

ISSN 2079-875X

УЧЕБНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ОБРАЗОВАНИИ

Научно-методический журнал

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ
∞
ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ
∞
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

2/2012

УЧЕБНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ОБРАЗОВАНИИ

Научно-методический рецензируемый журнал

№ 2 2012 апрель-июнь

Основан в марте 1997 г.

Выходит 4 раза в год

ISSN 2079-875X

Издание журнала одобрено
МИНИСТЕРСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Материалы VII Международной конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы физики»

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.

ОТ РЕДАКЦИИ

В столице Республики Мордовия в г. Саранске с 28 по 30 мая 2012 года проходила VII Международная конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы физики». Инициатором проведения конференции явилась кафедра физики и методики обучения физике ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева».

Конференция проводилась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-02-06048-г), Мордовского регионального отделения Российского Союза научных и инженерных обществ и Саранского дома науки и техники.

Проведение конференции продиктовано чрезвычайной важностью совершенствования учебного процесса в образовательных учреждениях в рамках концепции модернизации образования, органически связанной с использованием важнейших достижений науки и техники. В условиях дефицита специального оборудования и приборов чрезвычайно важна интеграция научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проводимых в академических институтах, научно-исследовательских организациях и учебных заведениях через обмен информацией на симпозиумах, конференциях и совещаниях.

Преподавателям физики и технических дисциплин по роду своей деятельности приходится постоянно совершенствовать демонстрационный эксперимент, участвовать в постановке новых лабораторных практикумов, разрабатывать факультативные и специальные курсы. Естественно, что решение поставленных задач возможно на основе использования научных достижений в приоритетных областях науки и техники, в частности полупроводниковой, вакуумной и плазменной электроники, источников света и других областях.

Следует отметить, что обмен информацией о научно-технических достижениях в области физики, физики полупроводников и нанoeлектроники, источников излучения будет способствовать установлению научных связей для ускорения и повышения уровня научных исследований и в плане совершенствования конструкции и технологии выпускаемых отечественной промышленностью приборов. Поэтому не случайно регулярные международные научно-технические конференции по фундаментальным и прикладным проблемам физики проводятся в ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева». Они становятся заметным явлением среди подобных мероприятий.

Для участия в конференции было подано более 200 заявок из 30 городов Российской Федерации (г. Москва, г. Санкт-Петербург, г. Томск, г. Волгоград и др.) и ближнего зарубежья (г. Киев, г. Харьков, г. Баку, г. Ташкент, г. Нукус и др.). В программу конференции было включено 115 докладов.

Были заслушаны доклады в области физики, физики полупроводников и диэлектриков; физики наноразмерных структур; источников излучений, светотехники; техники физического эксперимента и использования современных достижений в учебном процессе.

Особый интерес участников конференции вызвали доклады:

1. Эффекты адсорбции одновалентных атомов на углеродных нанотрубках (Н. Г. Лебедев, д. ф.-м. н., профессор, Волгоградский государственный университет).
2. Силовые полупроводниковые приборы на карбиде кремния, проблемы и решения (Е. Е. Гейфман, д. т. н., профессор, Н. А. Гарцев, ЗАО НПК «Электровыпрямитель», г. Саранск).

3. Особенности и перспективы развития источников света в России (А. М. Кокинов, к. т. н., профессор, Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева).

4. Методологические проблемы светодиодной техники и некоторые пути их решения (Р. Х. Тукшаитов, д. б. н., профессор, Казанский энергетический институт).

5. Перспективы использования источников света в постановке экспериментов по физике (В. К. Свешников, член-корреспондент АЭН РФ, д. т. н., профессор, Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева).

6. Расчет энергии атомов актиноидов (Ю. Б. Малыханов, д. ф.-м. н., профессор, Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева).

7. Влияние кинетики межзонной рекомбинации на коэффициент нелинейных искажений фоторезистора (Б. Н. Денисов, д. ф.-м. н., профессор, Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева).

8. Экспериментальное изучение физических свойств емкостного высокочастотного разряда низкого давления с внешними электродами (В. П. Савинов, д. т. н., Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова).

9. Компьютерное моделирование при изучении аналогий колебаний различной физической природы (Х. Х. Абушкин, к. п. н., профессор, Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева).

В прениях по докладам выступили: д. ф.-м. н., профессор, Г. Н. Лебедев (г. Волгоград), д. ф.-м. н. В. П. Савинов (г. Москва), д. б. н., профессор, Р. Х. Тукшаитов (г. Казань), д. ф.-м. н., профессор, Ю. Б. Малыханов (г. Саранск), д. т. н., профессор, А. С. Федоренко (г. Саранск), доцент В. М. Михайлов (г. Москва), Е. Ю. Морозова (г. Москва).

В результате обсуждения докладов на секционных заседаниях в целях повышения эффективности научных исследований, проводимых в различных исследовательских группах, их внедрения в конкретные технические разработки и в учебный процесс предлагается:

- расширить интеграцию результатов исследований, проводимых в научно-исследовательских институтах и вузах в области нанотехнологий, полупроводниковой электроники, источников света, с целью выпуска конкурентоспособной продукции, исследования рынка сбыта научных разработок, коммерциализации их результатов и внедрения в производство и учебный процесс вузов;

- расширить обмен научно-технической информацией путем проведения регулярных конференций, публикаций в журнале «Учебный эксперимент в образовании», издаваемого в Мордовском государственном педагогическом институте им. М. Е. Евсевьева.

Отмечая высокий научный уровень конференции и представленных на конференции докладов, считаем необходимым:

1. Продолжить внедрение научно-технических достижений в приоритетных областях науки и техники в учебный процесс высших и средних специальных заведений в рамках концепции модернизация образования.

2. Разрабатывать содержание и методику преподавания новых элективных курсов, в которых отражаются достижения современной физической науки и техники.

3. Активно внедрять в обучение физике информационно-коммуникационные технологии и на этой основе разрабатывать содержание и технологию дистанционного обучения.

4. Провести в 2014 году VIII Международную конференцию «Фундаментальные и прикладные проблемы физики» на базе ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева».

В предлагаемом номере журнала опубликованы отдельные статьи, рекомендованные оргкомитетом VII Международной конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы физики»

УДК 161

*

ПОИСКИ НОВОЙ РАЦИОНАЛЬНОСТИ В НАУКЕ

Г. Г. Зейналов

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

В статье раскрываются особенности новой постнеклассической рациональности.

Ключевые слова и фразы: рациональность, методологизм, глобальный эволюционизм, самоорганизация, антропный принцип.

Современная рациональность – детище XX века. Ее облик сложился в условиях драматических потрясений и крупномасштабных перемен в жизни человечества, поразительных успехов науки и техники, сложных и противоречивых изменений в культуре. В начале XXI века мы приблизились к осознанию того, что можем погибнуть как цивилизация от успехов собственного разума и научной деятельности. Перед человечеством встал вопрос о необходимости поиска новой рациональности как инструмента познания и преобразования действительности.

Обсуждение проблем научной рациональности представляется не только важной методологической проблемой, но и философской, связанной с поисками новых смыслов бытия. Рациональность – оценочное понятие. Вопрос состоит в уточнении *критерия* нашей оценки – на каком основании мы оцениваем нечто как рациональное? Чтобы раскрыть содержание оценочного контекста, следует установить те понятия и подходы, которые непосредственно участвуют в наших оценках рациональности.

Под *рациональностью* обычно понимается разумность человеческой деятельности, т. е. способность человека мыслить и действовать на основе разумных (эффективных) норм и правил. В рациональности особое значение получает вера в прогресс. Попытка раскрыть специфику рациональности науки через понятие *прогресса* исходит из признания того, что научное познание – это *прогрессирующая деятельность*. Наука – это проблеморешающая деятельность. Как пишет Ю. В. Сачков в работе «Полифункциональность науки», «...науку принято определять как высокоорганизованную и высокоспециализированную деятельность по производству объективных знаний о мире, включающем и самого человека» [10, с.145]. Прогресс науки

* Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ за счет средств проекта 2.4.2. «Создание центра развития творческого мышления «Интеллектуальная элита в сфере образования» Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт имени М. Е. Евсевьева» на 2012–2016 гг. «Педагогические кадры для инновационной России».

связан с ее способностью решать концептуальные и эмпирические проблемы. Поэтому эти *проблемы* становятся и средством измерения научной рациональности.

Общая тенденция динамики европейского рационализма движется от разума всеобъемлющего к разуму научному. Это более четко видно в рамках трансформации рациональности от античности до позитивизма. Слово «рациональность» происходит от латинского «ratio». Цицерон как «ratio» переводит греческое слово «логос», что у многих античных мыслителей (Гераклита, Демокрита, Платона и др.) понимается как мировой закон.

В целом, при всех нюансах трактовки рациональности, в античности прослеживается общая тенденция онтологизации рационального. Аристотель в духе компромисса толкует Логос как отношение, пропорцию в самих вещах. Человек, обнаруживая природный Логос, т. е. пропорцию в вещах, проявляет разумность, если подчиняется Мировому разуму. В этой связи как характеристики человеческой разумности Аристотель вводит понятия «благо-разумие», «цело-мудрие», и рациональность выступает как соизмерение человека в бытии сущего.

Даже в рамках Средневековой культуры основные принципы Патристики «Знать, чтобы верить» и Схоластики «Верить, чтобы знать», свидетельствуют, что христианство также опиралось в познании мира на человеческое радио. Верю, чтобы познать (*credo, ut intelligam* – лат.), – пишет средневековый мыслитель Ансельм Кентерберийский.

Возрождение и Просвещение возводят рационализм в единственный абсолют науки и познания. Благодаря этому человек возвышал себя над природой и «люди почувствовали себя живыми людьми, а не несчастными грешниками, как они все еще называли себя в молитвах» [9, с. 545].

В Новое время, с возникновением опытных наук и применением математики в экспериментальном естествознании, рациональность становится методом (измерение). Весь человеческий опыт (факты) подвергается «цензуре разума» (И. Кант). У Канта сочетаются опыт и разум. «Мысли без содержания пусты, созерцания без понятий слепы... Рассудок ничего не может созерцать, а чувства ничего не могут мыслить. Только из соединения их может возникнуть знание» [4, с. 155]. Гегелевский надличностный логический рационализм считает, что законы мышления определяют законы природы, т. е. природа есть лишь «внешняя оболочка» лежащего в ее основе разума.

Позитивистская трактовка рациональности – логичность и непротиворечивость. Разум общефилософский постепенно вырождается в разум научный, но уже в XIX в. возникают сомнения в позитивной роли научного разума. Начинается кризис европейского рационализма (А. Бергсон, Э. Гуссерль, М. Вебер, М. Хайдеггер, К. Ясперс и др.).

Иррационализм принижает разум и подчеркивает особое значение в жизни человека внечувственных и внеразумных факторов: слепой, безрассудной воли (А. Шопенгауэр), инстинкта (А. Бергсон), коренящихся в глубинах «коллективного бессознательного» архетипов (К. Юнг). Источником зна-

ний он объявляет мистическую интуицию, сверхчувственное восприятие, непосредственный контакт с высшими силами («откровение свыше») и т. д.

Во второй половине XX века отечественный ученый В. С. Степин предложил классификацию науки и рациональности. Им выделяются классическая, неклассическая и постнеклассическая рациональности. Классика имеет следующие особенности: онтологизм, элементаризм, атомизм и механистическую картину мира. Предполагается, что каждому определенному объекту соответствует вполне определенное, типологически единственное знание. Субъект познания рассматривается лишь в качестве посредника между объектом и знанием. Неклассика имеет особенности: гносеологизм, субъективизм, фрагментаризм, антисциентизм и квантово-диалектическую картину мира.

Главной особенностью постнеклассической рациональности является методологизм, представленный школами историков науки «большой четверки» Т. Куна, К. Поппера, И. Лакатоса, П. Фейерабенда.

Новый рационализм отрицает саму возможность правил в науке. Т. Кун отвергает как сведение научной рациональности к сумме однозначных правил, так и другую крайность – признание иррационалистического характера науки. Предлагаемый им подход основывается на идее мягкой регуляции научной деятельности. Дальше всех идет Пол Фейерабенда. Его позицию называют методологическим анархизмом. Она изложена в его знаменитой работе «Против метода» (1975). С принципом «все дозволено» (everything goes) П. Фейерабенда защищает методологический плюрализм и утверждает принцип, «который призывает создавать и разрабатывать теории, несовместимые с принятыми точками зрения», даже если те являются общепризнанными [14, с. 420]. Метод Лакатоса – это метод рациональных реконструкций. Рациональная реконструкция – это предлагаемая историком науки возможная модель, укладывающая неудобные исторические факты в рационалистические рамки. Метод критического рационализма Поппера привел к расширению понятия рациональности и распространению понятия рациональности на другие области человеческой деятельности (всюду, где только возможен собственный критико-аргументационный базис).

Общая тенденция во всем этом разнообразии прослеживалась как сопоставление научной рациональности не столько с комплексом внутринаучных правил, сколько с ценностями бытия. Так, для Т. Куна регулятивами научной деятельности, определяющими выбор среди конкурирующих теорий, являются не правила или критерии, а именно ценности.

В категориальной сетке современной рациональности картину мира характеризуют такие понятия, как нелинейность, необратимость, неустойчивость, самоорганизация, сложность, многовариантность, разнообразие, коэволюция. Для описания мира они применялись еще в классической и неклассической науках, но не имели ключевого значения. В контексте синергетической парадигмы вопрос о новом типе рациональности связывается с такими свойствами реальности, как нелинейность, открытость, необратимость,

неравновесность и др., что в современном научном мировоззрении вместо механистической картины формирует качественно новую научную картину мира, в которой одной из фундаментальных составляющих является идея глобального эволюционизма. Она выступает как организующее начало, стержень научного представления о мире как универсальном процессе. Например, раньше эволюция трактовалась как результат приспособления, сегодня эволюция, а точнее, коэволюция определяется тремя факторами: приспособлением, разнообразием, прогрессом. Изменчивость, как черта процесса, дополняется постоянством.

Уходит в прошлое идея атомизма, господствующая в мировоззрении до конца 19 века. В методологическом плане «... атомизм в своей основе предполагает не только наличие громадного числа составляющих его элементов, но и наличие «самостоятельности» в их поведении» [12, с. 6]. В рамках глобального эволюционизма (И. Пригожин, Э. Янч и др.) общий методологический контекст обретает идея «самоорганизующейся вселенной» (Э. Янч), где реальность представляется как система непрерывных процессов. Происходит эволюция эволюционных процессов, называемая Э. Янчем самотрансценденцией. В такой реальности, где есть только процесс, приходится отказаться от «внешнего наблюдателя» (трансцендентального субъекта, Бога, метаболического разума). Есть «самотрансцендирующий субъект», который может быть понят лишь в конкретном диалоговом контексте, где в процессе диалога между его участниками рождается новый смысл [15]. Таким образом, научное познание, сделав оборот в течение XX века, вернулось к исходному пониманию разума в рамках античной культуры в качестве Мирового закона.

Гуманитарные науки возвращают свои позиции в науки, потерянные в период Нового времени. Происходит все большее проникновение в естественные науки категорий, принципов и методов гуманитарных наук. Современная рациональность в познании ориентируется не на объяснение субъекта, а на понимание. Диалог становится всеобщим методом. Там, где есть взаимодействие, видится диалог. Как отмечает М. М. Бахтин: «Диалог не средство, а самоцель. Диалог здесь не преддверие к действию, а само действие. Быть – значит общаться диалогически. Когда диалог кончается, все кончается. Поэтому диалог, в сущности, не может и не должен кончиться» [1].

Таким образом, процесс объяснения бытия становящегося приобретает характер смыслопорождения. При этом смысл не принадлежит бытию, как у Хайдеггера, или субъекту, как у Канта, а образуется в промежутке, не в пустоте, а в слиянии, во взаимодействии, в синтезе бытия и сознания. Как замечает В. И. Аршинов, в таком случае, если процесс познания уподобить диалогу между человеком и природой, то смысл удерживается в пространстве подвижного диалога, его не может целиком приписать себе никто из собеседников. «Новейший философский словарь» определяет диалог как «информативное и экзистенциальное взаимодействие между коммуницирующими сторонами, посредством которого происходит понимание» [6, с. 320]. Итак, коммуникация воспринимается как внутреннее свойство диалогизиру-

ющей системы.

В рамках проблем современной рациональности особое значение получает случайность. Еще с античности случайность понимается как непознанная причина (Демокрит). Здесь случайность приписывается познающему субъекту. Но происхождение физических событий всегда зависит только от условий, влияющих на его появление и ход, но не от степени нашего знания. Представления о случайности в истории науки за последние десятилетия претерпели громадные изменения. Можно согласиться с Ю. В. Сачковым, что «... ее вхождение в структуры научных методов вскрыло ограниченность классического образа мышления» [11, с. 135], которые опирались на идею однозначности и отвергали какие-либо неоднозначности и неопределенности. «Классическое естествознание практически отторгло случайность. Она здесь рассматривалась как нечто такое, что характеризует внешние, побочные, второстепенные связи и отношения, несовместимые с внутренней сущностью исследуемых систем и процессов. Представлениям о случайности нет места в структуре закона, последний выражает лишь необходимые связи, понимаемые к тому же на манер механических. ... Развитие познания обобщает наши знания о случайном. Ныне оно сопрягается с такими понятиями, как спонтанность, неоднозначность, неопределенность, и рядом других. Тем самым случайность стала трактоваться как одно из начал мира, выражающее его изменчивость, подвижность, пластичность». [12, с. 4–5]. Классический мир необходимостей в современном познании трансформируется в мир случайностей и вероятностей.

В контексте парадигмы глобального эволюционизма в ходе анализа процессов самоорганизации меняются представления о хаосе и порядке. Раньше порядок приписывался к твердым телам, а хаос к модели идеального газа в состоянии термодинамического равновесия. В исследованиях последних десятилетий показано, что «... понятия об идеальном хаосе и порядке являются предельными, а реальные системы всегда представляют собой своеобразный синтез этих «полярностей» [12, с. 8]. Они «... в действительности не являются антиподами. Хаос и порядок, в частности, могут трансформироваться непрерывно друг в друга при изменении параметров системы. Не будет даже большим преувеличением сказать, что не бывает ни абсолютного порядка, ни абсолютного хаоса – это лишь предельные ситуации. Всякая же реальная система пребывает в некотором промежуточном состоянии, и оценивать следует близость этого состояния к одному из предельных, т. е. абсолютному порядку или полному беспорядку» [2, с. 273]. «Хаос составляет необходимую составляющую эволюционных изменений, и в этом его основное «назначение». Соответственно этому даже говорят, что хаос – часть красоты природы» [12, с. 9].

Меняется также и содержание «новой рациональности», определяется ее «открытость» для расширения. Новая рациональность ныне уже не сводится к логичности как классический рационализм, она включает в себя и внелогические мыслительные действия. Считается, что «Разум только тогда

рассматривается в качестве фундамента рациональности, когда он дополняется чувственностью, интуитивно-образным прозрением, всей субъективностью человека» [3]. В частности, интуиция уже не противопоставляется разуму, а выступает в качестве одной из форм разумного мышления. Допустим, К. Юнг источником знаний объявляет мистическую интуицию, сверхчувственное восприятие, непосредственный контакт с высшими силами («откровение свыше») и т. д. В последнее время осуществлены обширные исследования, в которых миф, магия, религия, паранаука проанализированы с точки зрения рациональности. Некоторые западные исследователи, да и отечественные тоже, обратились уже не к вере и не к человеческой субъективности, которые должны восполнить показания разума достоверностями универсального опыта, а непосредственно к мистической традиции, также архаическим формам сознания, богоискательству в утраченных языческих индоевропейских мифах. Мистика трактуется как древняя традиция, обладающая особым типом рациональности, построенной на интуиции и специфической структурности, обладающей прогностическим потенциалом и мировоззренческим предвидением. Считается, что интуиция мистического сознания раскрывает изначальное единство всех вещей. Как отмечает П. С. Гуревич, «рациональное может рассматриваться как универсальная категория, охватывающая чистую логику в классическом или современном мышлении, диалектику и даже некоторые формы мистического опыта [3]. Таким образом, эмоциональные, ценностные факторы понимаются современным рационализмом как важные составляющие разумной деятельности.

На содержание современной рациональности значительное воздействие оказали естественнонаучные открытия последних десятилетий, особенно в сфере психологии и физики, которые дали новый смысл таким фундаментальным понятиям, как пространство, время, материя, сознание. Пространства, вместо представления в виде совокупности близлежащих точек, элементов, атомов, воспринимается как функциональная или системная структура. «Последовательная полевая теория, – пишет А. Эйнштейн, – требует непрерывности всех элементов теории, и не только во времени, но также и в пространстве, причем во всех его точках. Следовательно, материальной точке как фундаментальному понятию нет места в полевой теории» [11, с. 99].

