий Степанович**

*Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры сетей связи и систем коммуникации ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Ильин Сергей Владимирович**

*Студент 5-го курса Института физики и химии ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Казаков Алексей Юрьевич**

*Кандидат физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Общая физика» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Российская Федерация*

**Кормилицына Татьяна Владимировна**

*Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Костюнин Александр Васильевич**

*Кандидат педагогических наук, профессор кафедры «Общая физика» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Российская Федерация*

**Котова Светлана Сергеевна**

*Аспирант кафедры философии ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Кузьмичев Николай Дмитриевич**

*Доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общенаучных дисциплин Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Кудряшов Валерий Иванович**

*Кандидат педагогических наук, доцент кафедры физики и методики обучения физике ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Куренщиков Александр Владимирович**

*Кандидат технических наук, доцент кафедры физики и методики обучения физике ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Ляпина Татьяна Владимировна**

*Кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Общая физика» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Российская Федерация*

**Мартынова Елена Анатольевна**

*Доктор философских наук, профессор кафедры философии ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Масленникова Людмила Васильевна**

*Доктор педагогических наук, профессор кафедры общенаучных дисциплин Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Пьянзин Денис Васильевич**

*Кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Пьянзова Анастасия Николаевна**

*Студентка 4 курса факультета истории и права ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Родина Елена Николаевна**

*Кандидат философских наук, старший преподаватель кафедры философии ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Родиошкина Юлия Григорьевна**

*Кандидат педагогических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Свешников Виктор Константинович**

*Член-корреспондент АЭН Российской Федерации, доктор технических наук, профессор кафедры физики и методики обучения физике ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Спирин Александр Валентинович**

*Младший научный сотрудник кафедры радиотехники ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Тивикова Наталья Алексеевна**

*Студентка 4 курса факультета истории и права ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Тихонова Юлия Николаевна**

*Студентка физико-математического факультета ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Трифонов Андрей Александрович**

*Аспирант кафедры радиотехники ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**Федченко Александр Андреевич**

*Инженер кафедры общенаучных дисциплин Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация*

**СОДЕРЖАНИЕ**

№ 4 / 2012 г.

**ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

- Гуманитарная среда высшего учебного заведения  
*Мартынова Е. А., Пьянзова А. Н.* ..... 3
- Роль философии в формировании мировоззренческих доминант студентов: опыт организации и работы философского клуба  
*Родина Е. Н., Тивикова Н. А. Котова С. С.* ..... 7

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**

- Теоретические основы методики обучения физике в вузе будущих инженеров к применению математического моделирования в профессиональной деятельности  
*Масленникова Л. В., Арюкова О. А., Родиошкина Ю. Г.* ..... 11
- Возможности применения телевизионного комплекса в учебном процессе по физике  
*Казаков А. Ю., Костюнин А. В., Ляпина Т. В.* ..... 19
- Организация работы исследовательской лаборатории «Физические процессы и математическое моделирование»  
*Кормилицына Т. В.* ..... 26
- Использование компьютерного эксперимента при изучении темы «Движение заряженной частицы в магнитном поле. Сила Лоренца»  
*Абушкин Х. Х.* ..... 31
- Использование видео задач при изучении физики в школе  
*Кудряшов В. И.* ..... 39

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

- Особенности физико-химических процессов в оксидном катоде  
*Свешников В. К., Базаркин А. Ф.* ..... 42

Модель резистивных поверхностей и функций распределения слабых связей в высокотемпературном сверхпроводнике <i>Васютин М. А., Кузьмичев Н. Д.</i> .....	55
Спектры электронного парамагнитного резонанса тканей сердечных мышц при экспериментальном инфаркте миокарда <i>Замотаева М. Н., Кузьмичев Н. Д., Дроздов И. А.</i> .....	60
Математическое моделирование процесса намагничивания сверхпроводящих дисков в переменном магнитном поле с помощью программного комплекса <i>Кузьмичев Н. Д., Федченко А. А.</i> .....	65
Изготовление интерференционных светофильтров для атмосферных оптических систем передач <i>Иванцев А. С.</i> .....	70
Комплект программ для проектирования систем компьютерного зрения на базе нечетких классификаторов <i>Брагин А. В., Пьянзин Д. В., Трифонов А. А., Ильин С. В., А. В. Спирин</i> .....	76
Исследование зажигания миниатюрных люминесцентных ламп <i>Тихонова Ю. Н., Куреничиков А. В.</i> .....	81
<hr/>	
<b>ABSTRACTS</b> .....	85
<hr/>	
<b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ</b> .....	89
<hr/>	

В период с 24 по 30 сентября 2012 г. на базе ЧЛПУ «Санаторий Хилово» в Псковской области состоялась V Всероссийская конференция (с международным участием) «Химия поверхности и нанотехнология», посвященная 100-летию со дня рождения чл.-корр. РАН В. Б. Алесковского. Ответственным за организацию и проведение конференции являлся ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)». В организации конференции приняли участие секции коллоидной химии и химии поверхности и синтеза низкоразмерных систем научных советов по физической и неорганической химии Российской Академии Наук; секция «Нанотехнологии» Санкт-Петербургского отделения Российского химического общества им. Д. И. Менделеева. Конференция проводилась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и ООО «Химическая сборка наноматериалов».