«Время» в современной естественнонаучной картине мира постигается как время бытия, исключительно путем исследования конкретных процессов движения и развития. Поэтому мир уже не рассматривается как своеобразный музей, в котором каждый бит информации сохраняется. Мир – процессы, разрушающие и генерирующие информацию и структуру.

Вообще понятие «мир» чаще замещается понятием «универсум», обозначающим единую многообразную субстанцию, в которой материя и сознание не противопоставляются друг другу, а скорее выступают как взаимодополнения. Так, виднейший английский физик Д. Бом отверг традиционное для науки описание бытия как мозаики разъединенных элементов. Мир для него оказывается целостной и неделимой реальностью.

Старые модели рациональности обеспечивают последовательное, дискурсивное продвижение к постижению мира. Д. Бом исходит из всеохватности мира, из возможности целостного и одномоментного его воспроизведения. Его идеи отражают новые представления физиков о природе сознания. Он предлагает так называемую голографическую модель мира. Материальная структура Вселенной объясняется как гигантская голограмма. Но если каждая часть Вселенной отражает всю ее структуру, стало быть, можно вывести некий универсальный архетип всеобщей связи. «Вселенная подобна гераклитову потоку. Державное движение этого потока Бом назвал «голокинезом» [3].

Итак, новая картина Вселенной скорее возникла в психологии и закрепились в физике. Она не может обойтись без философии, потому что актуализирует древнейшие воззрения, архаические сюжеты. «Тайна мироздания, даже когда она обнаруживается в пробирке или в тончайшем приборе, вызывает потребность в мировоззренческом обосновании. Если электрон обладает разумом, как предполагают ученые, стало быть, важно правильно настроить человеческий разум, который мог бы ухватить тайны мира в едином рационалистическом напряжении, или, точнее сказать, путем оправданной самонастройки» [3].

Важнейшей функцией новой рациональности становится предвидение (опережение). «... наука – это искусство предвидения, – пишет В. Оствальд. Вся ее ценность в том, в какой мере и с какой достоверностью она может предугадать будущие события. Мертво всякое знание, которое ничего не говорит о будущем, и такому знанию должно быть отказано в почетном звании – наука» [7, с. 16]. На предвидении фактически основывается вся практика современного человека. Принцип предвидения (опережение) сегодня проникает в мировоззрение, и стратегия устойчивого развития считается важным принципом современного экологического сознания и глобального мышления.

Современное естествознание, введя в научный обиход антропный принцип, включило человека во внутринаучный контекст исследования. Важно, что в основанной на идее глобального эволюционизма картине мира, познающий субъект не противостоит объективной реальности, а понимается как часть этой реальности. М. Хайдеггер писал, что человек теперь сам задает меру существу, сам от себя и для себя определяя, что вправе считаться сущим [13, с. 143–176.]. Человек – фактор эволюции, участник процесса и, как обладающий разумом и способный направлять и осознавать эволюцию, поэтому ответственность становится основным принципом его деятельности. Антропный принцип не только констатирует форму реализации вида или типа реальности, но и приводит к выводу, что такая констатация возможна только как результат эволюции, развития Вселенной [5]. Развивая данную идею, И. Р. Пригожин фактически выдвигает антропный принцип участия и считает, что «природу невозможно описывать «извне», с позиций зрителя. Описание природы – живой диалог, коммуникация, и она подчинена ограничениям, свидетельствующим о том, что мы – макроскопические существа,

погруженные в реальный физический мир» [8, с. 371]. Следовательно, все наиболее значимые научно-технические программы – развитие ядерной энергетики, электроники, компьютеризации, экологии, здравоохранения и т. п. должны учитывать не только специализированные знания, компетенции, умения и навыки ученых, но и соответствовать общечеловеческим нормам нравственности.

Таким образом, современная постнеклассическая научная рациональность формируется в предельно широком социально-культурном пространстве. Главной чертой современного идеала научности является высокая социально-практическая ориентированность. Появляются совершенно новые типы знания, изначально ориентированные на ценности, учитывающие интересы человека.

Литература

1. Бахтин, М. М. Проблемы поэтики Достоевского [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://philosophy.allru.net/perv305.html>
2. Гапонов-Грехов, А. В. Нелинейная физика. Стохастичность и структуры / А. В. Гапонов-Грехов, М. И. Рабинович // Физика XX века. Развитие и перспективы. – М., 1984. – 180 с.
3. Гуревич, П. С. Поиск новой рациональности (по материалам трех всемирных конгрессов) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.agnuz.info/tl_files/library/books/ratsionalnost/index.htm
4. Кант, И. Сочинения. В 6 т. Т. 3 // И. Кант. – М., 1954. – 380 с.
5. Нестерук, А. В. Проблемы глобального эволюционизма и антропный принцип в космологии // Глобальный эволюционизм (философский анализ). – М. : ИФРАН, 1994. – 350 с.
6. Новейший философский словарь. – Минск : Книжный Дом, 2003. – 1000 с.
7. Оствальд, В. Великий эликсир / В. Оствальд. – М., 1923. – 210 с.
8. Пригожин, И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс ; пер. с англ. – М. : Прогресс, 1986. – 158 с.
9. Рассел, Б. История западной философии / Б. Рассел. – М., 1959. – 430 с.
10. Сачков, Ю. В. Полифункциональность науки / Ю. В. Сачков // Проблема ценностного статуса науки на рубеже XXI века. – СПб., 1999. – С. 145–160.
11. Сачков, Ю. В. Вероятностная революция в науке. (Вероятность, случайность, независимость, иерархия) / Ю. В. Сачков. – М. : Научный мир, 1999. – 143 с.
12. Сачков, Ю. В. От неполноты знаний – к понятию независимости (вопросы обоснования статистических закономерностей) / Ю. В. Сачков // Природа. – 1993. – № 4. – С. 3–10.
13. Хайдеггер, М. Слова Ницше «Бог мертв» / М. Хайдеггер // Вопросы философии. – 1990. – № 7. – С. 143–176.
14. Янч, Э. Самоорганизующаяся Вселенная [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://spkurdyumov.narod.ru/ejanch.htm>

ИСТОЧНИКИ ИОНОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

В. К. Свешников, В. Г. Васильченко

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

Приводится анализ известных источников ионов щелочных металлов. Наиболее перспективными являются источники, основанные на поверхностной ионизации атомов, диффундирующих сквозь пористый эмиттер.

Ключевые слова и фразы: ион, источник ионов, поверхностная ионизация.

В настоящее время важным научно-техническим направлением является физика и технология микро- и наносистем. В указанных системах используются элементы, соизмеримые с размерами атомов. Расширение экспериментальных исследований в области нанотехнологий и наноматериалов, связанных с взаимодействием ионных пучков с поверхностью твердого тела, требует создания новых и совершенствования конструкции известных источников ионов.

Другим аспектом практического использования источников ионов является совершенствование технологий приборов с парами щелочных металлов, в частности натриевых ламп. Как известно, испытание образцов материалов, индифферентных к парам щелочных металлов, ведется в атмосфере их паров, что не учитывает бомбардировку стекла, керамики ионами, поступающими из газоразрядной плазмы. Поэтому отсутствие доступных и надежных источников ионов натрия затрудняет проведение испытаний материалов с целью корректировки их свойств.

Использование источников ионов натрия связано также с исследованием и созданием эффективных катодов [1].

Ниже приводится анализ известных источников ионов щелочных металлов. Ионы атомов щелочного металла могут быть получены несколькими способами, в частности поверхностной ионизацией, бомбардировкой поверхности пучком электронов, высокочастотным разрядом в парах щелочного металла.

Источники ионов с поверхностной ионизацией (ПИ) просты и надежны в эксплуатации. Как известно, степень поверхностной ионизации α определяется уравнением [2]:

$$\alpha = \frac{n_i}{n} = \frac{g_i}{g} \exp \left[\frac{e(\varphi - U_i)}{kT} \right], \quad (1)$$

где n_i – число слетающих с поверхности ионов; n – число поступающих атомов на поверхность; g_i/g – отношение статических весов ионного и атом-

ного состояний; e – заряд электрона; φ – работа выхода поверхности; U_i – потенциал ионизации атома; k – постоянная Больцмана; T – температура поверхности.

Как следует из (1), для получения значительной степени ионизации атомов щелочного металла при заданной температуре в качестве анода следует использовать металлы с высоким значением работы выхода (платина, молибден, вольфрам).

В источниках ионов с ПИ используются следующие основные способы подачи ионизирующего вещества к поверхности эмиттера: в виде атомных и молекулярных пучков; нанесением на ионизирующую поверхность алюмосиликатов; диффузии вещества сквозь пористый эмиттер.

В патенте США [3] приводятся конструкции ионных источников щелочных металлов с ПИ.

Принцип работы таких источников ионов основан на ионизации паров щелочного металла, поступающего из ампулы на нагретую поверхность анода (рис. 1). Образующиеся ионы ускоряются электродом 8 и коллектором ионов 9.

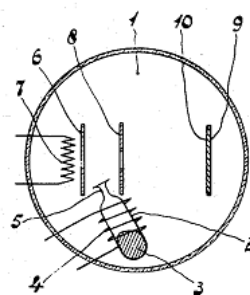


Рис. 1. 1 – оболочка; 2 – ампула; 3 – щелочной металл; 4 – нагреватель; 5 – отросток; 6 – анод; 7 – нагреватель анода; 8 – ускоряющий электрод; 9 – коллектор ионов; 10 – облучаемый ионами образец

Недостатком конструкции является нестабильность ионного потока металла, обусловленного зависимостью нагрева металла от температуры анода.

Усовершенствованная конструкция источника ионов приведена на рис. 2. Ионизация паров щелочного металла происходит в камере 3. Нагрев камеры осуществляется нагревателем 2.

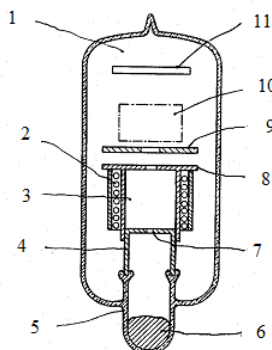


Рис. 2. 1 – оболочка; 2 – нагреватель; 3 – анодная камера; 4, 5 – соединительная трубка; 6 – щелочной металл; 7 – диафрагма; 8 – анод; 9 – ускоряющий ионы электрод; 10 – облучаемый ионами образец; 11 – коллектор ионов

Достоинством этой конструкции источника ионов является независимость концентрации паров щелочного металла от температуры анода, что позволяет увеличить стабильность ионного потока и эффективность ионизации атомов щелочного металла.

В работе [4] рассматривается источник ионов, используемый в электромагнитной разделительной установке. Рабочее вещество в виде металла или соли загружается в цилиндрический тигель 1. Нагревателем служат два коаксиальных цилиндра 2, накаливаемых током. Пары рабочего вещества поступают из тигля в парораспределитель 4 и через зазор между ионизатором 5 и передней крышкой 6 ионизационной камеры попадают на раскаленную поверхность ионизатора (рис. 3).

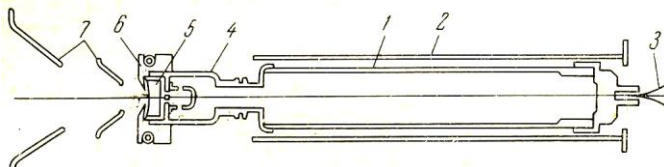


Рис. 3. 1 – тигель; 2 – нагреватель; 3 – термопара; 4 – парораспределитель; 5 – ионизатор; 6 – крышка; 7 – электроды

В патенте США [5] рассматривается точечный источник ионов щелочных металлов. На рис. 4 приведена схема источника ионов лития. Он состоит из электрода 2, который расположен внутри вольфрамовой трубки 3. Полость между электродом и трубкой заполнена литием.

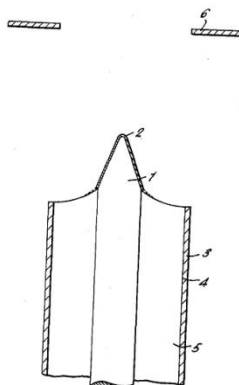


Рис. 4. Схема точечного источника ионов лития: 1 – электрод; 2 – вершина электрода; 3 – трубка; 4 – внутренняя стенка трубки; 5 – литий; 6 – диаграмма

Электрод источника выступает над поверхностью жидкого металла на 0,1–0,2 см. Кривизна электрода выбрана такой, чтобы жидкий литий за счет смачивания локализовывался на вершине электрода 2. Нагрев конструкции источника производится до температуры, которая превышает температуру плавления лития. К диафрагме 6 относительно электрода 1 прикладывается постоянное напряжение. Под действием электрического поля происходит ионизация атомов щелочного металла и ускорение ионов лития в направлении диаграммы.

В [5] рассматривается аналогичная конструкция источника ионов щелочных металлов, которая состоит из группы параллельно расположенных

электродов. Электроды расположены в полости корпуса, в который дозирован щелочной металл.

Аналогичный источник ионов лития представлен в работе [6]. Ионы лития извлекаются путем поддержания на острие положительного потенциала 5 – 10 кВ между иглой и диафрагмой. После извлечения ионы ускоряются под действием ускоряющего напряжения 10 – 20 кВ между диафрагмой и сеткой (рис. 5).

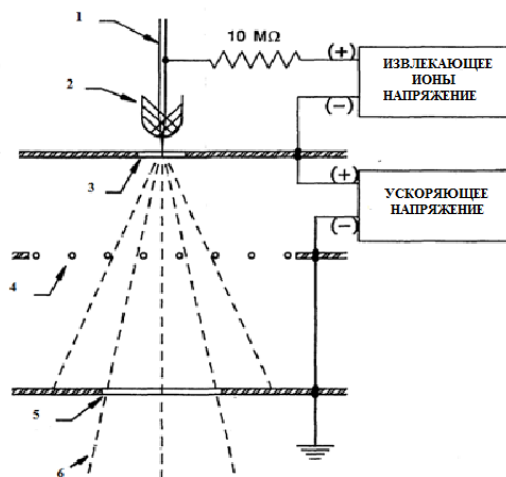


Рис. 5. 1 – вольфрамовая игла; 2 – расплавленный литий; 3 – диафрагма; 4 – сетка; 5 – отверстие; 6 – пучок ионов лития

К недостаткам рассмотренных источников ионов следует отнести следующие:

1. Высокие требования к материалу электрода. Электрод должен быть индифферентным по отношению к щелочному металлу.

2. Нестабильность ионного потока из-за влияния мениска жидкого металла на его ионизацию.

В качестве источника ионов щелочных металлов используются алюмосиликаты. Они состоят из смесей окислов щелочных металлов, окислов алюминия и окислов кремния, нанесенных на металлическую нагреваемую подложку. При высоких температурах смесь образует стеклообразное вещество, прочно связанное с металлической подложкой [7]. Окислы щелочного металла MeO, алюминия Al_2O_3 и кремния SiO_2 смешиваются в соотношении 2: 1: 1, 3: 1: 3, 1: 1: 2. В работе [8] отмечается, что в рыхлой сетке Al-O-Si мигрируют ионы щелочных металлов, которые ускоряются электрическим полем.

Достоинством таких источников является стабильность отбираемого ионного тока и высокая продолжительность их работы.

Источники ионов щелочных металлов, основанные на ПИ атомов, диффундирующих сквозь пористые эмиттеры, позволяют получить большие плотности тока. Срок службы таких эмиттеров ограничивается долговечностью пористых структур.

В работе [9] рассматривается источник ионов, использующий явление поверхностной ионизации атомов щелочных металлов на поверхности пори-

стого эмиттера (рис. 6). Ионизатор изготовлен из материала с большой работой выхода.

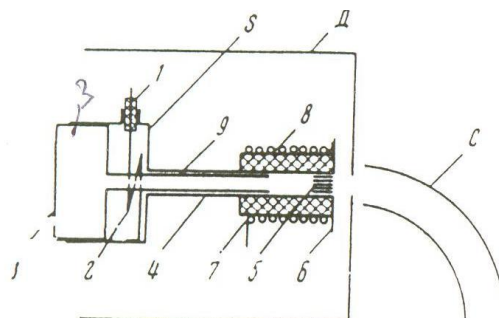


Рис. 6. 1 – изолятор; 2 – нагреватель; 3 – бункер; 4 – трубка; 5 – ионизатор; 6 – шайба; 7 – спираль нагревателя; 8 – кольцевой изолятор; 9 – паропровод; S – корпус источника; Д – электрод; С – цилиндрический конденсатор

При нагревании током нагревателей 2 и 7 происходит испарение соединения CsCl внутри бункера и ионизация атомов щелочного металла на поверхности ионизатора. Особенностью конструкции является то, что ионизатор 5 сделан в виде плотного пучка проволоки из сплава ВР-20, что позволило расширить температурный интервал нагрева ионизатора.

В работе [7] рассмотрен источник ионов с пористым ионизатором. Пористый ионизатор 1 герметически закрепляется в паропроводе из тугоплавкого металла 2, внутри которого находится ионизируемое вещество 3 (рис. 7).

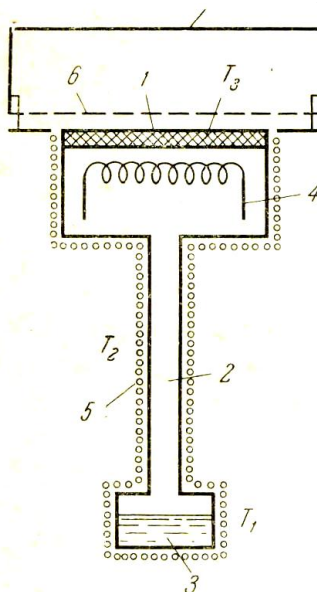


Рис.7. 1 – ионизатор; 2 – паропровод; 3 – ионизируемое вещество; 4 – подогреватель; 5 – обмотка

Недостатками рассмотренного источника, на наш взгляд, являются трудность наполнения бункера смесью щелочного металла и нестабильность работы источника.

В работе [10] приведены конструкции усовершенствованных источников ионов. В них нагреватель и ионизатор составляют единую конструкцию. На рис. 8 приведена одна из возможных конструкций такого источника.

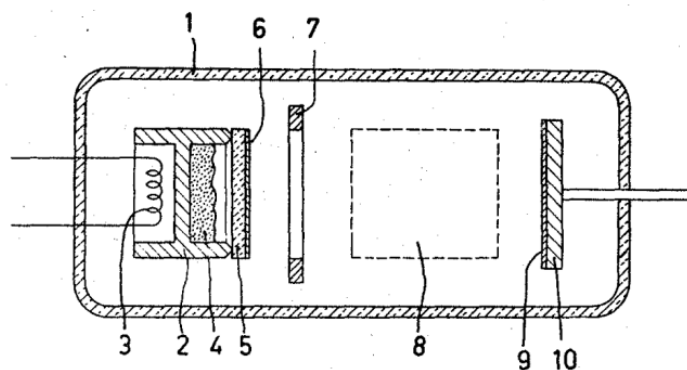


Рис. 8. 1 – оболочка; 2 – корпус; 3 – нагреватель; 4 – соединение рубидия; 5 – пористый вольфрам; 6 – слой рения; 7 – электрод; 8 – ионно-оптическая система; 9 – поглощающий слой; 10 – коллектор

Такой источник ионов позволяет получить стабильный и продолжительный поток ионов.

Диффузионный источник ионов щелочных металлов с отдельным нагреванием ионизирующей поверхности и испарителя описан в работе [11] (рис. 9).

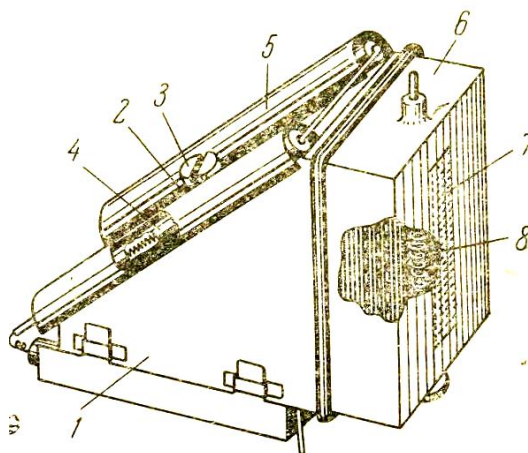


Рис. 9. 1 – камера; 2 – отверстие; 3 – пробка; 4, 5 – спирали; 6 – камера ионизации; 7 – ионизирующая поверхность; 8 – спираль

Недостатком такого источника является сложность конструкции и трудность обеспечения постоянства температуры испарителя и ионизатора.

Источник ионов, основанный на ионизации металла электронным ударом, рассмотрен в [12]. Он имеет камеру ионизации, в которую вводят поток паров анализируемого вещества (рис. 10). Перпендикулярно потоку паров камеру пересекает пучок ускоренных электронов, эмитируемых нагретым вольфрамовым катодом. Пучок электронов бомбардирует атомы анализируемого вещества. Если энергия электронов больше потенциала ионизации атомов, происходит ионизация пара.

Рассмотренные источники ионов имеют сложную конструкцию. Они не допускают развакуумирования вакуумной системы.

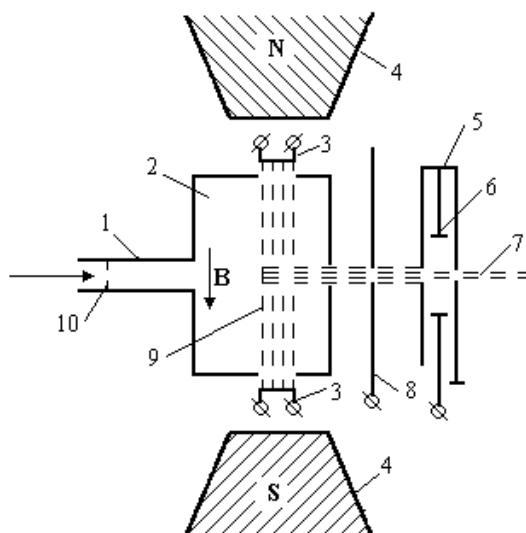


Рис. 10. 1 – трубка; 2 – ионизационная камера; 3 – катоды; 4 – фокусирующий магнит; 5 – ускоряющий электрод; 6 – отклоняющие пластины; 7 – ионный пучок; 8 – вытягивающий электрод; 9 – электронный пучок; 10 – диафрагма напуска

Ионы натрия также получают с помощью высокочастотного разряда, возбуждаемого в соли хлористого натрия [8]. Источник состоит из баллона, в котором имеется отросток с солью натрия. Нагрев соли и предотвращение конденсации паров на стенках баллона осуществляется нагревателями.

Недостатком источника является необходимость обезвоживания соли хлористого натрия и наличие в потоке ионов натрия посторонних компонентов.

Известны различные методы генерации ионов щелочных металлов. Наиболее перспективными являются источники, основанные на ПИ атомов, диффундирующих сквозь эмиттеры. Такие источники позволяют получать большие ионные токи при высокой их стабильности.

Общим недостатком известных источников ионов являются сложность их реализации и низкая эффективность. Они предназначены для использования в вакуумных устройствах, которые не допускают развакуумирования системы.

В настоящее время ведутся исследовательские работы в плане повышения эффективности источников, упрощения их конструкции, а также изучается возможность многократного использования источников в разборных вакуумных камерах и электровакуумных приборах.

Литература

1. Свешников, В. К. Исследование влияния натрия на работу выхода оксидного катода / В. К. Свешников // Изв. вузов : физика. – 2012. – Т. 55. – № 1. – С. 58–61.
2. Фридрихов, С. А. Физические основы электронной техники // С. А. Фридрихов, С. М. Мовнин. – М. : Высш. шк., 1982. – 608 с.
3. Патент США № 2754442, 10.06.1956.
4. Патент США № 4088919, 09.05.1978.
5. Райко, В. И. Ионный источник с поверхностной ионизацией для разделения изотопов щелочных элементов / В. В. Райко, М. С. Иоффе, В. С. Золотарев // ПТЭ. – 1961. – № 1. – С. 29–32.

6. Read, P. M. A lithium liquid metal ion source suitable for high voltage terminal applications / P. M. Read, J. T. Maskrey, G. D. Alton // Review of Scientific Instruments. – 1990. – V. 61. – P. 502–504.
7. Зандберг, Э. Я. Поверхностная ионизация / Э. Я. Зандберг, Н. И. Ионон. – М. : Наука, 1969. – 432 с.
8. Габович, М. Д. Физика и техника плазменных источников ионов / М. Д. Габович. – М. : Атомоиздат, 1972. – 304 с.
9. Аваков, А. С. Источники ионов щелочных металлов / А. С. Аваков // Приборы и техника эксперимента. – 1972. – № 4. – С. 33–34.
10. Патент США № 3382397, 07.05.1968.
11. Бредов, М. М. Источник ионов щелочных металлов / М. М. Бредов // Журнал технической физики. – 1950. – С. 476–479.
12. Полякова, А. А. Масс-спектрометрия в органической химии / А. А. Полякова, Р. А. Хмельницкий. – Л. : Химия, 1972. – 368 с.

УДК 621.391.832.23

МУЛЬТИПЛЕКСОР ДЛЯ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

А. С. Иванцев

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

Изложены результаты физического моделирования оптической части атмосферной оптической системы передач. Использование этой модели в практике преподавания дисциплин «Сети связи», «Системы документальной электросвязи» позволили повысить уровень остаточных знаний у студентов, обучающихся по специальности «Сети связи и системы коммутации».

Ключевые слова и фразы: мультиплексор, демультиплексор, атмосферные оптические системы передач, передающий оптоэлектронный модуль, инфракрасный излучающий диод.

В последнее время на рынке телекоммуникаций появились инфракрасные излучающие диоды (ИКИД) У-254, У-254А, У-254Б, предназначенные для атмосферных оптических систем передач (АОСП). Они излучают в диапазоне длин волн $\lambda = 860 \pm 20$ нм, имеют ширину спектра излучения $30 \div 50$ нм, при мощности излучения от 25 до 100 мВт. Проведены исследования по построению мультиплексора на базе интегрирующей сферы. В основе этих исследований лежат следующие соображения.

Излучения ИКИД У-254 можно мультиплексировать в разветвителе, построенном на основе интегрирующей сферы [1].

В спектральном диапазоне $840 \div 880$ нм можно мультиплексировать до двух-трех несущих, каждая из которых может иметь полосу шириной $\Delta\lambda = 7$ и

15 нм соответственно. Применение несущих с такой шириной полосы пропускания вполне реальная вещь [2]. Расстояние между полосами излучения будет ~7 и 15 нм, соответственно, как показано на рис. 1 и 2.

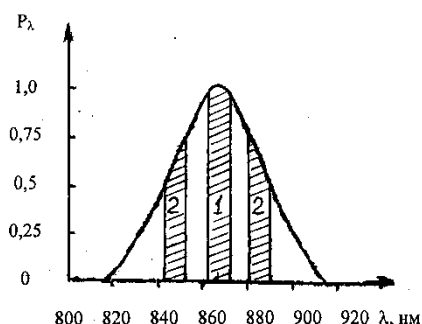


Рис. 1

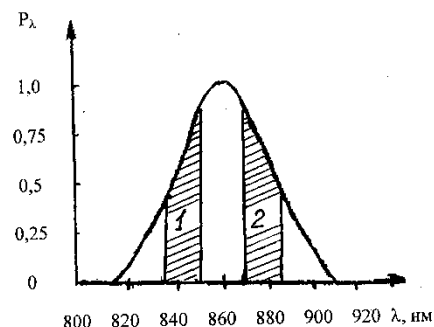


Рис. 2

Если площадь, ограниченную кривой спектрального распределения излучения и осью длин волн, принять за 100 % излучаемой мощности, то заштрихованные полосы обозначают мощность излучения в спектральных полосах $\Delta\lambda$ с довольно высокой точностью.

Результаты расчетов для всех трех типов ИКИД У-254 приведены в таблицах 1 и 2. Нумерация полос приведена на рис. 1, 2.

Таблица 1

№	Тип ИКИД	Р, мВт	Р, мВт в полосе		
			1	2	3
1	У-254	25	3,43	2,87	2,87
2	У-254А	80	10,98	9,18	9,18
3	У-254Б	100	13,72	11,48	11,48

Таблица 2

№	Тип ИКИД	Р, мВт	Р, мВт в полосе	
			1	2
1	У-254	25	5,25	5,25
2	У-254А	80	16,8	16,8
3	У-254Б	100	21,0	21,0

Анализ таблицы 1 и таблицы 2, а также данных из [2] показывает, что ИКИД У-254А и У-254Б в полосах несут оптическую мощность, которая вполне обеспечивает дальность связи до 5–6 км практически в любую погоду кроме густого снега, тумана, ливневого дождя.

Для получения несущей требуется перекрывать излучение каждого ИКИД узкополосным пропускающим оптическим фильтром, изготовленным на основе многослойного интерференционного покрытия (МИП).

Расчет МИП складывается из двух этапов: анализа и синтеза.

Анализ заключается в том, чтобы, исходя из данных о спектральных характеристиках ИКИД и требований к полосам пропускания оптических несущих, построить идеальную спектральную характеристику пропускания МИП, перекрывающего излучение ИКИД в интегрирующей сфере. Исходя из этих соображений идеальные характеристики полосовых пропускающих фильтров для случая 3-х несущих можно представить на рис. 3, а для случая 2-х несущих – на рис. 4.

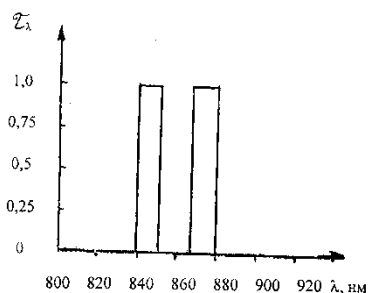


Рис. 3

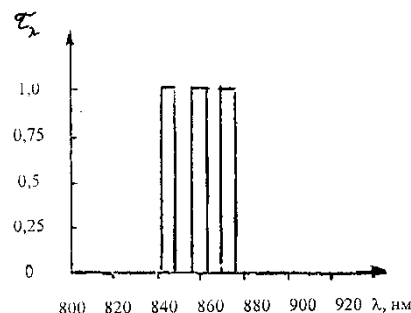


Рис. 4

Анализ рис. 3 и 4 показывает, что пропускание полосовых фильтров должно быть стопроцентным, а ширина полос пропускания должна быть соответственно 7 и 15 нм. В случае воплощения этих соображений в действительности мы можем получить максимум 60÷65 % пропускания. И в этом случае можно ожидать устойчивого сигнала на расстоянии $\sim 4,5$ км от передатчика АОСП.

Сущность задачи синтеза МИП состоит в том, чтобы по спектральным характеристикам отражения требуемого идеального МИП определить его параметры:

- число слоев N ;
- показатели преломления слоев: n_1, n_2, \dots, n_N ;
- толщины слоев: d_1, d_2, \dots, d_N .

Известно, что синтез МИП может проводиться тремя методами [3–5]: эквивалентных слоев; эквивалентных границ; аналитическим. В данной работе синтез МИП проводился методами эквивалентных слоев (МЭС) и аналитическим методом (АМ).

В основе МЭС лежит экспериментальный факт – максимальное значение коэффициента отражения дает МИП, состоящий из равнотолщинных слоев с высоким (n_v) и низким (n_n) показателями преломления равной оптической толщины $\lambda_0/4$, где λ_0 – длина волны максимального отражения. МИП должно содержать нечетное число слоев, крайний слой должен иметь n_v [6].

В основе АМ лежит пересчет показателя преломления со слоя на слой по рекуррентным формулам Власова [7], связывающим амплитудные коэффициенты пропускания с показателями преломления и толщиной слоев, составляющих МИП. При этом параметры равнотолщинного МИП и рассчитанного МЭС принимаются в качестве первого приближения.

МИП синтезировался на основе двух чередующихся материалов с параметрами $n_b = 2,3$ и $n_n = 1,38$ на подложке из оптического стекла, имеющего показатель преломления $n_c = 1,50$. Первым из воздуха всегда идет слой с n_b . Количество слоев задавалось до 41 и оказалось оптимальным. На основе этих исследований построен макетный образец оптической части АОЛС.

На рис. 5 представлена схема модели конструкции оптической части АОСП.

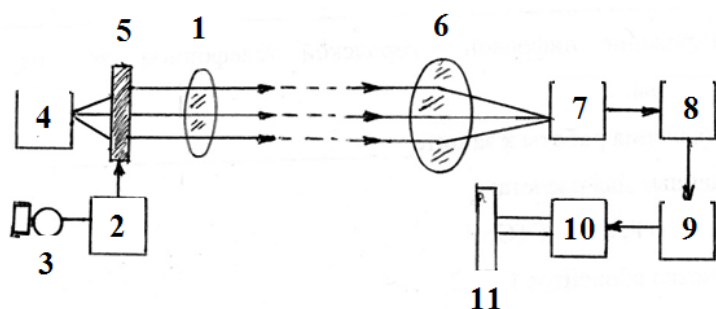


Рис. 5. Схема конструкции модели АОСП на базе ИКИД У-254

Лучистый поток, генерируемый ИКИД-4, фокусируется объективом 1, модулируется низкой звуковой частотой (300 – 3400 Гц) с помощью модулятора 5. Сигнал на модулятор поступает от микрофона 3 и усилителя низкой частоты 2. Промодулированное и сфокусированное излучение направляется на приемник 7, расположенный за входной оптической системой 6, которая фокусирует принятое излучение и направляет его на усилитель 8, демодулятор 9. Демодулятор выделяет первоначальную звуковую частоту из несущей частоты. Звуковая частота усиливается усилителем низкой частоты 10 и воспроизводится громкоговорителем 11. Следует заметить, что схема представлена в идеальном виде, в АОЛС будут большие помехи. Поэтому необходимо как в передатчике, так и в приемнике обязательно применение узкополосного оптического фильтра, отсекающего все другие излучения, присутствующие в атмосфере.

На рис. 6 представлена схема конструкции модели оптической части.

Интегрирующая сфера представляет собой полый металлический шарик, разделяющийся на две полусферы 1. Внутренняя поверхность обеих половинок шара покрыта диэлектрическим слоем с высоким коэффициентом отражения в видимой и ближней инфракрасной областях спектра [2]. Экран 3 покрыт тем же диффузно отражающим слоем с двух сторон.

Величина Φ_1 подсчитывается по формуле $\Phi_1 = E_e \cdot S_{ш} \cdot (1 - \rho) / \rho$, где:
 Φ_1 – мощность излучения (мВт), вводимого в интегрирующую сферу;
 E_e – облученность внутренней поверхности интегрирующей сферы (мВт/см²);

$S_{ш}$ – внутренняя поверхность интегрирующей сферы $S_{ш} = \pi D^2 / 4$ (см²);

D – диаметр интегрирующей сферы (см);

ρ – интегральный коэффициент отражения покрытия на внутренней поверхности интегрирующей сферы.

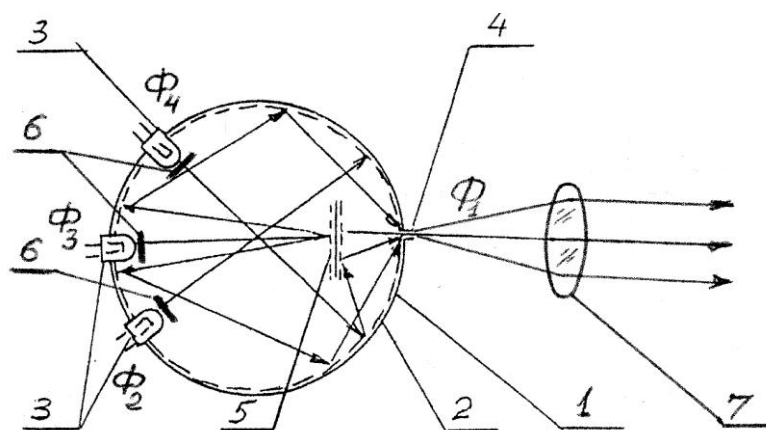


Рис. 6. Схема конструкции модели оптической части ПОМ на базе интегрирующей сферы:
1 – полусфера; 2 – отражающее покрытие; 3 – ИКИД; 4 – выходное отверстие;
5 – экран; 6 – интерференционный фильтр; 7 – объектив

Облученность внутренней поверхности E_e обеспечивается потоками излучения ИКИД У-254, вмонтированными в интегрирующую сферу. Поток Φ_1 , выводимый из интегрирующей сферы, равен произведению облученности E_e на площадь выходного отверстия в стенке сферы. В качестве объектива применялся фотообъектив «Юпитер» с фокусным расстоянием $f = 52$ мм и относительным отверстием $B/f = 1:2$. Излучения от трех ИКИД У-254 перекрывались интерференционными фильтрами, имеющими полосы пропускания шириной 15 нм, настроенными на длины волн $\lambda_1 = 845$ нм, $\lambda_2 = 865$ нм, $\lambda_3 = 885$ нм. Мультиплексированный поток Φ_1 проходит через объектив 7 в атмосферу. Этот поток улавливался оптической частью ПРОМ, изготовленной по схеме, приведенной на рис. 7.

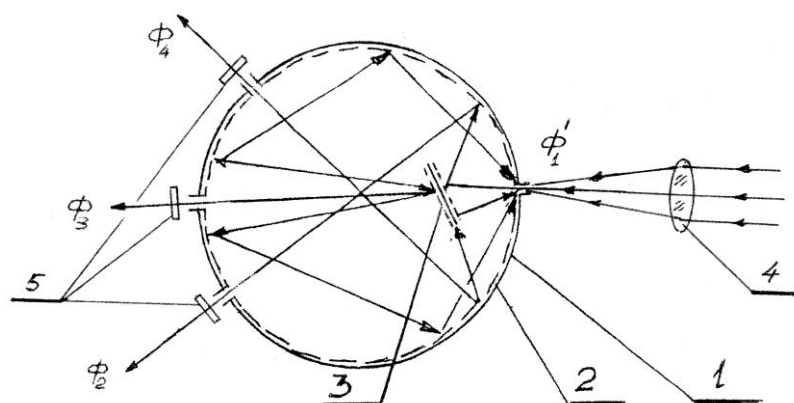


Рис. 7. Схема конструкции оптической части ПРОМ на базе интегрирующей сферы:
1 – полусфера; 2 – отражающее покрытие; 3 – экран; 4 – объектив;
5 – интерференционный фильтр

Объективом в ПРОМ являлся также «Юпитер» с теми же параметрами, что и в ПОМ. Для предотвращения обратного рассеяния экран в ПРОМ устанавливался под углом, подбираемым экспериментально. Поток, вышедший из ПОМ, улавливался объективом 4, попадал в интегрирующую сферу, испытывал в ней многократное отражение и через интерференционные фильтры 5, настроенные на те же длины волн, что и в ПОМ, а именно $\lambda_1=845$ нм, $\lambda_2=865$ нм, $\lambda_3=885$ нм поступал на нужные участки линии связи. Величины потоков Φ_2 , Φ_3 , Φ_4 четко соответствовали диаметрам отверстий в стенке интегрирующей сферы и коэффициенту пропускания интерференционных фильтров.

Литература

1. Иванцев, А. С. Многомодовая система атмосферной оптической связи с использованием оптического смещения излучения светодиодов / А. С. Иванцев // XXXVIII Огаревские чтения : материалы науч. конф. Ч. 3. Технические науки. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2010. – С. 72–74.
2. Дураев, В. П. Лазеры для системы передачи информации / В. П. Дураев // Информмост «Радиоэлектроника и Телекоммуникации». – № 22. – С. 51–53.
3. Фурман, Ш. А. Тонкопленочные оптические покрытия / Ш. А. Фурман. – М. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1977. – 264 с.
4. Свешников, А. Г. Синтез оптических покрытий при наклонном падении света / А. Г. Свешников, А. В. Тихонравов, С. А. Яншин // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1983. – Т. 23. – № 4. – С. 925–935.
5. Телен, А. Конструирование многослойных интерференционных фильтров / А. Телен // Физика тонких пленок. – М. : Мир, 1972. – Т. 5. – С. 46–83.
6. Александров, Л. Н. Многослойные пленочные структуры для источников света / Л. Н. Александров, А. С. Иванцев. – Новосибирск : Наука, 1981. – 220 с.
7. Розенберг, Г. В. Оптика тонкослойных покрытий / Г. В. Розенберг. – М. : ГИФМЛ, 1958. – 243 с.
8. Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров. ГОСТ 17616-82.

УДК 537.52

ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ ЕМКОСТНОГО ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С ВНЕШНИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ ОТ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК

А. А. Жуков¹, М. С. Круглов¹, В. П. Савинов², В. Г. Якунин²

¹ ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный гуманитарный университет», г. Хабаровск, Российская Федерация

² ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова», г. Москва, Российская Федерация

В данной работе экспериментально изучался ЕВЧР с внешними электродами в неоне при давлении $p = 0,5$ Торр в диапазоне частот высокоча-

стотного поля (3-13) МГц в стеклянных разрядных трубках диаметром 0,04 м, 0,08 м и длиной 0,15 м.

Ключевые слова и фразы: высокочастотный разряд, разрядные трубки.

Актуальность темы настоящего исследования обусловлена возрастающими запросами техники относительно разработки эффективных источников газоразрядной плазмы. Емкостной высокочастотный разряд (ЕВЧР) низкого давления с внешними электродами в этом плане вызывает существенный интерес вследствие возможности создания с его помощью плазмы, параметрами которой можно управлять в широком диапазоне без загрязнения распыленным материалом электродов.