Участники форума перед началом работы почтили память безвременно ушедших в 2012 г. известных ученых – членов оргкомитета конференции профессора И. П. Суздалева, профессора А. П. Алехина и академика РАН Ю. Д. Третьякова, которые внесли огромный вклад в развитие нанотехнологии, в привлечение молодежи в актуальное направление науки и техники.

Список авторов докладов конференции включает более 560 человек из России, Украины, Беларуси, Молдовы, Словении, Чехии, Венгрии, Китая, Франции, Германии, Финляндии, США.

На конференции заслушано 9 пленарных лекций и 26 докладов, стендовая сессия была представлена сообщениями по четырем секциям (119 сообщений): синтез и квантово-химическое моделирование низкоразмерных систем; оборудование для синтеза и методы исследования низкоразмерных систем; функциональные свойства и области применения наноматериалов; образование в области химии поверхности и нанотехнологии.

В рамках конференции был проведен российско-украинский научный семинар «Роль химии поверхности в инновационном развитии твердофазного материаловедения» (соруководители – с украинской стороны чл.-корр. НАН Украины, директор Института химии поверхности им. А. А. Чуйко НАН Украины Н. Т. Картель и с российской стороны профессор А. А. Малыгин). На семинаре было представлено 20 докладов от Украины и России.

В выступлениях нашли отражение не только новые результаты в области химии поверхности и нано-технологий, но и стратегические задачи по развитию указанного направления, перспективы практической реализации нанотехнологий и наноматериалов. Особо отмечена необходимость создания технологического оборудования для реализации процесса молекулярного наслаивания – атомно-слоевого осаждения (МН-АСО) на отечественной производственной базе.

В лекциях ведущих ученых России и Украины, а также представителей бизнес-сообщества были отражены важнейшие достижения и наиболее перспективные направления развития исследований в области химии поверхности и нанотехнологий с использованием подходов, основанных на реализации процесса МН-АСО.

Большой интерес у участников конференции вызвал обзорный доклад представителя Колорадского университета (University of Colorado, USA) А. Abdulgatov, представлявшего лабораторию, возглавляемую одним из мировых лидеров в ALD процессах профессором S. M. George. Автор представил новые данные по формированию композиционных нанопокровов на основе диоксида титана и углеродсодержащих добавок с применением гибридной нанотехнологии, названной авторами Pyrolysis of MLD Films. В своем сообщении, в ответах на вопросы, в краткой дискуссии докладчик также отметил вклад В. Б. Алесковского и его учеников в развитие нанотехнологии на принципах метода МН, рассмотрел перспективные направления использования процесса МН-АСО для создания новых материалов.

В докладах, дискуссиях, переговорах отмечены реальные секторы экономики, в которых уже используются наноматериалы или имеются реальные перспективы реализации продуктов, созданных с использованием нанотехнологии МН: авиаприборостроение (осуществляются поставки ООО «Химическая сборка наноматериалов» материалов ИВС-1, ФС-1-3 на ОАО Раменский приборостроительный завод), изделия электронной техники (поставляется шихта нанолегированная для керамических конденсаторов и отрабатывается технология функциональных нанопокровов в производстве рентгеновских трубок на ЗАО «Светлана-Рентген»; ООО Барган Технолджи» предложена технология создания суперконденсаторов с применением нанотехнологии молекулярного наслаивания); волконно-оптические датчики (проведены испытания датчиков с функциональным нанопокрови-

ем и разработана технологическая документация на их изготовление совместно ООО «Химическая сборка наноматериалов» и ООО приборостроения «Интел-Системы»).

С практически полезными сообщениями выступили сверх основной программы конференции представители компании А/О «Бенек», в которую ОАО «Роснано» вложило 25 млн. евро и увеличило свою долю в финской компании до 42 % (сообщение Вестника инноваций и венчурного рынка № 9 (29), сентябрь 2012 г.). Представители А/О «Бенек» во главе с региональным директором по продажам Ю. Тансканеном (J. Tanskanen) рассказали о производстве в Финляндии различных видов промышленного и лабораторного оборудования для получения тонких пленок, о направлениях практической реализации ALD процесса в Финляндии, изложили свое видение развития нового направления в промышленности в сообщении «Индустриализации метода молекулярного наслаивания».