В данной работе экспериментально изучался ЕВЧР с внешними электродами в неоне при давлении $p = 0,5 \text{ Torr}$ в диапазоне частот высокочастотного поля (ВЧ) (3–13) МГц в стеклянных разрядных трубках диаметром 0,04 м, 0,08 м и длиной 0,15 м. Разрядные электроды одного радиуса с разрядными трубками прикладывались извне к плоским стеклянным торцам трубок.

Электрическое напряжение от ВЧ генератора прикладывалось к одному из газоразрядных электродов, второй электрод заземлялся. ВЧ напряжение измерялось ВЧ вольтметром. Параметры газоразрядной плазмы измерялись с помощью стандартной электрической схемы двойного зонда Ленгмюра (цилиндрические зонды) [1].

Целью работы являлось измерение параметров плазмы ЕВЧР с внешними электродами – температуры T_e и концентрации n_e электронов в зависимости от амплитуды ВЧ напряжения V , частоты поля ω и диаметра D разрядной трубки.

Полученные зависимости $T_e(V, \omega)$ и $n_e(V, \omega)$ для разрядной трубки диаметром $D = 0,08 \text{ m}$ приведены на рис. 1, 2 соответственно.

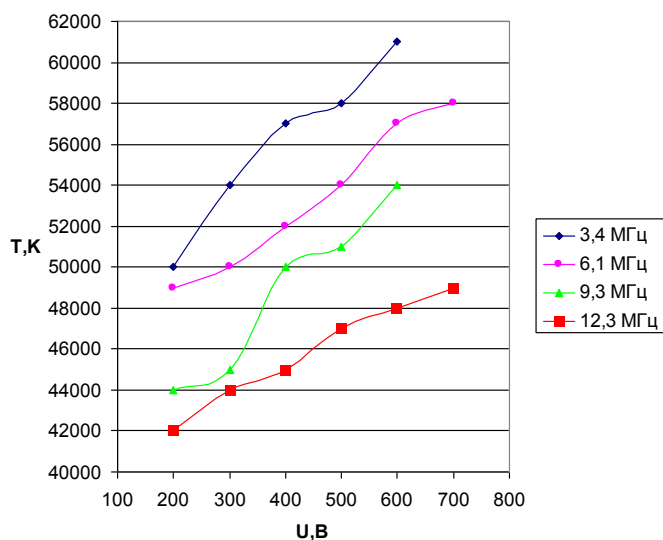


Рис. 1. Зависимость электронной температуры T_e от амплитуды ВЧ напряжения V для различных частот ВЧ поля. Диаметр разрядной трубки $D = 0,08 \text{ m}$

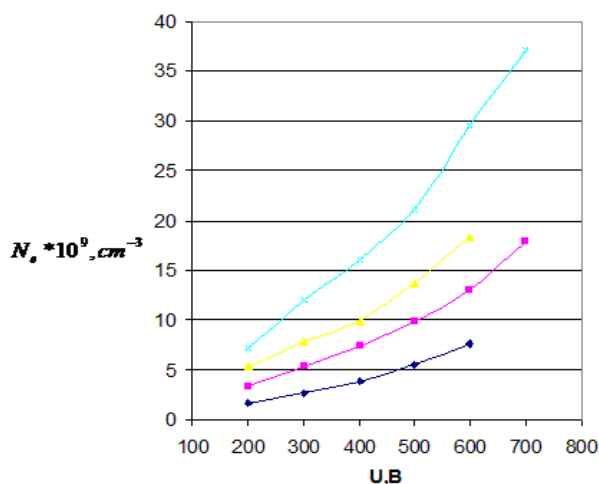


Рис. 2. Зависимость концентрации электронов n_e от амплитуды ВЧ напряжения V для различных частот ВЧ поля. Диаметр разрядной трубки $D = 0,08 \text{ m}$

Аналогичные зависимости $T_e(V, \omega)$ и $n_e(V, \omega)$ для разрядной трубки диаметром $D = 0,04 \text{ m}$ представлены на рис. 3, 4 соответственно.

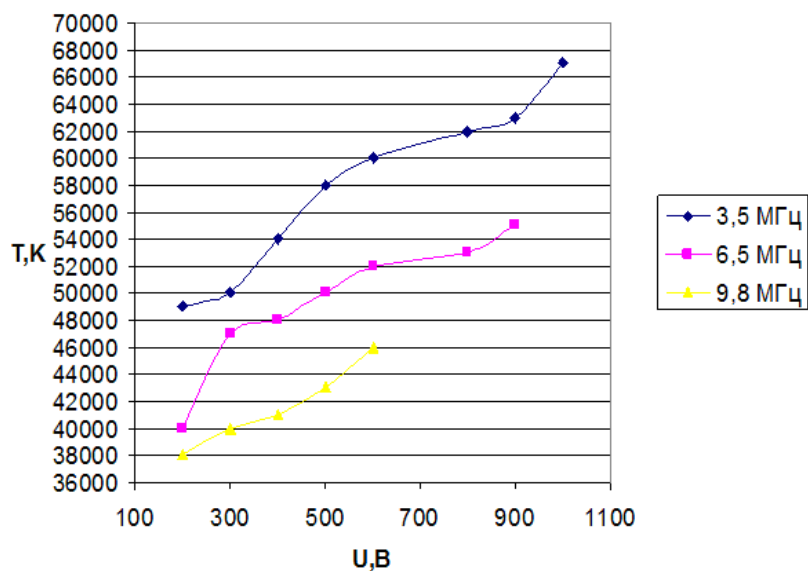


Рис. 3. Зависимость электронной температуры T_e от амплитуды ВЧ напряжения V для различных частот ВЧ поля. Диаметр разрядной трубки $D = 0,04 \text{ m}$.

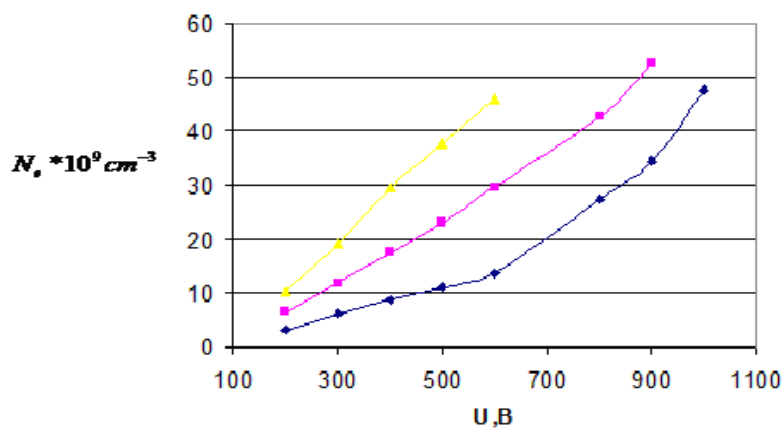


Рис. 4. Зависимость концентрации электронов n_e от амплитуды ВЧ напряжения V для различных частот ВЧ поля. Диаметр разрядной трубки $D = 0,04 \text{ m}$

На основе данных эксперимента можно сделать общий вывод, что параметры плазмы ЕВЧР с внешними электродами находятся в том же диапазоне значений, характерных для разряда с внутренними электродами, при прочих аналогичных условиях эксперимента.

Как видно из рис. 2, 4, плотность электронов n_e монотонно возрастает с увеличением амплитуды ВЧ напряжения V и частоты поля ω . При этом на кривых $n_e(V)$ в области пониженных ВЧ напряжений ($V \leq 500$ В) наблюдается пологая ветвь кривой, соответствующая ЕВЧР α -типа, а при больших значениях V рост концентрации n_e увеличивается вследствие перехода разряда в γ -режим. Указанное поведение концентрации зарядов n_e соответствует хорошо известному таковому в ЕВЧР с внутренними электродами [2].

Факт увеличения n_e с ростом частоты ω в ЕВЧР с внутренними электродами при умеренных ВЧ напряжениях $V < 1000$ В также известен [2; 3]. Такая зависимость $n_e(\omega)$ объясняется замедлением ухода зарядов из разрядного промежутка вследствие уменьшения их амплитуды колебаний.

Анализируя зависимость $n_e(\omega)$, надо также иметь в виду оба плазмообразующих фактора – ВЧ поле и приэлектродные электронные пучки, заметно обогащающие плазму высокоэнергетичными электронами.

Следует отметить более высокую концентрацию электронов n_e в трубке меньшего диаметра ($D = 0,04$ м). Это можно объяснить большей плотностью электронных пучков в трубке с меньшим диаметром. Согласно рис. 1, 3 электронная температура T_e во всех исследованных в работе случаях относительно медленно возрастала с ростом V и монотонно уменьшалась с ростом частоты ω . Эти результаты имеют ожидаемый характер согласно более ранним исследованиям в разряде с внутренними электродами [2; 3].

Сравнивая значения T_e в трубках с диаметрами 0,08 м и 0,04 м, следует отметить, что для трубки с меньшим диаметром наблюдалась в среднем более низкая температура. Этот факт можно объяснить большей плотностью электронных пучков в последнем случае. Как известно [1], присутствие заметного количества электронов высоких энергий в плазме приводит к снижению электронной температуры T_e .

В заключение следует отметить методическую особенность проведенных измерений методом двойного зонда Ленгмюра. Как видно из приведенных данных, использовался диапазон ВЧ напряжений со значениями $V \leq 1000$ В. Это объясняется тем, что при $V > 1000$ В в плазме исследованного ЕВЧР функция распределения электронов по энергиям начинает существенно отличаться от максвелловской, когда зондовый метод не применим.

Литература

1. Райзер, Ю. П. Физика газового разряда / Ю. П. Райзер. – Долгопрудный : ИНТЕЛЛЕКТ, 2009. – 734 с.
2. Ковалевский, В. Л. / В. Л. Ковалевский, В. П. Савинов // Физика плазмы. – 1994. – Т. 20. – № 3. – С. 322–335.
3. Савинов, В. П. Граничные эффекты емкостного высокочастотного разряда : дис. ... д-ра физ.-мат. наук / В. П. Савинов. – М., 2001. – 331 с.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЕМКОСТНОГО ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ *

А. А. Жуков¹, В. Л. Ковалевский², М. С. Круглов¹,
В. П. Савинов², В. Г. Якунин²

¹ ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный гуманитарный университет», г. Хабаровск, Российская Федерация

² ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова», г. Москва, Российская Федерация

В работе приведены результаты изучения вольт-амперных характеристик емкостного высокочастотного разряда с внешними электродами в зависимости от частоты высокочастотного разряда поля ω и конфигурации разрядных трубок в сравнении с вольт-амперными характеристиками емкостного высокочастотного разряда с внутренними электродами в аналогичных трубках.

Ключевые слова и фразы: высокочастотный разряд, разрядные трубки.

В работе изучался высокочастотный разряд (ВЧ) разряд в неоне при давлении $p = 0,5 \text{ Торр}$ в диапазоне частот (1–13) МГц. Использовались стеклянные разрядные трубки диаметром (0,04–0,08) м и длиной (0,12–0,15) м. Круглые разрядные электроды одного радиуса с разрядной трубкой помещались на внешней или внутренней стороне плоских стеклянных торцов трубок. Напряжение от ВЧ генератора подавалось на один из электродов (активный электрод), второй электрод был заземлен. Целью работы являлось изучение вольт-амперных характеристик (ВАХ) емкостного ВЧ разряда (ЕВЧР) с внешними электродами в зависимости от частоты ВЧ поля ω и конфигурации разрядных трубок в сравнении с ВАХ ЕВЧР с внутренними электродами в аналогичных трубках. ВАХ ЕВЧР – комплексная характеристика интенсивности поддерживающих разряд процессов. ВЧ напряжение измерялось ВЧ вольтметрами, а ВЧ ток – с помощью пояса Роговского.

Фотографии свечения ЕВЧР с внешними электродами для двух значений ВЧ напряжения показаны на рис. 1б.

Типичные ВАХ ЕВЧР с внешними электродами для различных частот ВЧ поля и диаметров разрядных трубок приведены на рис. 2, 3.

ВАХ ЕВЧР в идентичных разрядных трубках с одинаковым газовым наполнением для случаев внешних и внутренних электродов представлены для сравнения одновременно на рис. 4.

* Работа поддержана аналитической целевой ведомственной программой «Развитие научного потенциала высшей школы». Мероприятие 1. Проект «Исследование нестационарных процессов в атомных и наносистемах в электромагнитном поле».

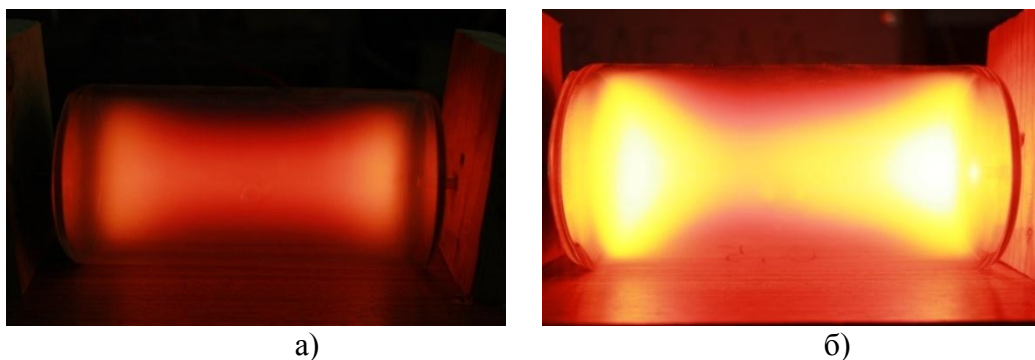


Рис. 1. Фотографии свечения ЕВЧР с внешними электродами; а) α -разряд ($V_{\sim} = 250V$); б) γ -разряд ($V_{\sim} = 2kV$)

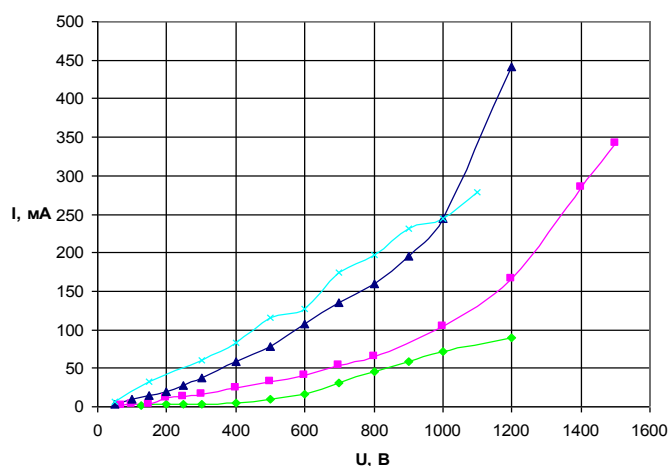


Рис. 2. ВАХ ЕВЧР с внешними электродами при различных частотах ВЧ поля (диаметр трубки 0,08 м)

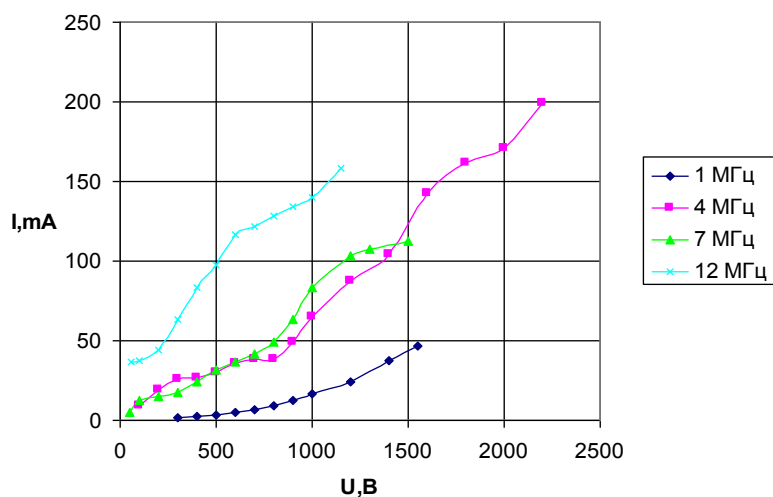


Рис. 3. ВАХ ЕВЧР с внешними электродами при различных частотах ВЧ поля (диаметр трубки 0,04 м)

Кратко проанализируем полученные экспериментальные результаты.

Пространственная структура свечения ЕВЧР с внешними электродами видна на фотографиях рис. 1. Аналогично ЕВЧР с внутренними электродами, существующему в двух формах: α -разряд (слаботочный разряд) и γ -разряд (сильноточный разряд) [1], ЕВЧР с внешними электродами имеет такие же

разновидности. Первый тип разряда характеризуется относительно слабым и размытым по разрядному промежутку свечением (рис. 1а). ЕВЧР в γ -режиме, соответствующем повышенным ВЧ напряжениям V , отличается ярким свечением, сосредоточенным в приэлектродных областях (рис. 2).

Как известно [2; 3], ВЧЕР α -типа создается главным образом ВЧ полем от внешнего источника ВЧ-мощности, а определяющим физическим фактором поддержания ВЧЕР γ -типа являются собственные приэлектродные высокоэнергетичные электронные пучки.

Отметим экспериментально установленный в данной работе специфический характер зависимости ВАХ ЕВЧР от частоты ВЧ поля ω , который в свою очередь зависит от диаметра D разрядной трубки.

Как известно [2], с увеличением частоты поля ω существенно возрастает плотность зарядов плазмы n_e при постоянной амплитуде ВЧ напряжения V , что достаточно хорошо исследовано в α -разряде при относительно небольших значениях приложенного напряжения ($V \leq 500$ В). Последнее подтверждается, в частности, во второй статье авторов в этом же номере журнала [4]. По данному вопросу ЕВЧР γ -типа, поддерживаемый высокими значениями ВЧ напряжения ($V \geq 1$ кВ), малоисследован.

Следует ожидать большее значение разрядного тока I для ВАХ, соответствующих более высокой частоте ω при умеренных значениях ВЧ напряжения V . Такая картина наблюдается в отношении ВАХ, представленных на рис. 2–3, где диаметры разрядных трубок различались в два раза.

Вместе с тем, как видно из представленных ВАХ, в области повышенных напряжений V , соответствующих γ -разряду, ход ВАХ с пониженной частотой ω может «обгонять» ВАХ, соответствующую более высокой частоте. Так, на рис. 2 (для случая разрядной трубки диаметром $D = 0,08$ мм) при $V > 1000$ В вольтамперная характеристика с частотой 7 МГц проходит выше ВАХ, соответствующей частоте 11 МГц.

Аналогичная ситуация наблюдается на рис. 3 для трубки вдвое меньшего диаметра ($D = 0,04$ мм), когда «активной» становится ВАХ на частоте 4 МГц, «обгоняющая» ВАХ на частоте 7 МГц.

Напомним, что в случае α -разряда основным поддерживающим разряд фактором является ВЧ поле, а в γ -разряде – приэлектродные электронные пучки [2]. При этом обратим внимание на присутствующее здесь весьма существенное обстоятельство, что электронные пучки в исследуемом ВЧЕР являются импульсными с длительностью импульса $\tau \sim 1/\omega$. Таким образом, с ростом частоты ВЧ поля время существования пучков (а, следовательно, и продолжительность производимых ими процессов ионизации и возбуждения газа) уменьшается. С другой стороны, с увеличением частоты ω замедляется уход зарядов из разрядного промежутка и, как известно, при приближении к выполнению условия $\omega \approx V_{en}$ (V_{en} – частота столкновения электронов с атомами) увеличивается энерговклад поля в плазму. Сказанное увеличивает плотность зарядов n_e плазмы.

Таким образом, механизм частотной зависимости плотности зарядов n_e (и отсюда ВАХ) в исследуемом разряде имеет достаточно сложный характер. Естественно, что баланс заряженных частиц в разряде и вследствие этого концентрация электронов плазмы n_e и ВАХ разряда должны существенно зависеть от диаметра разрядной трубки, влияющего на потери зарядов в радиальном направлении. Последнее подтверждается различиями в частотной зависимости полученных ВАХ ЕВЧР в трубках разного диаметра (рис. 2, 3).

Так, на рис. 2 для трубки с диаметром 0,08 м видно, что ВАХ на частоте 7 МГц «обгоняет» ВАХ, соответствующую частоте 11 МГц, при повышенных значениях ВЧ напряжения, когда условия в разряде (и параметры плазмы) главным образом определяют электронные пучки. Обнаруженный эффект объясняется большим временем существования электронного пучка в течение каждого периода ВЧ поля в случае частоты 7 МГц, по сравнению с длительностью пучка при частоте 11 МГц.

При уменьшении диаметра трубки в два раза ($D = 0,04$ м) существенно возрастают потери заряженных частиц на стенки. Поэтому для обеспечения баланса заряженных частиц в каждый период ВЧ поля требуется производство пучком большего числа ионизаций за время его существования. В результате, на рис. 3 наблюдается уже «активизация» ВАХ на частоте 4 МГц, когда длительность существования пучков возрастает, по сравнению с более высокими использованными частотами.