Наряду с указанными разработками в области нанотехнологии МН-АСО, существенное внимание во многих сообщениях было уделено получению, организации промышленного производства и областям применения детонационных наноалмазов.

Анализ опубликованных тезисов докладов в материалах конференции, а также заслушанных на ней пленарных лекций и устных сообщений, проведенных дискуссий и переговоров позволяет сделать вывод о том, что подавляющая часть работ российских ученых являются актуальными, соответствуют наиболее перспективным направлениям развития науки и техники, о чем свидетельствует поддержка их грантами РФФИ, выполнение НИР и ОКР в рамках программ Минобрнауки РФ, Минпромторга РФ, международных проектов, активное участие в работе форума представителей не только от академической науки, но и от ВУЗов, промышленных предприятий, бизнеса, зарубежных партнеров.

С целью дальнейшей координации работ в области химии поверхности и нанотехнологий, концентрации усилий на выполнение приоритетных задач конференция постановляет:

1. Считать, что конференция полностью справилась с поставленными задачами. Плодотворные дискуссии способствовали выявлению эффективных подходов к решению фундаментальных проблем развития химии поверхности и научных основ технологии низкоразмерных материалов и систем.

2. Отметить направленность большинства представленных лекций, докладов и сообщений не только на фундаментальные научные достижения, но и на практическую реализацию нанотехнологий и наноматериалов.

3. Конференция отмечает, что значительное число сообщений посвящено практическому применению метода МН-АСО для получения наноматериалов широкого спектра действия, а участие в ее работе представителей различных заинтересованных организаций позволило впервые получить ряд практических организационных результатов:

4. Отметить существенно возросшее число молодых ученых – участников конференции.

5. Поручить Оргкомитету распространить информационные сообщения и материалы с использованием сайта конференции среди отечественных и зарубежных организаций, которые могут быть заинтересованы в использовании практических разработок, представленных на форуме, а также в журналах ЖПХ, ЖОХ, «Российские нано-технологии», Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) (ответственный председатель Оргкомитета А. А. Малыгин).

6. Поручить Оргкомитету координировать работу по опубликованию наиболее интересных докладов в Журналах общей и прикладной химии, Известиях Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) по согласованию с их главными редакторами академиком РАН А. И. Русановым, чл.-корр. РАН С. С. Иванчевым и ректором СПбГТИ (ТУ) профессором Н. В. Лисицыным.

7. Оргкомитету подготовить предложения по дополнению его состава наиболее известными учеными как России, так и зарубежных стран, а также по срокам и месту проведения очередной Шестой всероссийской конференции (с международным участием) «Химия поверхности и нанотехнология».

**ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ,  
ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА  
«УЧЕБНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ОБРАЗОВАНИИ»**

*Журнал «Учебный эксперимент в образовании» включает разделы:*

- 1. Проблемы, теория и практика учебного эксперимента в образовании.**
- 2. Современные научные достижения в технике эксперимента.**
- 3. Лекционные демонстрации в преподавании естественно-научных, технических и гуманитарных дисциплин.**
- 4. Лабораторные приборы и установки.**
- 5. Учебный эксперимент и вопросы формирования ценностной системы личности.**
- 6. Компьютерные технологии в образовании.**
- 7. Проблемы управления образовательным процессом.**

К публикации принимаются материалы, касающиеся результатов оригинальных исследований и разработок, не опубликованные и не предназначенные для публикации в других изданиях. Объем статьи 6–12 с. машинописного текста и не более 2–4 рисунков.

**1. В редакцию необходимо представлять следующие материалы:**

**1.1** Рукопись статьи – 1 экз. в печатном виде на листах формата А4 (оформление – см. п. 2) и 1 экз. в электронном виде (оформление – см. п. 3). Бумажный вариант должен полностью соответствовать электронному.

**1.2** Ходатайство на имя главного редактора журнала члена-корреспондента АЭН РФ, доктора технических наук, профессора В. К. Свешникова, подписанное руководителем организации и заверенное печатью.

**1.3** Два экземпляра рецензии, подписанные специалистом и заверенные печатью учреждения. В рецензии отражается актуальность раскрываемой проблемы, оценивается научный уровень представленного материала и дается рекомендация об опубликовании статьи в журнале.

**1.4** Сведения об авторе(ах): ФИО (полностью), ученая степень, ученое звание, должность, место работы (место учебы или соискательство), контактные телефоны, факс, e-mail, почтовый индекс и адрес.

**1.5** Фамилия и инициалы автора(ов), название статьи, аннотация (не более 0,3 стр.), ключевые слова и фразы на русском и английском языках.

**1.6** В конце статьи – список литературы (оформление – см. п. 2.6.).

**1.7** Индекс УДК (универсальная десятичная классификация).

**2. Правила оформления рукописи статьи в печатном виде:**

**2.1** Текст рукописи набирается шрифтом Times New Roman размером 14 pt с межстрочным интервалом 1,5. Русские и греческие буквы и индексы, а также цифры набирать прямым шрифтом, а латинские – курсивом. Аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos) набираются прямым шрифтом.