Естественно, что для каждого конкретного набора параметров условий эксперимента существует своя оптимальная частота ВЧ поля, обеспечивающая поддержание ВЧЕР, что отражается в характере хода соответствующей ВАХ, по сравнению с поведением ВАХ на других частотах.

Сравним ВАХ ВЧЕР, полученные в идентичных трубках с одинаковым газовым наполнением для случаев с внешними и внутренними электродами.

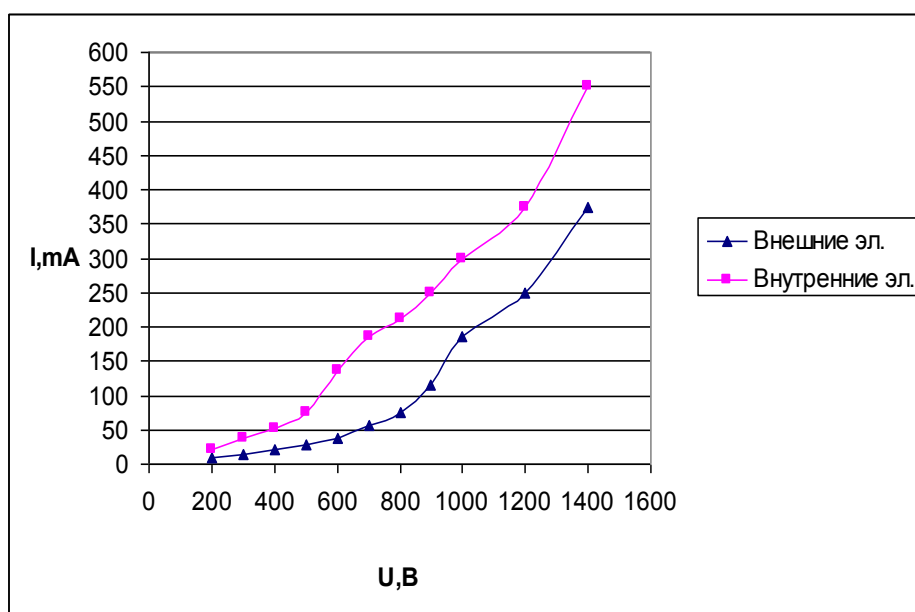


Рис. 4. ВАХ ЕВЧР с внешними и внутренними электродами.

Неон, $p = 0,5 \text{ Torr}$, $D = 0,06 \text{ м}$

Как видно из рис. 4, кривые ВАХ смещены по оси ВЧ напряжений относительно друг друга на некоторую величину, а их форма, содержащая α - и γ -ветви, также несколько различается.

Заметим, что по оси абсцисс отложены значения ВЧ напряжения, приложенного к электродам ВЧЕР от генератора. При этом для кривой ВАХ в случае внешних электродов величина действующего в разрядном промежутке напряжения должна быть уменьшена на величину соответствующего смещения между данными ВАХ.

В первом приближении можно считать, что смещение между упомянутыми ВАХ объясняется падением ВЧ напряжения на импедансах емкостей, образованных плоскими стеклянными торцами разрядной трубки с внешними электродами. Можно оценить падение ВЧ напряжения на обоих торцах трубки для какого-либо значения приложенного ВЧ напряжения следующим образом.

Истинная ВАХ ВЧЕР получается при измерении разрядного тока в цепи заземленного электрода [3; 4]. Значение емкости стеклянного торца C^* определим по известному диаметру разрядной трубки $D = 0,06$ м, толщине торцевого стекла $d = 0,004$ м и диэлектрической проницаемости стекла $\varepsilon = 4-5$, которая составляет $C^* \approx 30$ пФ. Отсюда падение напряжения на торце в цепи заземленного электрода равно:

$$\Delta V_3 \approx I_{\sim 3} X_c = \frac{I_{\sim 3}}{\omega C^*} \quad (X_c = \frac{1}{\omega C^*} \text{ — импеданс торца}).$$

Для определенности возьмем значение тока I_{\sim} в точке ВАХ, где начинается γ -ветвь: $I_{\sim 3} \approx 75$ мА

Тогда:

$$\Delta V_3 = \frac{75 \times 10^{-3}}{6,28 \times 4,5 \times 10^6 \times 30 \times 10^{-12}} \approx 88 \text{ В.}$$

В данном случае смещение между ВАХ составляет $\Delta V \approx 300$ В.

Отсюда, падение напряжения на торце со стороны активного электрода равно:

$$\Delta V_a \approx \Delta V - \Delta V_3 = 300 \text{ В} - 88 \text{ В} = 212 \text{ В.}$$

Зная величину ΔV_a , здесь можно также оценить ток $I_{\sim a}$ в цепи активного электрода:

$$\Delta V_a = I_{\sim a} X_c; \quad I_{\sim a} = \frac{\Delta V_a}{X_c} = \frac{\Delta V_a}{1/\omega C^*} \approx 180 \text{ мА.}$$

Отсюда видно, что $I_{\sim a} > I_{\sim 3}$, в соответствии с хорошо известной ситуацией для ВЧЕР, в котором один из электродов заземлен.

Вообще говоря, для корректного сравнения ВАХ ВЧЕР с внешними и внутренними электродами недостаточно учитывать только дополнительное падение ВЧ напряжения на торцах трубки.

В ВЧЕР с внешними электродами реально действующей поверхностью электрода является внутренняя поверхность диэлектрика, находящаяся во

взаимодействии с плазмой. Вследствие этого в рассматриваемых ВЧ разрядах с внешними и внутренними электродами несколько количественно различаются интенсивности электронно-эмиссионного процесса с поверхностями электродов вследствие разной величины коэффициента поверхностной ионизации Таунсенда γ для металла и стекла. Поэтому для этих разрядов при прочих фиксированных условиях эксперимента несколько количественно и даже качественно отличается характер α - и γ -ветвей ВАХ ВЧЕР.

Литература

1. Райзер, Ю. П. Высокочастотный емкостный разряд / Ю. П. Райзер, М. Н. Шнейдер, Н. А. Яценко. – М. : Наука, 1995. – 310 с.
2. Ковалевский, В. Л. Изучение высокочастотного емкостного разряда / В. Л. Ковалевский, В. П. Савинов // Физика плазмы. – 1994. – Т. 20. – № 3 – С. 322–335.
3. Гинзбург, В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме / В. Л. Гинзбург – М. : ГИФМЛ, 1960. – 552 с.

УДК 621

ПРИЕМ МОДУЛИРОВАННЫХ ПО ОПТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЕ СИГНАЛОВ

Б. Н. Денисов

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

В статье показана возможность совмещения в фоторезисторе функций приема и обработки оптических сигналов, модулированных по интенсивности, по частоте поднесущей, оптической частоте. Рассмотрен способ гетеродинного приема и синхронного детектирования оптических сигналов, модулированных по фазе с помощью фоторезистора, питаемого переменным напряжением.

Ключевые слова и фразы: фоторезистор, амплитудная модуляция, фазовая модуляция, синхронное детектирование, гетеродинное детектирование модулированных оптических сигналов.

Операция умножения является одним из основных способов оптической и электронной обработки информации. Эта операция используется и в оптической связи для детектирования сигналов, занесенных в частоту или фазу оптического сигнала. С помощью операции умножения в радиотехнике осуществляется перенос сигнала несущего информацию в высокочастотную область спектра (модуляция) с целью его передачи с помощью радиоволн, либо в низкочастотную область при детектировании.

Получение амплитудно-модулированных (АМ) сигналов, сигналов с угловой модуляцией, синхронное детектирование амплитудно-, частотно- (ЧМ) и фазомодулированных (ФМ) электрических и оптических сигналов связано с операцией перемножения двух сигналов [1; 2]. Задача аналогового перемножения двух и более сигналов в электронике строго не решена и осуществляется опосредованно за счет нелинейной (квадратичной) вольт-амперной характеристики транзистора, диода и сопровождается нелинейными искажениями.

Уменьшение нелинейных искажений осуществляется за счет резкого усложнения конструкций электронных систем. Если информация занесена в частоту или фазу оптического сигнала, то в оптической связи используется гетеродинный прием, основанный также на опосредованном перемножении.

При гетеродинном приеме используются два идентичных лазера с частотами, отличающимися на частоту радиодиапазона [2]. Сигналы передающего лазера и гетеродинного направляются на поверхность фотоприемника. Фотоприемник реагирует на мощность оптического сигнала. Следовательно, сигнал фотоприемника пропорционален квадрату напряженности поля электромагнитной волны, т. е. фотоприемник является устройством с квадратичной характеристикой. Поэтому на входе фотоприемника образуется сигнал, равный произведению двух сигналов. Следовательно, на выходе фотоприемника появится сигнал с частотой, равной разности частот двух лазеров, лежащий в радиодиапазоне и содержащий переданную информацию.

Особенностью этого сигнала является сохранение исходной модуляции оптической несущей [2]. Сигнал, несущий информацию, извлекается с помощью соответствующих электронных устройств, в том числе с помощью операции опосредованного перемножения при синхронном детектировании. Следует отметить, что переход из оптического канала связи в электронный для дальнейшей обработки сигнала, значительно усложняет линии связи, снижает их быстродействие и приводит к дополнительным нелинейным искажениям.

В наших работах [3; 4] было показано, что в системах обработки информации, в отличие от аналогового транзисторного перемножителя, идеальный фоторезистор может осуществлять непосредственное перемножение двух сигналов. При этом один из сигналов является приложенным к фоторезистору напряжением, а второй – оптическим, преобразованным в изменение проводимости фоторезистора.

Рассмотрим принцип работы такого перемножителя (смесителя) сигналов. Ток на выходе фоторезистора будет пропорционален произведению проводимости (σ), изменяющийся по закону изменения интенсивности оптического сигнала, и приложенного к фоторезистору напряжения (U):

$$I = \sigma(\Phi) U . \quad (1)$$

Следовательно, с помощью фоторезистора возможно непосредственное перемножение двух сигналов, один из которых является оптическим сигналом, а другой – напряжением, приложенным к фоторезистору.

Рассмотрим операцию перемножения, которую можно осуществить с помощью идеального фоторезистора. Пусть один из сигналов является оптическим вида:

$$\Phi = \Phi_0 + \sum_{k=1}^N \Phi_k (1 + \cos(k\Omega t + \psi_k)), \quad (2)$$

где Φ_0 – постоянная составляющая интенсивности света; Φ_k , $k\Omega$, ψ_k – соответственно амплитуда, частота и фаза гармоник, изменяющейся во времени интенсивности света.

Подавая на фоторезистор высокочастотное напряжение вида $U = U_m \cos \omega t$, получим выражение для тока на выходе фоторезистора. Нахождение тока через фоторезистор и выяснение функциональных возможностей в этом случае является крайне сложной задачей. Это обусловлено тем, что нахождение установившейся концентрации свободных носителей связано в общем случае с решением уравнения непрерывности [5].

Для обсуждения принципиальных вопросов, связанных с функциональными возможностями фоторезистора, мы воспользуемся приближенными методами для расчета фотопроводимости. Будем полагать, что проводимость обусловлена носителями одного знака (электронами), полупроводник является беспримесным.

Контакты к полупроводнику являются омическими и в процессе фотовозбуждения полупроводник остается электронейтральным, т. е. в объеме не образуется пространственный заряд. Генерация светом свободных носителей в объеме образца является однородной, т. е. $d, < 1/a$, где a – коэффициент поглощения полупроводника, d – его толщина. Постоянную времени жизни свободных носителей (τ_n) будем считать малой $2\pi/\tau_n \gg N\Omega$, где $N\Omega$ – наивысшая частота в спектре модулированного по интенсивности света. Уровень интенсивности возбуждения будем полагать низким, т. е. $\Delta n \ll n_0$, где n_0 – концентрация электронов в зоне проводимости полупроводника, Δn – концентрация носителей заряда (электронов) инжектированных светом. В этом случае ток через фоторезистор при $\mu_n \gg \mu_p$ запишется в виде [3]:

$$= I_n \cos \omega t + \sum_{k=1}^N \frac{I_k}{2} \cos[(\omega - k\Omega) + \psi_k] + \sum_{k=1}^N \frac{I_k}{2} \cos[(\omega + k\Omega) + \psi_k], \quad (3)$$

где:

$$I_n = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_k, \quad I_0 = (en_0\mu_n + \chi ea \epsilon \Phi_0 \tau_n \mu_n) U_m S / l,$$

$$I_k = \chi ea \epsilon \Phi_k \tau_n \mu_n U_m S / l,$$

ω – частота высокочастотного сигнала, U_m – амплитуда переменного напряжения, $e, \mu_n, a, \varepsilon, \tau_n$ – соответственно заряд электрона, подвижность, коэффициент поглощения, квантовый выход и время жизни свободных носителей, n_0 – равновесная концентрация электронов, S – площадь контактов, l – расстояние между контактами фоторезистора, $\chi = 1 - R$ (R – коэффициент отражения), $I_t = en_0\mu_n U_m S / l$ – темновой ток, I_Φ – фототок.

Из выражения (3) следует, что фоторезистор может выполнять функцию перемножителя (смесителя) двух сигналов с частотами $k\Omega$ и ω . В качестве напряжения можно использовать также сумму нескольких напряжений.

Сравним предложенный способ перемножения сигналов с существующим перемножителем (модулятором) на основе транзистора с квадратичной характеристикой. Идеальный «перемножитель» сигналов на основе транзистора должен иметь характеристику вида:

$$U_{\text{вых}} = a_0 + a_1(U - U_{\text{см}}) + a_2(U - U_{\text{см}})^2. \quad (4)$$

Результат перемножения двух однотональных сигналов с частотами Ω и ω имеет вид [1]:

$$U_{\text{вых}} = a_0 + \frac{a_2 U_{m\Omega}^2}{2} + \frac{a_2 U_{m\omega}^2}{2} + a_1 U_{m\Omega} \cos \omega t + a_1 U_{m\omega} \cos \Omega t + \frac{a_2 U_{m\Omega}^2}{2} \cos 2\omega t + a_2 U_{m\Omega} \cos(\omega - \Omega)t + a_2 U_{m\Omega} \cos(\omega + \Omega)t + \frac{a_2 U_{m\omega}^2}{2} \cos 2\Omega t. \quad (5)$$

Спектр сигнала (5) в отличие от спектра (3) содержит кроме произведения двух сигналов (четвертые, седьмые и восьмые слагаемые) также сигналы с частотами 2Ω и 2ω . Поэтому необходимо применение фильтра для выделения полезного сигнала, равного произведению двух сигналов.

Рассмотрим модулятор (смеситель) на основе фоторезистора. Выражение (3) является результатом перемножения двух сигналов. Это классический АМ сигнал с однотональной модуляцией. В выражении (3) отсутствуют дополнительные гармоники и нет необходимости применения дополнительных фильтров. Глубину модуляции определим из известного выражения для амплитуды боковых колебаний $I_k / 2 = I_n M / 2$ [1]:

$$M = \frac{I_k}{I_n} = \frac{\chi e a \varepsilon \Phi_k \tau_n \mu_n U_m S / l}{(e n_0 \mu_n + \chi e a \beta \Phi_0 \tau_n \mu_n + \chi e a \varepsilon \Phi_k \tau_n \mu_n) U_m S / l}. \quad (6)$$

Из (6) следует, что АМ-сигнал, полученный с помощью фоторезистора, не может иметь глубину модуляции больше единицы, так как всегда выполняется неравенство $I_n > I_k$. Следовательно, данный способ получения амплитудной модуляции не позволяет получать балансно-модулированное колебание. Способ получения балансно-модулированных колебаний рассмотрен в [6]. С помощью фоторезистора можно не только получать амплитудно-

модулированные сигналы, осуществлять прием оптического сигнала несущего информацию, но и одновременно извлекать модулирующий сигнал, используя операцию синхронного детектирования, например, при регистрации фоторезистором оптических сигналов, в которых интенсивность света модулируется поднесущей, модулированной сигналом информации [3]:

$$\Phi = \Phi_0(1 + \cos(\omega t)) + \sum_{k=1}^N \Phi_k (\cos((\omega - k\Omega)t) + \cos((\omega + k\Omega)t)). \quad (7)$$

В этом случае возможно совмещение в фотоприемнике и процесса синхронного детектирования при подаче на фоторезистор напряжения $U = U_m \cos \omega t$ с частотой поднесущей ω . Сигнал на выходе фоторезистора с учетом оговорённых выше условий будет содержать гармонику:

$$I = \sum_{k=1}^N \frac{I_k}{2} \cos k\Omega t, \quad (8)$$

пропорциональную модулирующему сигналу. Гармоники с частотами, равными ω , 2ω можно удалить на выходе фоторезистора фильтром низких частот.

На рис. 1 приведены осциллограмма и спектрограмма оптического амплитудно-модуляционного сигнала с модуляцией поднесущей.

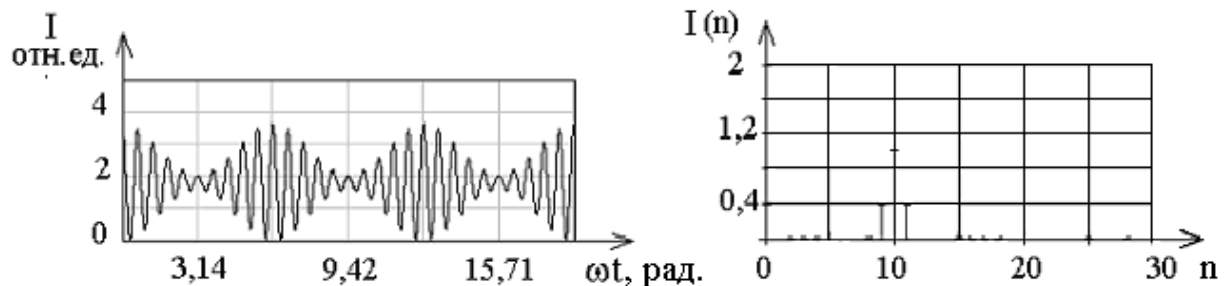


Рис. 1. Осциллограмма и спектр АМ оптического сигнала $\omega/\Omega = 10$

На рис. 2 приведена осциллограмма и спектрограмма оптического АМ-сигнала с модуляцией поднесущей после синхронного детектирования.

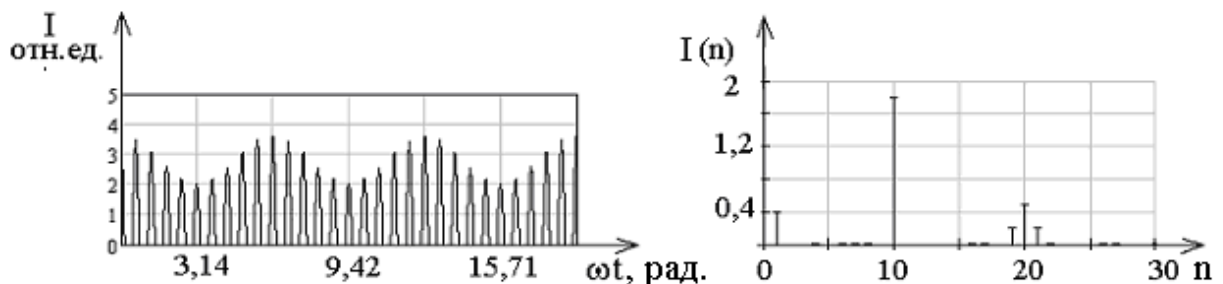


Рис. 2. Осциллограмма и спектр АМ оптического сигнала после синхронного детектирования

Из рис. 2 видно, что для выделения сигнала несущего информацию нужен фильтр низких частот. Для выделения сигнала информации в случае угловой модуляции поднесущей детектирование можно также осуществить синхронное детектирование с помощью фоторезистора при подаче на него напряжения с частотой несущего сигнала. Рассмотрим простейший случай угловой модуляции оптического сигнала – однотональный. Оптический сигнал с угловой модуляцией поднесущей $m \ll 1$ имеет вид:

$$\Phi(t) = \Phi_m(1 + \sin(\omega t + m \sin \Omega t)). \quad (9)$$

При подаче на фоторезистор напряжения $U = U_m \cos \omega t$ с частотой равной частоте поднесущей ω , сигнал на выходе фоторезистора будет содержать гармонику сигнала несущего информации, которая может быть выделена фильтром низких частот:

$$I = \frac{mI_m}{2} \sin \Omega t. \quad (10)$$

Проведенное исследование показывает, что в фоторезисторе возможно совмещение операций приема и обработки (детектирования) оптических сигналов, модулированных по поднесущей. Такое использование фоторезистора позволяет исключить применение электронных устройств для детектирования и вынести электронику на периферию.

В случае гетеродинного приема на фоторезистор для синхронного детектирования сигналов, модулированных по оптической частоте и фазе, на фоторезистор необходимо подать напряжение с частотой, равной разности частот оптического сигнала и гетеродина. Если оптический сигнал модулирован по оптической частоте, то метод прямого детектирования не позволяет выделить сигнал информации. Это связано с тем, что при прямом детектировании вся информация о частоте и фазе оптического излучения теряется.