**2.2** Размеры полей страницы по 20 мм формата А4. Обязательна нумерация страниц по центру.

**2.3** Основной текст рукописи может включать формулы. Формулы должны иметь нумерацию (с правой стороны в круглых скобках). Шрифт формул должен соответствовать требованиям, предъявляемым к основному тексту статьи (см. п. 2.1). В статье должен быть необходимый минимум формул, все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

**2.4** Основной текст рукописи может включать таблицы, рисунки, фотографии (черно-белые или цветные). Данные объекты должны иметь названия и сквозную нумерацию.

Качество предоставления рисунков и фотографий – высокое, пригодное для сканирования. Шрифт таблиц должен соответствовать требованиям, предъявляемым к основному тексту статьи (см. п. 2.1). Шрифт надписей внутри рисунков – Arial № 10 (обычный).

**2.5** Список литературы размещается в конце статьи в порядке последовательности ссылок в тексте. Ссылки на литературу в тексте заключаются в квадратные скобки. Оформление списка литературы проводить в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003.

**2.6** Рукопись должна быть тщательно отредактирована и подписана автором(ми) с обратной стороны последней страницы с указанием контактных телефонов.

### **3. Правила оформления рукописи статьи в электронном виде**

**3.1** В электронном виде необходимо представить два текстовых файла: 1) рукопись статьи; 2) информация об авторе(ах). Запись файлов выполняется в текстовом редакторе MicrosoftWord (расширения .doc или .rtf) на дискету или лазерный диск, а также возможна отправка на электронную почту (см. ниже). В названии файлов указывается фамилия автора(ов).

**3.2** Все графические материалы (рисунки, фотографии) записываются в виде отдельных файлов в графических редакторах CorelDraw, Photoshop и др. (расширения .cdr, .jpeg, .tiff). Все графические материалы должны быть доступны для редактирования.

### **4. Общие требования:**

**4.1** Редакция оставляет за собой право дополнительно назначать экспертов.

**4.2** Рукописи, не соответствующие изложенным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

**4.3** Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не возвращаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей.

**4.4** На материалах (в том числе графических), заимствованных из других источников, необходимо указывать авторскую принадлежность. Всю ответственность, связанную с неправомерным использованием объектов интеллектуальной собственности, несут авторы рукописей.

**4.5** Гонорар за опубликованные статьи не выплачивается.

**4.6** Рукописи статей с необходимыми материалами представляются ответственному секретарю журнала Т. В. Кормилицыной по адресу:

430007, г. Саранск, ул. Студенческая, д. 11 а, каб. 221. Тел.: (8342) 33-92-82; тел./факс: (8342) 33-92-67; эл. почта: edu\_exp@mail.ru

### **5. Порядок рассмотрения статей, поступивших в редакцию:**

**5.1** Поступившие статьи рассматриваются членами редколлегии в течение месяца.

**5.2** Редакционная коллегия оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие установленным требованиям или тематике журнала. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не возвращаются.

**5.3** Редакционная коллегия не вступает в дискуссию с авторами отклоненных материалов и не возвращает рукописи.

**5.4** Редакция не несет ответственность за допущенные авторами ошибки и плагиат в содержании статей.

**5.5** Редакционная коллегия в течение 7 дней уведомляет авторов о получении статьи. Через месяц после регистрации статьи редакция сообщает авторам о результатах рецензирования и о сроках публикации статьи.

**5.6** Редакционная коллегия предоставляет автору бесплатный экземпляр журнала, содержащий опубликованную статью.

## Подписка

Осуществляется подписка на научно-методический журнал  
«Учебный эксперимент в образовании».

Журнал выходит 4 раза в год, распространяется только по подписке.  
Подписчики имеют преимущество в публикации научных работ.

На журнал можно подписаться в почтовых отделениях. Индекс для  
подписки в дополнительном каталоге «Роспечать» по Республике  
Мордовия – 31458.

Подписная цена на полугодие – 213 руб. 22 коп.

По всем вопросам подписки и распространения журнала обращаться  
по адресу: 430007, г. Саранск, ул. Студенческая, д. 11а, каб. 221.  
Тел.: (8342) 33-92-82;  
тел./факс: (8342) 33-92-67;  
эл. почта: [edu\\_exp@mail.ru](mailto:edu_exp@mail.ru)

Подписано в печать 16.11.2012 г.  
Формат 70x100 1/16. Печать ризография.  
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 15,5.  
Тираж 200 экз. Заказ № .

---

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт  
им. М. Е. Евсевьева»  
Редакционно-издательский центр  
430007, г. Саранск, ул. Студенческая, 11

---