Фотоприемник воспроизводит изменение мощности оптического излучения [2]. Поэтому для детектирования оптических сигналов, модулированных по частоте, применяется гетеродинный метод приема сигналов. Этот метод основан на использовании двух идентичных лазеров (в передатчике и приемнике), частоты которых отличаются на частоту радиодиапазона [2]. Смесителями выступают фотоприемники, в том числе и фоторезисторы.

Сигнал фоторезистора пропорционален квадрату напряженности электрического поля в световой волне. Следовательно, на выходе фоторезистора появляется составляющая фототока, пропорциональная разности частот оптического сигнала, несущего информацию, и гетеродина. При этом составляющая фототока, имеющая частоту радиодиапазона, будет содержать исходную модуляцию оптической несущей по амплитуде, частоте или фазе [2]. Для выделения информации из колебаний промежуточной частоты используется электрический детектор.

Применение высокочастотного питания фоторезистора с частотой радиодиапазона позволяет осуществить синхронное детектирование такого сигнала без применения электронных детекторов. Такое решение, во-первых,

резко упрощает схему приема и обработки оптического сигнала, несущего информацию; во-вторых, повышает качество обработки информации за счет снижения нелинейных искажений.

Рассмотрим математическую модель такого устройства, совмещающего в себе функции смесителя, приема и обработки оптического сигнала, несущего информацию. Будем полагать, что информация в оптический сигнал занесена методом угловой модуляции оптической несущей.

Пусть E_c и E_2 – напряженности электрического поля оптического сигнала, несущего информацию, и оптического сигнала гетеродина. Частоты этих сигналов – ω_c и ω_2 соответственно. Будем полагать, что информация занесена в фазу оптического сигнала:

$$E_c(t) = E_c \cos[\omega_c t + \theta(t)]. \quad (11)$$

Сигнал фотоприемника пропорционален мощности оптического излучения, т. е. квадрату напряженности электрического поля. Согласно [2], квадрат амплитуды напряженности суммарного электрического поля сигнала, несущего информацию, и сигнала гетеродина запишется в виде:

$$E^2(t) = E_c^2 + E_2^2 + 2E_c E_2 \cos[(\omega_2 - \omega_c)t + \theta(t)]. \quad (12)$$

Последнее слагаемое в соотношении (11) определяет биение мощности сигнала на частоте радиодиапазона $(\omega_2 - \omega_c)$:

$$P_c(t) = 2\sqrt{P_2} \sqrt{P_c} \cos[(\omega_2 - \omega_c)t + \theta(t)]. \quad (13)$$

Если свет является монохроматическим, то интенсивность света в квант/сек, соответствующая мощности (12) при условии $E_c = E_2$, равна:

$$\Phi(t) = E^2(t) / h\nu = \Phi_0 \{1 + \cos[(\omega_2 - \omega_c)t + \theta(t)]\}, \quad (14)$$

где $\Phi_0 = 2E_c^2 / h\nu$.

Проводимость фоторезистора при освещении его оптическим сигналом и сигналом гетеродина при условиях, принятых нами, а также при $2\pi/\tau \gg (\omega_2 - \omega_c)$ запишется как:

$$\sigma(t) = \sigma_0 + \Delta\sigma \{1 + \cos[(\omega_2 - \omega_c)t + \theta(t)]\}, \quad (15)$$

где $\sigma_0 = en_0\mu_n S / \ell$ – темновая проводимость фоторезистора;

$\Delta\sigma = ea\beta\Phi_0\tau_n\mu_n S / \ell$ – фотопроводимость при освещении светом интенсивностью Φ_0 .

Ток фоторезистора при подаче переменного напряжения $U_m \sin \omega t$ равен:

$$I = I_0 \sin \omega t + \Delta I \{1 + \cos[(\omega_2 - \omega_c)t + \theta(t)]\} \sin \omega t, \quad (16)$$

где $I_0 = \sigma_0 U_m$, $\Delta I = \Delta \sigma U_m$.

При выполнении условия:

$$\omega = \omega_2 - \omega_c \ll 2\pi/\tau, \theta(t) \ll \pi/2$$

на выходе фоторезистора появится составляющая тока, пропорциональная сигналу сообщения:

$$I_c = (\Delta I/2)\theta(t). \quad (17)$$

Следовательно, фоторезистор в данном случае выполняет три функции: во-первых, регистрирует модулированный оптический сигнал; во-вторых, выполняет функцию смесителя двух оптических сигналов; в-третьих, осуществляет синхронное детектирование.

Из проведенного рассмотрения следует, что применение высокочастотного питания позволяет при гетеродинном приеме осуществить синхронное детектирование сигналов, модулированных по оптической частоте. Таким образом, появляется возможность исключить электронные устройства, обеспечивающие процесс синхронного детектирования. Такое решение позволяет упростить устройства извлечения информации из оптического сигнала и ускорить процесс обработки информации. Предложенный способ получения модулированных сигналов легко реализуем в учебных экспериментах при изучении методов передачи информации.

Литература

1. Баскаков, С. И. Радиотехнические цепи и сигналы / С. И. Баскаков. – М. : Высш. шк., 2000. – 420 с.
2. Ларькин, А. И. Когерентная фотоника / А. И. Ларькин, Ф. У. С. Юу. – М. : БИНОМ Лаборатория знаний, 2007. – 319 с.
3. Денисов, Б. Н. Фоторезистор как многофункциональный элемент оптоэлектроники / Б. Н. Денисов // Радиотехника и электроника. – 2007. – Т. 52. – № 4 – С. 509–512.
4. Денисов, Б. Н. Исследование функциональных свойств фоторезистора, питаемого переменным напряжением / Б. Н. Денисов // Письма в ЖТФ. – 2008. – Т. 34. – Вып. 2. – С. 1–6.
5. Воловичев, И. Н. Генерационно-рекомбинационные процессы в полупроводниках / И. Н. Воловичев, Ю. Г. Гуревич // Физика и техника полупроводников. – 2001. – Т. 35. – Вып. 3. – С. 321–329.

УДК 378.02 : 535.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБУЧАЮЩЕГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ФИЗИКЕ

С. Г. Ковалев

*Кировоградский государственный педагогический университет
имени В. Винниченко, г. Кировоград, Украина*

В статье рассматриваются особенности разработки и внедрения в учебный процесс изучения общего курса физики нового учебного комплекта «Спектрометр_01», который способствует повышению педагогической эффективности при изучении разделов «Оптика» и «Квантовая физика».

Ключевые слова и фразы: оптика, учебный комплекс, оборудование, квантовая физика.

Анализ состояния материально-технической базы для изучения общего курса физики, которая используется в высших учебных заведениях, показывает, что она на сегодня находится в плохом состоянии, а те современные образцы учебного оборудования, которыми располагают некоторые вузы, являются относительно не дешевыми для приобретения и недоступны для массового использования.

На основании результатов исследования на кафедре физики и методики ее преподавания в КГПУ была поставлена цель разработать новый учебный комплект – «Спектрометр_01», использование которого даст возможность повысить эффективности процесса изучения оптических излучений в курсе общей физики [1]. Процесс разработки учебного комплекта был обусловлен рядом требований, по которым оборудование должно соответствовать общей стандартизации и универсальности, а также должны быть использованы современные технические подходы приборостроения. Внешний вид учебного комплекта показан на рис. 1.

Оптическая схема спектрального прибора показана на рис. 2. Для получения спектра используется дифракционная решетка, которая работает в первом максимуме. Решетка изготовлена голографическим методом и имеет 1000 лин/мм.

Линзы Л1 и Л2 выполняют функции входного и выходного коллиматора. Как видно из рис. 1, поворот зеркала обеспечивает позиционирование разных участков спектра на регистрирующей щели 3, что и обеспечивает процесс сканирования оптического излучения. Длины волн, которые регистрирует оптическая система, находятся в диапазоне от $\lambda = 350$ нм до $\lambda = 750$ нм.

«Спектрометр_01» работает под управлением компьютерной программы. Обмен информацией прибора с компьютером выполняется через LPT порт. В процессе работы программа с помощью специального сканирующего

устройства осуществляет поворот зеркала и тем самым обеспечивает позиционирование различных частей спектра на регистрирующем устройстве. Эскиз механизма сканера показан на рис. 3.

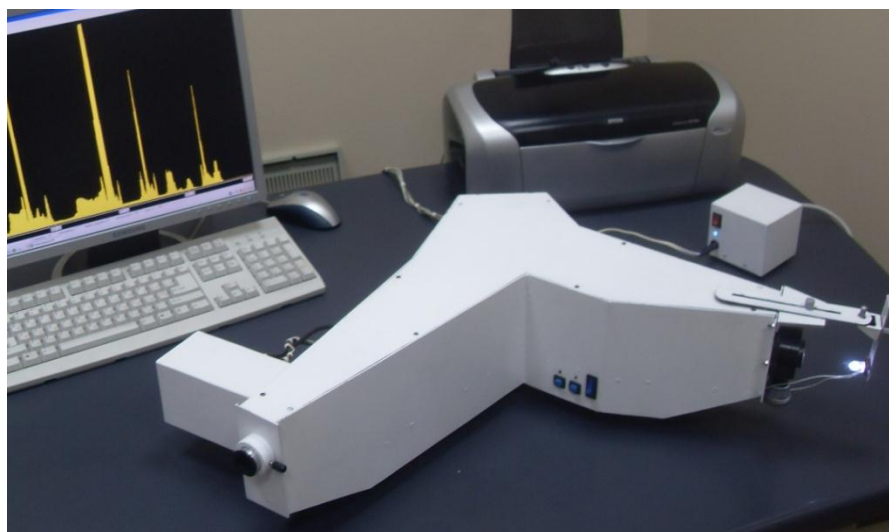


Рис. 1. Внешний вид учебного комплекта «Спектрометр_01»

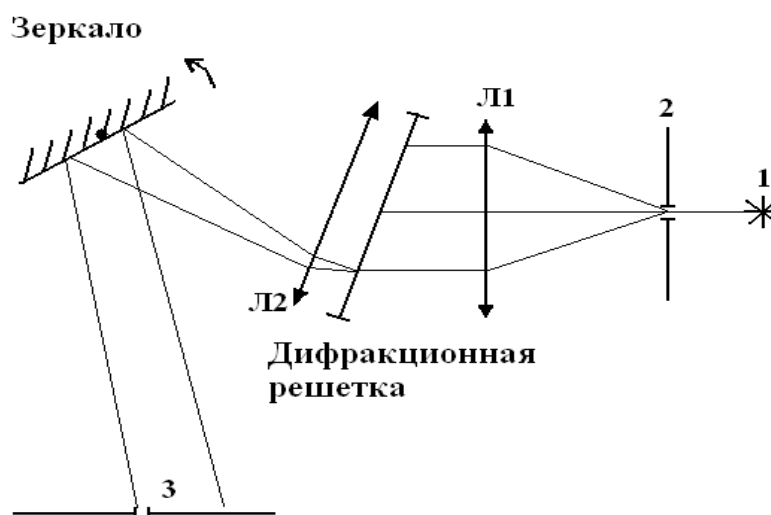


Рис. 2. Оптическая схема спектрометра

Вращение вала 8 обеспечивает смещение цилиндра 7, а соответственно и поворот зеркала, которое через стержень 13 жестко соединено с плечом 10. Для осуществления перемещения сканера используется шаговый двигатель БПМГ 200, который позволяет разбить процесс сканирования на 9700 координат. Для фиксирования крайних положений сканера предусмотрены электрические контакты, которые не только задают область сканирования, но и обеспечивают поиск первоначальных координат при включении прибора.

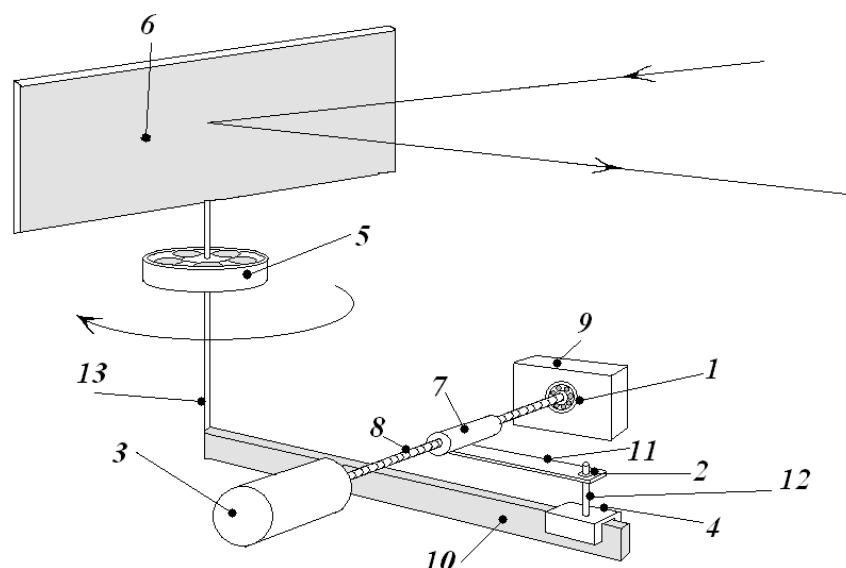


Рис. 3. Эскиз механизма сканера

Для компенсации влияния хроматической aberrации оптической системы в спектрометре предусмотрен специальный механизм фокусировки регистрирующей щели. Перемещение щели выполняется под контролем программы. Эскиз механизма фокусировки показан на рис. 4. Как видно из рис. 3, вращение вала 3 обеспечивает поступательное движение платформы, на которой крепится регистрирующая щель 6. Для реализации поворота вала 3 используется шаговый двигатель 1. Механизм перемещения щели обеспечивает фокусировку с шагом $d = 0,15 \text{ мм}$ для всей области перемещения.

Для регистрации оптического излучения в спектрометре используется фотоэлектронный умножитель ФЭУ-130, который изображен на рис. 4 как цилиндр 2.

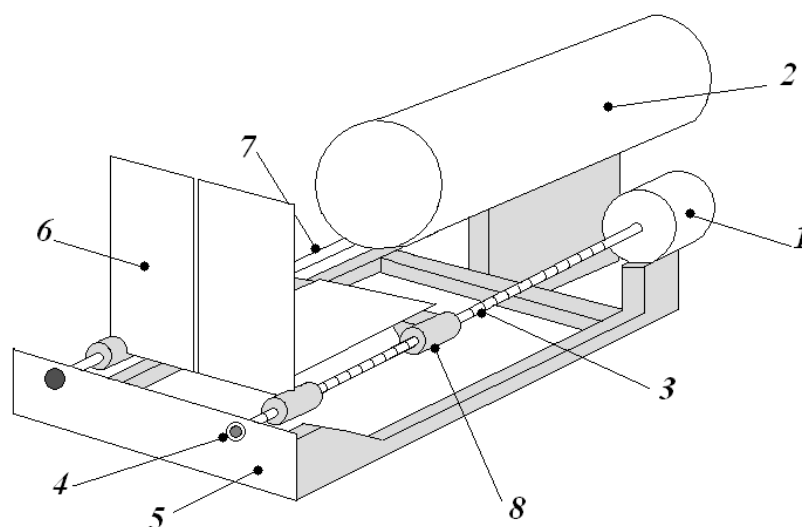


Рис. 4. Эскиз механизма перемещения регистрирующей щели

Аналоговый сигнал, который соответствует интенсивности светового потока от ФЕУ, усиливается с помощью системы операционных усилителей, выполненных на К140УД17, после чего сигнал подается на аналогово-цифровой преобразователь МСР3201. Работа АЦП управляется программой, с помощью которой через последовательный интерфейс считываются данные об интенсивности сигнала.

Программное обеспечение для управления спектрометром написано с использованием языка программирования С++ и ориентировано на интерфейс стандартных элементов окна операционной системы Windows. Внешний вид главного окна программы показан на рис. 5.

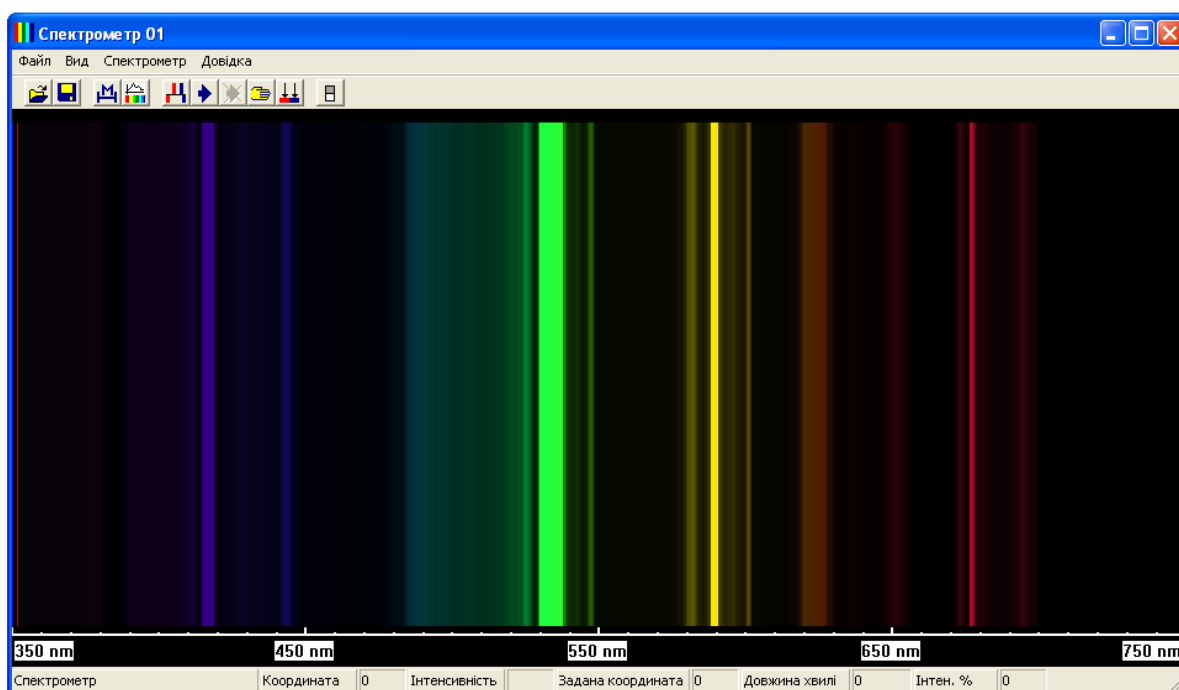


Рис. 5. Внешний вид программы «Спектрометр_01»

При реализации сканирования спектра оператор может выбрать один из режимов представления информации в рабочей области окна, а именно в виде графика зависимости интенсивности излучения от длины волны или в виде цветного спектра, который соответствует визуальному наблюдению в окуляр спектрометра.

Программа позволяет использовать оборудование в одном из трех режимов: автоматического сканирования, полуавтоматического сканирования, а также ручного перемещения сканера с помощью специальных кнопок на корпусе прибора. Последний режим также может использоваться и без компьютера. В полуавтоматическом режиме оператор может манипулировать перемещениями сканера для более точного исследования конкретно интересующей его линии спектра.

После проведения сканирования программа позволяет сохранить изображение спектра (рис. 6).

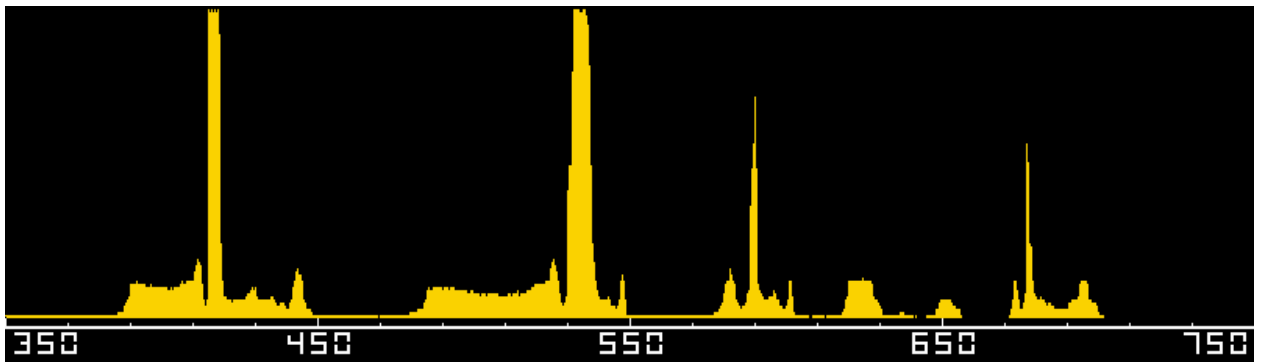


Рис. 6. Вид графического изображения спектра, которое сохраняется программой в «bmp» формате

Для обеспечения точности измерений в спектрометре предусмотрена возможность программной калибровки его работы, а именно: измерения длины волны (градуировка шкалы сканера), измерения интенсивности сигнала (спектральная чувствительность ФЕУ) и моделирования эффекта хроматической аберрации, для этого в программе используется «CLB» файл, который хранит экспериментальные данные по калибровке перечисленных узлов спектрометра. Возможность создания файла калибровки осуществляется с помощью диалогового окна «Калибровка», которое изображено на рис. 7.

Рис. 7. Диалоговое окно для создания и подключения «CLB» файла

Для реализации полуавтоматического сканирования используется диалоговое окно «Ручной режим», которое изображено на рис. 8.

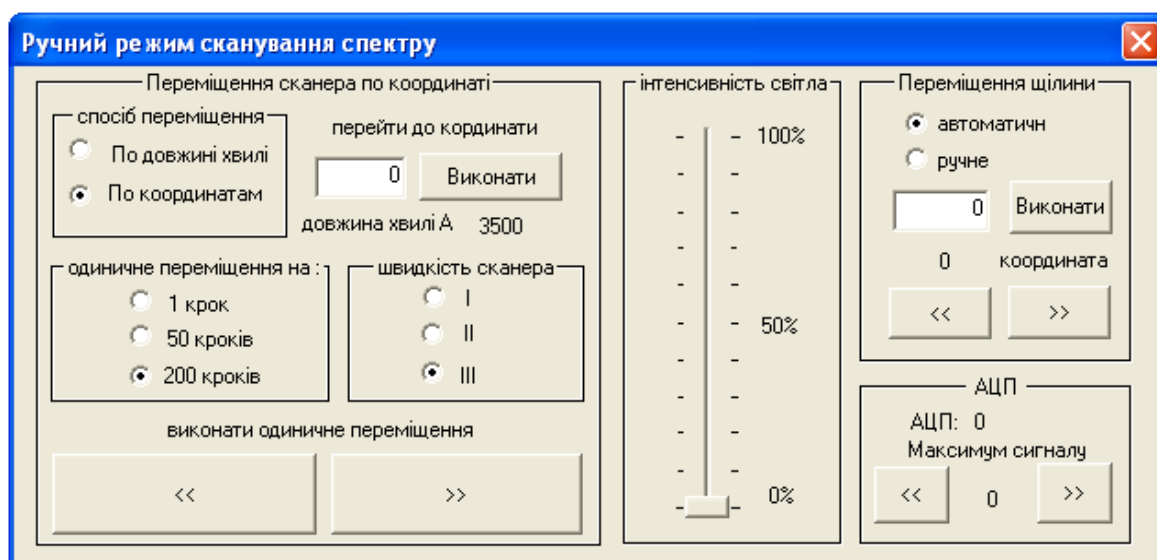


Рис. 8. Диалоговое окно для реализации полуавтоматического режима

Как видно из рис. 8, с помощью диалогового окна «Ручной режим» можно осуществлять перемещение сканера: пошагово, на конкретную координату или длину волны. В этом окне также можно задать мощность излучения источника света, который подключается к спектрометру, а также выбрать полуавтоматический или автоматический способ перемещения щели.

Разработанное оборудование имеет программное управление, которое позволяет эффективно использовать его для проведения обучающего эксперимента, в том числе и при проведении лабораторных практикумов по разделам «Оптика», «Физика атома» и «Квантовая физика».

Фоторегистрирующий блок может отсоединяться от оптической системы прибора, что позволяет использовать спектрометр как фотометр и использовать его при выполнении лабораторных работ по фотометрии.

Возможность регулирования интенсивности потока света может быть использована в лабораторных работах по изучению фотоэффекта.

Использование универсального спектрального оборудования позволяет также выполнить ряд лабораторных работ по абсорбционному и эмиссионному качественному и количественному спектральному анализу, а также по исследованию спектров поглощения прозрачных веществ и проверке закона Бугера.

Использование источника света с вольфрамовой нитью накаливания позволяет проводить лабораторные работы по исследованию смещения Вина и излучению абсолютно черного тела.

Процесс создания и изменения «CLB» файла позволяет реализовать ряд лабораторных работ по настройке прибора и изучению работы современного оборудования, что представляет особый интерес для подготовки студентов электротехнических специальностей при изучении раздела «Оптика» в общем курсе физики. Так, например лабораторная работа «Градуировка шкалы спектрометра» может быть проведена с использованием компьютерных тех-

нологий. Основной целью данной работы в соответствии с учебными программами является изучение строения и функционирования спектрометра, при этом студентам предлагается экспериментально установить зависимость между положениями барабана для поворота диспергирующего элемента и длиной волны, а также построить график данной зависимости.

Основная цель работы состоит в выполнении четырех заданий, в которых определяются параметры настройки компьютеризированного спектрального оборудования и создается файл калибровки узлов прибора. Экспериментальная часть данной работы предполагает определение трех функций для настройки сканера, регистрирующей щели и фотоэлемента.

К материалам, используемым при выполнении этой работы, относятся спектрометр «Спектрометр_01»; блок питания; руководство с описанием принципа действия и способом управления спектральным прибором «Спектрометр_01»; методическое пособие с инструкциями по выполнению лабораторно-практических работ с помощью спектрометра «Спектрометр_01»; эталонные источники света (спектры); программное обеспечение; принтер.

В качестве эталонных источников света можно использовать одни или несколько источников, которые вместе имеют линейчатый спектр во всей области излучения. Характеристики эталонных спектров могут быть получены с помощью откалиброванного спектрального оборудования. В целом для выполнения данной работы могут подойти газоразрядные трубки с парами таких элементов, как железо (Fe), германий (Ge), хром (Cr) или ртуть (Pb).

В первом задании этой работы экспериментально определяется функция $\lambda = f(x)$, которая устанавливает соотношение между координатами сканера и длинами волн (эту часть работы можно сравнить с градуировкой шкалы барабана спектроскопа). Нахождение функции $\lambda = f(x)$ реализуется через использование полуавтоматического режима управления сканером, при этом перемещение сканера выполняется с помощью диалогового окна «Ручной режим». Выполняя сканирование спектра эталонного источника света с известным значением длины волны для всех видимых спектральных линий, студент фиксирует координаты сканера, которые соответствуют конкретным длинам волн. Полученные данные используются для построения графика функции.

Во втором задании определяется экспериментальная функция $a=f(\lambda)$, т. е. зависимость положения регистрирующей щели от длины световой волны, которая позиционируется сканером. Такая необходимость фокусировки регистрирующей щели на разных участках спектра обусловлена влиянием хроматической аберрации. Проводя сканирование различных участков линейчатого спектра, студент подбирает такое положение регистрирующей щели для спектральной линии с длиной волны λ , при котором во время сканирования она отображается в минимальном интервале. Получив данные для всех участков оптического спектра, нужно построить график зависимости $a = f(\lambda)$.

Так как «Спектрометр_01» выполняет и фотоэлектрическую регистрацию, то для настройки фотодатчика (ФЭУ-130) необходимо определить экспериментально функцию $E = f(\lambda)$, т. е. зависимость изменения чувствительности фотоэлектронного умножителя для различных длин волн.

Исследование экспериментальной зависимости $E = f(\lambda)$ выполняется в третьем задании. Для получения ее используются эталонный источник света с известным распределением энергии излучения в спектре. Проведя сравнение спектра, полученного с помощью спектрометра и эталонного спектра, студент строит график $E = f(\lambda)$. При этом изменение чувствительности E для длины волны λ находится как отношение интенсивности излучения, которую зафиксировал фотодатчик, к интенсивности излучения, определенного из эталонного спектра.

Четвертое задание данной лабораторной работы носит по сравнению с предыдущими более аналитический характер, в нем предусматривается создание и подключение к программе калибровочного файла, а также проведение комплексной проверки работы оборудования после подключения файла настройкой узлов спектрометра. Процесс создания файла с расширением «CLB» предполагает использование диалогового окна «Калибровка», которое показано на рис. 7. Для моделирования работы узлов спектрометра используются конкретные точки экспериментальных кривых, которые были получены в предыдущих задачах. Для настройки сканера в поле «Соответствие координат» нужно внести данные длин волн, соответствующих конкретным координатам, а именно: 0, 250, 500, 750 и так далее, вплоть до 10 000.

В целом кривая $\lambda = f(x)$ будет представлена в программе через ломаную линию, состоящую из сорока отрезков с одинаковой проекцией на ось координат. Значения функции $\lambda = f(x)$ для конкретных координат определяются из графика, который был получен в первом задании.

Для настройки фокусировки регистрационной щели студент должен использовать графическое представление функции $a = f(\lambda)$, которая была получена во втором задании.

По аналогии с настройкой сканера в поле «Устранение хроматической aberrации» диалогового окна «Калибровка» вводятся значения координаты щели, которые соответствуют графику $a = f(\lambda)$ для длин волн во всем оптическом диапазоне с шагом $\Delta\lambda = 10$ нм.

Моделирование чувствительности фотодатчика осуществляется с помощью экспериментальной кривой $E = f(\lambda)$, которая была получена в третьем задании. Данные об изменении чувствительности фотоэлектронного умножителя вводятся в поле «Спектральная характеристика ФЭУ» диалогового окна, которое показано на рис. 7.

Выполнив заполнение необходимых полей окна «Калибровка», студент создает калибровочный файл, указав его имя в стандартном диалоговом окне «Сохранить как». После создания файла для использования в дальнейшем необходимо его подключение к программе.

После успешного завершения моделирования работы спектрометра в лабораторной работе проводится набор спектров эталонных источников излучения и выполняется сравнение полученных данных с реальными спектрами, после чего на основе наблюдений и измерений делаются выводы.

Следует отметить, что при выполнении лабораторной работы к программе подключается начальный калибровочный файл, который уже содержит в себе настройки сканера и щели, такая ситуация никак не влияет на выполнение самой работы за исключением того, что обеспечивает правильность измерений во втором и третьем задании. Если исходный файл не подключать, то после выполнения первого задания на основе полученных в нем результатов требуется настройка сканера (создание и подключение калибровочного файла с настройками сканера), а после второго задания требуется настройка щели.

Для такой ситуации последовательность выполнения работы приобретает следующий вид: 1) первое задание, 2) настройки сканера, 3) второе задание, 4) настройки щели, 5) третье задание, 6) четвертое задание. При этом четвертое задание будет частично реализовано при настройке сканера и щели.

Проведение педагогического эксперимента с использованием нового универсального учебного комплекта «Спектрометр_01» на базе Кировоградского государственного педагогического университета, Кировоградского Национального технического университета и ряда других вузов дало позитивные результаты по повышению эффективности изучения разделов «Оптика» и «Квантовая физика» в курсе общей физики.

Литература

1. Величко, С. П. Удосконалення навчального експерименту та обладнання із спектрального аналізу / С. П. Величко, С. Г. Ковальов // Зб. наук. праць Кам'янець-Подільськ. ун-ту / Ред.колегія: П. С. Атаманчук та ін. – Серія: педагогічна. – Кам'янець-Подільськ, 2010. – Вип. 16. – С. 140–142.

УДК 535.24

СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРУЮЩЕЙ СФЕРЫ И МНОГОКАНАЛЬНОГО СПЕКТРОРАДИОМЕТРА

О. Е. Железникова, Л. В. Синицына

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

В статье описана новая установка на основе интегрирующей сферы OL IS-7600 и спектрорадиометра OL 770, позволяющая с высокой точностью измерять не только световой поток источников света и световых приборов,

но и целый комплекс световых, радиометрических и колориметрических характеристик. Использование установки дает возможность усовершенствовать традиционные методики в направлении точности, скорости выполнения и наглядности представления результатов измерений.

Ключевые слова и фразы: интегрирующая сфера, спектрорадиометр, световой поток, точность световых измерений, спектральное распределение излучения, диаграмма цветности.

Световой поток источника света (ИС), светового прибора (СП) можно определять либо по известному распределению силы света методом расчета, либо методом измерения с помощью фотометрического шара – шара Ульбрихта (Ulbricht). Первый метод основан на возможности измерения силы света ИС I_i в большом числе n заранее выбранных направлений, расчете световых потоков $\Delta\Phi_i$ внутри достаточно малых телесных углов $\Delta\Omega_i$ и суммировании этих световых потоков, причем сумма телесных углов $\Delta\Omega_i = 4\pi$. Данный способ достаточно трудоемкий, поэтому в большинстве случаев более удобным оказывается измерение светового потока методом сопоставления освещенностей исследуемого ИС и ИС с известным световым потоком.

Центр коллективного пользования (ЦКП) «Светотехническая метрология» ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева» в настоящее время располагает новым исследовательским комплексом для измерения светового потока на основе интегрирующей сферы (фотометрического шара) и многоканального спектрорадиометра OL Series770 компании Gooch & Housego (США) [1].

Теория интегрирующей сферы. Согласно теории фотометрического шара, световой поток, рассеиваемый его внутренней поверхностью, распределяется по ней идеально равномерно. Если коэффициент отражения ρ одинаков по всей поверхности, то источник со световым потоком Φ , помещенный в центр сферы, создаст во всех ее точках за счет многократных отражений одинаковую освещенность $E_{\text{сум}}$, равную:

$$E_{\text{сум}} = E_{\text{пр}} + \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{\Phi}{4\pi r^2}, \quad (1)$$

где $E_{\text{пр}}$ – освещенность, которую ИС создает в данной точке при непосредственном падении света на внутреннюю поверхность сферы; r – радиус сферы.

Из выражения (1) следует, что освещенность, создаваемая многократными отражениями, одинакова в любой точке и прямо пропорциональна полному световому потоку ИС.

Если с помощью малого непрозрачного экрана, помещенного внутрь сферы, защитить какую-нибудь точку сферы от прямого света ИС, то освещенность такой точки будет прямо пропорциональна потоку ИС, то есть:

$$E = \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{\Phi}{4\pi r^2} = a\Phi, \quad (2)$$

где a – коэффициент пропорциональности, зависящий только от свойств сферы. Поэтому, если испытуемый ИС с неизвестным световым потоком Φ заменить внутри сферы на образцовый источник с известным световым потоком Φ_0 , то освещенность в точке будет равна:

$$E_0 = a\Phi_0. \quad (3)$$

Из (2) и (3) получаем:

$$\Phi = \frac{E}{E_0} \Phi_0. \quad (4)$$

Светорассеивающие свойства поверхности интегрирующей сферы имеют первостепенное значение. Коэффициент отражения поверхности во всех точках должен быть один и тот же. Поверхность должна рассеивать падающее излучение в соответствии с законом Ламберта. От соблюдения этих условий будет зависеть точность проводимых измерений светового потока.

Технические характеристики и конструкция интегрирующей сферы. В нашем случае интегрирующая сфера OL IS-7600 используется со спектро-радиометром OL 770 (рис. 1). Диаметр сферы 75 дюймов (190,5 см). Интегрирующая сфера конструктивно состоит из двух отдельных полушарий, двух портов выхода, дополнительного порта ИС и внутреннего крепления патрона ИС. Оба полушария легко разъезжаются друг от друга для облегчения установки, замены ИС или частей крепежа. Сфера может вместить в себя ИС размером 60 дюймов (152,4 см) в длину при максимальном значении светового потока 200 000 люменов.

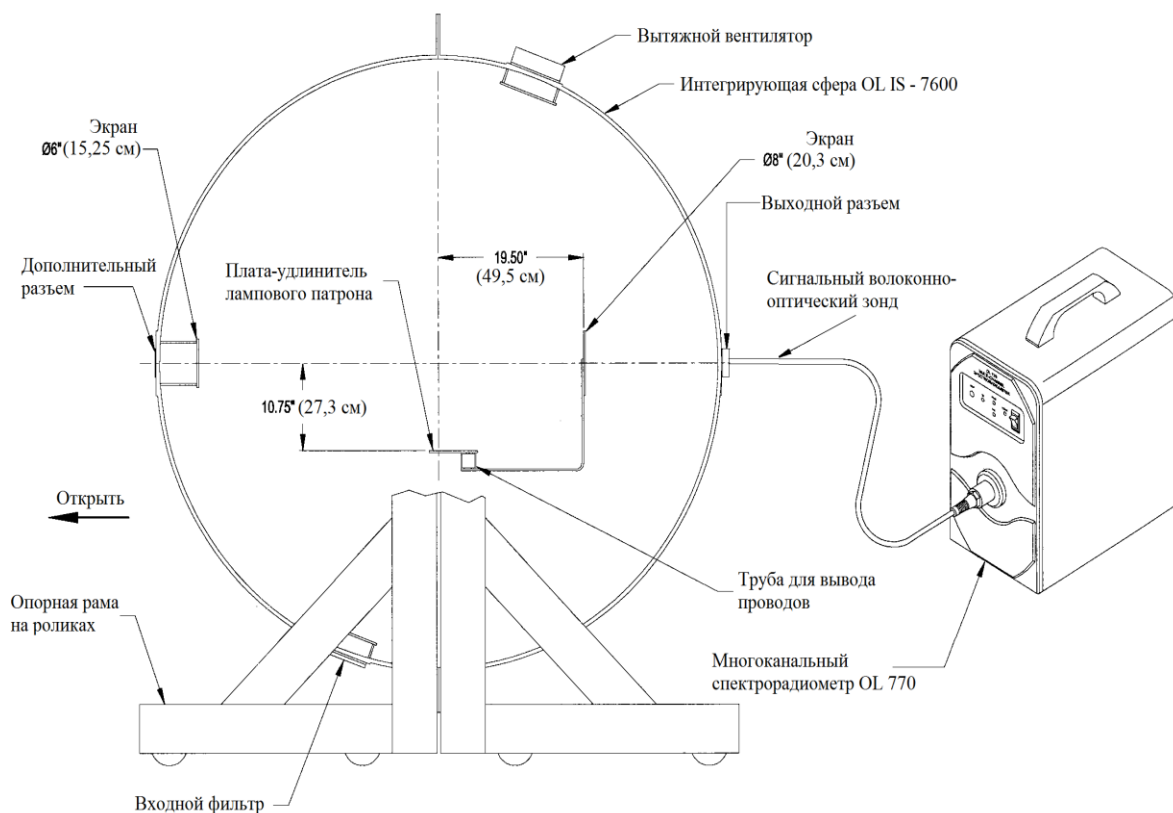


Рис. 1. Схематический чертеж установки для световых измерений

Выходное отверстие сферы OL IS-7600 имеет внутренний экран диаметром 20,3 см, который затеняет фотометрическое отверстие со светорассеивающим стеклом от попадания прямых лучей. Его расположение просчитано таким образом, чтобы способствовать повышению точности световых измерений. Второй экран диаметром 15,25 см препятствует попаданию излучения от вспомогательного источника на измеряемую или калибровочную лампу и фотометрическое отверстие. Вертикальная сквозная труба предназначена для подключения ИС к источнику питания. Сфера устанавливается на прочную опорную раму с роликами.

Внутренняя поверхность и экраны каждого полушария покрыты высококачественным светоотражающим материалом на основе сульфата бария – оптолоном 2ТМ. Спектральный коэффициент отражения покрытия сферы приведен на рис. 2. Использование опалового рассеивателя, входящего в комплект, определяет эффективный диапазон длин волн измеряемого излучения от 350 до 1100 нм. В комплекте с интегрирующей сферой идут калибровочный и вспомогательный ИС. Последний предназначен для учета и определения влияния на результат измерений различных приспособлений, находящихся в сфере. Основные технические характеристики сферы приведены в таблице 1.

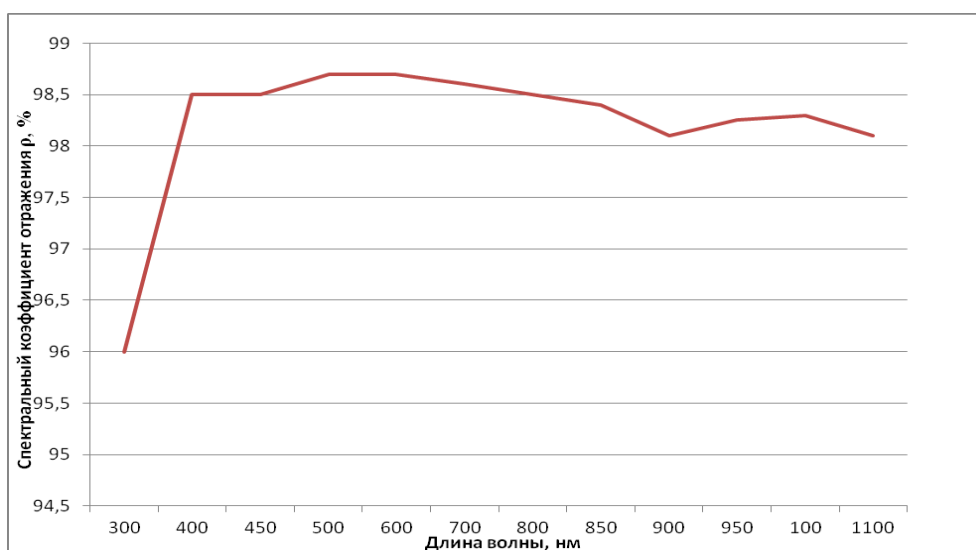


Рис. 2. Спектральный коэффициент отражения покрытия сферы OL IS-7600

Внутри сферы находится плата-удлинитель для крепежей ИС. Важным преимуществом сферы OL IS-7600 является универсальная крепежная система OL ISA-UB. Эта дополнительная универсальная базовая система позволяет устанавливать различные виды крепежей.

Если световой поток ИС превышает динамический диапазон системы измерения, для его уменьшения можно использовать одну из трех входящих в комплект поставки апертурных диафрагм диаметрами 0,5; 1,5 и 3 мм. Причем сначала устанавливается первая, сама большая диафрагма (3 мм) и проверяется работа, а затем, если уровень сигнала будет все еще слишком

высоким, устанавливается диафрагма меньшего размера, пока не будет получен нужный уровень сигнала.

Таблица 1
Технические характеристики интегрирующей сферы

Вид и тип характеристик	Параметры
Материал сферы	Алюминий
Материал рам крепления полушарий	Алюминий
Внутренний диаметр сферы	75 дюймов (190,5 см)
Материал покрытия сферы	Оптолон 2 ТМ
Коэффициент отражения в видимой области	98,6 %
Диапазон длин волн	От 350 до 1100 нм
Вспомогательная лампа	150 Вт, тип DZE
Максимальная длина измеряемого ИС	60 дюймов (152,4 см)
Габаритные размеры	200 × 216 × 234 см
Примерный вес	640 (290) кг

Измерительная система. В качестве системы «приемник излучения – регистрирующий прибор» используется многоканальный спектрорадиометр OL 770. Он включает в себя спектрограф, термоэлектрически охлаждаемый сенсор ПЗС матрицы, внутреннюю эталонную лампу, источник питания и электронные схемы управления в портативном корпусе.

Излучение от интегрирующей сферы поступает в спектрорадиометр OL 770 через оптоволоконный зонд длиной 1 м и диаметром 3 мм и вход во внутренний спектрограф. Основные характеристики спектрографа OL 770 VIS/NIR представлены в таблице 2.

Таблица 2
Основные характеристики спектрографа OL 770VIS/NIR

Характеристика	
Диапазон длины волны	380 нм–1100 нм
Точность длины волны	± 1,0 нм
Оптическая полоса пропускной способности (с мин. отверстием 100 мкм)	5,0 мм
Спектральное разрешение	0,75 мм
Диафрагма	100 мкм
Оптическое фокусное расстояние	140 мкм
Оптическая диафрагма	f/2

Достоинством спектрорадиометра OL 770 является наличие внутренней эталонной лампы (OL 700-20-X), которая позволяет пользователю быстро провести калибровку системы и поддерживать ее точность.

Для применяемой в конфигурации со спектрорадиометром OL 770 интегрирующей сферы используется стандарт калибровки Национального института стандартов и технологий США, поэтому описываемый многоканаль-

ный спектро радиометр может выполнять точные измерения спектральных (спектральная плотность потока излучения, спектральная плотность светового потока, пиковая, доминирующая, центроидная длины волн), фотометрических (световой поток, яркость), радиометрических (энергетическая яркость, облученность) и колориметрических (координаты цветности в системах XYZ и U`V`W`, чистота цвета, коррелированная цветовая температура, специальные и общий индекс цветопередачи) характеристик исследуемых ИС и СП.

Прикладное программное обеспечение, разработанное для использования с системой OL 770, позволяет осуществлять вывод на дисплей данных, их регистрацию и хранение; вывод данных в Word и Excel; представление графики в реальном режиме времени; переход курсора к пику/минимуму; аккумуляцию графиков для изучения; представление диаграмм цветности в системах XYZ (1931), U`V`W` (1960, 1976).

Заключение. Рассмотренная установка на основе интегрирующей сферы OL IS-7600 и спектро радиометра OL 770 для проведения фотометрических и колориметрических измерений отвечает самым высоким требованиям, предъявляемым к точности таких измерений. Использование данной установки позволяет существенно усовершенствовать традиционные методики в направлении точности, скорости выполнения и наглядности представления результатов измерений. Погрешность фотометрических данных составляет $\pm 5\%$, воспроизводимость фотометрических данных $\pm 2\%$, погрешность определения координат цветности $\pm 0,002$, воспроизводимость координат цветности $\pm 0,0005$, воспроизводимость измерения коррелированной цветовой температуры (координат цветности) $\pm 20\text{ К}$ (при 2856 К).

Литература

1. Спектро радиометры серии OL 770 и OL 771 (описание и технические характеристики) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.eniseylab.ru/catalog/78/447/>

УДК 538. 3 9(075.8)

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД «ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ РАДИОВОЛН»

В. И. Беглов, В. И. Королев, Д. П. Новиков, И. С. Нестеров

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

В статье приводится описание лабораторного стенда по изучению дифракции радиоволн. Подробно рассмотрена схема драйвера шагового двигателя. Стенд может работать в автоматическом режиме в комплекте с ПК.

Ключевые слова и фразы: лабораторный стенд, радиоволны, дифракция, шаговый двигатель.

При изучении ряда курсов радиотехнического профиля («Электродинамика и распространение радиоволн», «Радиотехнические системы», «Радиолокация и радионавигация» и т. д.) необходимо рассчитывать прохождения радиоволн для трасс со сложным профилем рельефа [1]. Значительные сложности при расчете напряженностей электромагнитного поля возникают в условиях городской застройки, где кроме учета отражений радиоволн нужно учесть и их дифракцию даже в ультракоротком (УКВ) диапазоне [2; 3].

Для изучения дифракции Френеля разработан лабораторный стенд, который позволяет получить наглядное представление об областях пространства, существенно участвующих в передаче энергии радиоволн, и исследовать влияния величины просвета на напряженность поля в точке приема.

Лабораторный стенд (рис. 1) состоит из генератора сигналов Г4-83 (1); передающей (2) и приемной (3) рупорных антенн; детекторной секции (4), милливольтметра ВЗ-56 (5), металлического экрана (6) с диафрагмой. Ирисовая диафрагма позволяет менять диаметр отверстия в пределах нескольких зон Френеля. Приемная антенна и диафрагма могут перемещаться относительно передающей антенны.

Для исследования влияния величины просвета на распространение радиоволн используется сплошной металлический экран, который перемещается в вертикальной плоскости перпендикулярно линии, проходящей через антенны.

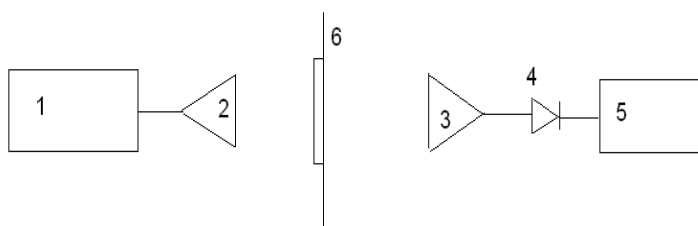


Рис. 1. Схема лабораторного стенда

Лабораторный стенд позволяет проводить измерения в ручном режиме, но в связи с большим объемом измерений предусмотрена возможность автоматического режима. При этом диаметр отверстия диафрагмы изменяется с помощью шагового двигателя, управление которым осуществляется с USB-порта компьютера.

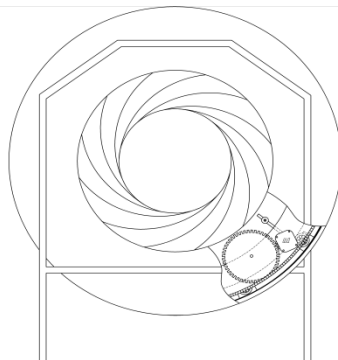


Рис. 2. Диафрагма с шаговым двигателем

На рис. 3 изображен драйвер униполярного шагового двигателя с управлением от компьютера через USB-порт.

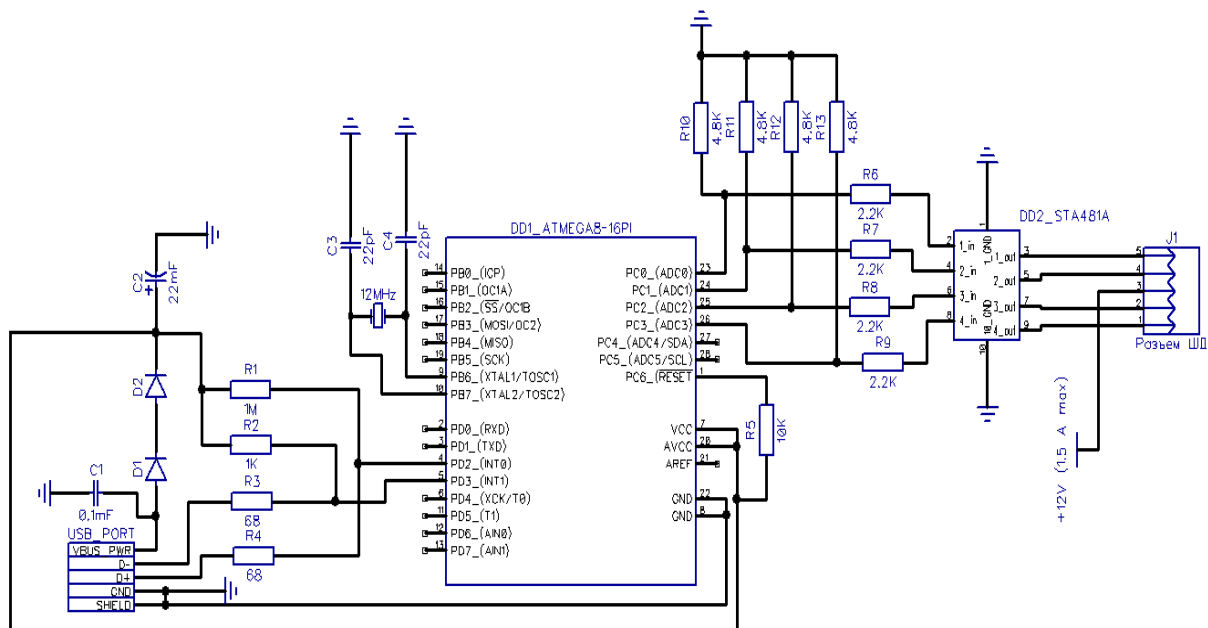


Рис. 3. Принципиальная схема драйвера шагового двигателя

Драйвер позволяет управлять любыми униполярными шаговыми двигателями, обмотки которых рассчитаны на напряжение до 60 В, ток до 1.5 А. Приведенный вариант схемы предназначен для управления двигателем с максимальным током в обмотках 1 А при напряжении 12 В.

Если двигатель имеет 6 выводов, то необходимо объединить провода, идущие от середины каждой обмотки, как показано на рис. 4.

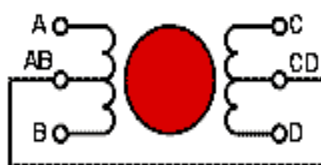


Рис. 4. Объединение обмоток двигателя

Для коммутации обмоток применяется микросхема STA481A, объединяющая в себе четыре электронных ключа, построенных на транзисторных сборках Дарлингтона с применением быстродействующих диодов. Выходы микросхемы подключаются к обмоткам шагового двигателя.

Входы соединяются с выходами микроконтроллера через делители тока на резисторах R6-R13. Делители тока служат для задания тока, подаваемого на входы ключей, а также для соединения входов микросхемы с «землей» при отсутствии сигнала для исключения наводок и ложного срабатывания ключа. Таким образом, обеспечивается стабильная работа двигателя даже

при высокой частоте коммутации обмоток и соответственно высокой скорости вращения.

Питание шагового двигателя обеспечивается внешним блоком питания. Микроконтроллер питается через USB-порт. Обеспечивается возможность управления мощным двигателем без применения дополнительных цепей питания, усложняющих схему.

В схеме применен микроконтроллер Atmel ATMEGA8 (рис.1). Питание микроконтроллера осуществляется через USB порт. Напряжение +5 В VBUS_PWR подается на входы микросхемы через диоды D1, D2, понижаясь до уровня около + 3.6 В. Конденсаторы C1, C2 используются для сглаживания скачков напряжения и устранения высокочастотных помех в цепи питания.

Пониженное напряжение питания микроконтроллера, а также применение резисторов R1, R2, R3, R4 обеспечивает согласование линий передачи данных D+/D- USB-контроллера компьютера с микроконтроллером ATMEGA8 согласно стандарту передачи данных USB 2.0 на скорости «low speed». По этой же причине вместо внутреннего тактового генератора микроконтроллера выбран внешний на основе кварца с частотой 12 МГц, подключенного согласно спецификации ATMEGA8.

Программно интерфейс USB реализуется в прошивке микроконтроллера ATMEGA8 с использованием свободно распространяемой бесплатной библиотеки функций V-USB, подключаемой к среде разработки Atmel AVR Studio.

Контроллер шагового двигателя при подключении к компьютеру определяется как HID-устройство, а значит, не требует установки драйверов и коммерческой регистрации уникальных кодов для идентификации устройства.

Разработанный стенд позволяет исследовать зависимость напряженности поля в месте приема от радиуса отверстия в экране, определять радиусы первых зон Френеля в зависимости от расстояния до источника излучения

Литература

1. Черенкова, Е. Л. Распространение радиоволн / Е. Л. Черенкова, О. В. Чернышев. – М. : Радио и связь, 1984. – 386 с.
2. Долуханов, М. П. Распространение радиоволн / М. П. Долуханов. – М. : Связь, 1972. – 240 с.
3. Грудинская, Г. П. Распространение радиоволн / Г. П. Грудинская. – М. : Высш. шк., 1975. – 280 с.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЛАВИННОГО ПРОБОЯ КАРБИДКРЕМНИЕВЫХ P-N ПЕРЕХОДОВ

А. А. Шестеркина

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

Целью работы является определение области эффективной ионизации в резких и плавных p-n-переходах на карбиде кремния политипа 4H и 6H в широком диапазоне пробивных напряжений (50В-30кВ).

Ключевые слова и фразы: ионы, ионизация, лавинный пробой.

Процесс ударной ионизации развивается неравномерно по всей ширине p-n-перехода, а локализуется в довольно узком, так называемом эффективном слое умножения, где напряженность поля максимальна. В остальной области объемного заряда ударная ионизация практически не имеет места. В этих областях наблюдается лишь дрейф электронов (на стороне n-области) и дырок (на стороне p-области), генерированных в слое умножения. Эти области получили название пролетных областей. Они играют роль балластного сопротивления, ограничивающего рост тока с увеличением напряжения на p-n-переходе в области пробоя и дают основной вклад в дифференциальное сопротивление p-n-перехода в области лавинного пробоя на вольт-амперной характеристике.

Ширина области ионизации непосредственно входит в расчетные формулы для сопротивления пространственного заряда, ее определение для p-n-переходов представляет значительный интерес [1; 2].

Целью работы является определение области эффективной ионизации в резких и плавных p-n-переходах на карбиде кремния политипа 4H и 6H в широком диапазоне пробивных напряжений (50В–30кВ).

Для определения ширины области ионизации были проведены расчеты зависимостей напряжения пробоя $p^+ - n - n^+$, $n^+ - p - p^+$ и $p^+ - p - n - n^+$ структур от ширины умеренно легированной области l . Напряжение лавинного пробоя определялось путем численного решения уравнения, соответствующего критерию пробоя:

$$\int_0^l \alpha_n \exp \left[- \int_0^x (\alpha_n - \alpha_p) dx' \right] dx = 1,$$

где a_n , a_p – коэффициенты ударной ионизации электронов и дырок соответственно. Для расчета использовалась полевая зависимость коэффициентов ударной ионизации электронов и дырок в виде:

$$\alpha(E) = A \exp(-b/E),$$

где A и b – параметры аппроксимации, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Источ- ник и дата	Электроны		Дырки		Поли- тип
	$A, 10^6 \text{ см}^{-1}$	$b, 10^6 \text{ В/см}$	$A, 10^6 \text{ см}^{-1}$	$b, 10^6 \text{ В/см}$	
[1], 2004	176,0	33,0	341,0	25,0	4H-SiC
[2], 2003	1,66	12,7	5,18	14	6H-SiC

Рассчитывались зависимости напряжения пробоя от ширины умеренно легированной области по аналитическому выражению, широко используемому в научной литературе:

$$U_{\text{анал.}} = U_b \left[1 - \left(1 - \frac{l}{L_B} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где U_b – напряжение лавинного пробоя p^+ - n -перехода; L_B – ширина области объемного заряда при лавинном пробое p^+ - n -перехода.

Это выражение получено в предположении, что ограничение расширения области объемного заряда сильно легированной n^+ -области не распространяется на область ионизации p^+ - n -перехода.

Расчеты проводились для различных концентраций легирующей примеси в слаболегированной области в диапазоне от $2 \cdot 10^{14}$ до $4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. На рис. 1 представлены графически зависимости отношения $U_{\text{чид.}}/U_{\text{анал.}}$ для 4H-SiC и 6H-SiC p^+ - n - n^+ -структуры от ширины n -области для разных концентраций.

Как видно из представленных данных, пока ограничение расширения области объемного заряда невелико ($l/L_B \approx 0,55 \div 1,0$) для 4H-SiC и ($l/L_B \approx 0,75 \div 1,0$) для 6H-SiC, результаты точного расчета напряжения пробоя и даваемые аналитической формулой совпадают. Однако с уменьшением l точное значение напряжения пробоя оказывается выше, чем получаемое по аналитическому выражению. Это свидетельствует о «вторжении» n^+ -слоя в область ионизации. В этом случае при тех же значениях напряженности поля в области объемного заряда условие пробоя p - n -перехода уже не выполняется из-за уменьшения l и пробой наступает при более высоком напряжении.

Определение значения ширины области ионизации из расчетных данных определяется выбранным критерием. В качестве критерия примем значение l , при котором точное значение напряжения пробоя больше на 0,1 % значения, даваемого аналитической формулой.

На рис. 2 представлены зависимости ширины области ионизации от напряжения пробоя для резких p^+ - n и n^+ - p -переходов по полученным результатам для критерия 0,1 %.

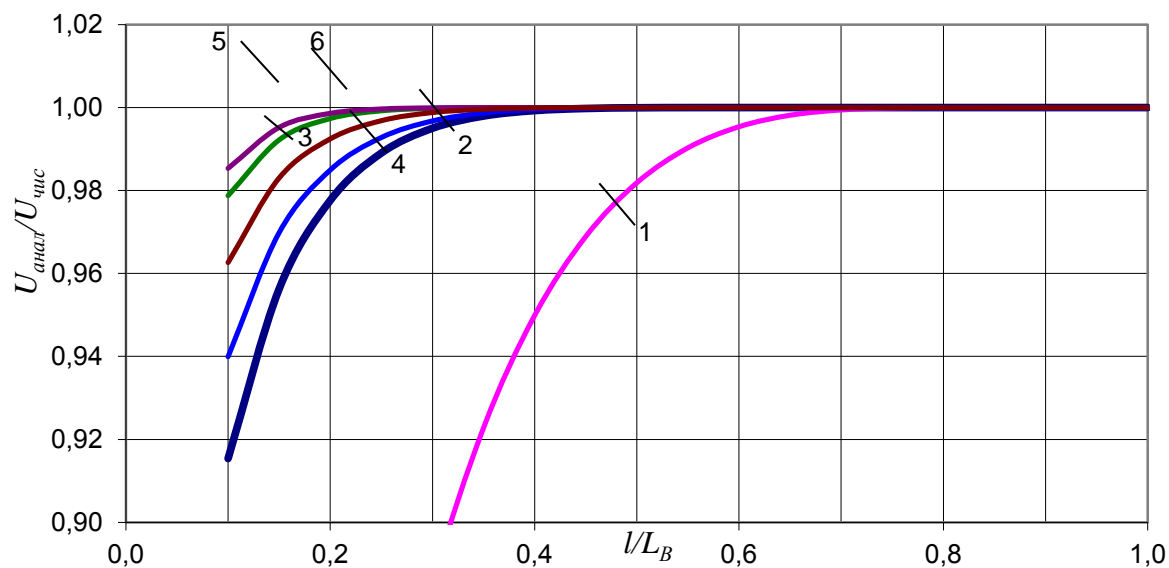


Рис. 1. Зависимости отношения $U_{числ}/U_{анал}$ p^+-n-n^+ -структуры от ширины n -области: 1 – 6H-SiC с $N_d = 4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$; 2 – 4H-SiC с $N_d = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$; 3 – 4H-SiC с $N_d = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; 4 – 6H-SiC с $N_d = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; 5 – 4H-SiC с $N_d = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$; 6 – 6H-SiC с $N_d = 4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

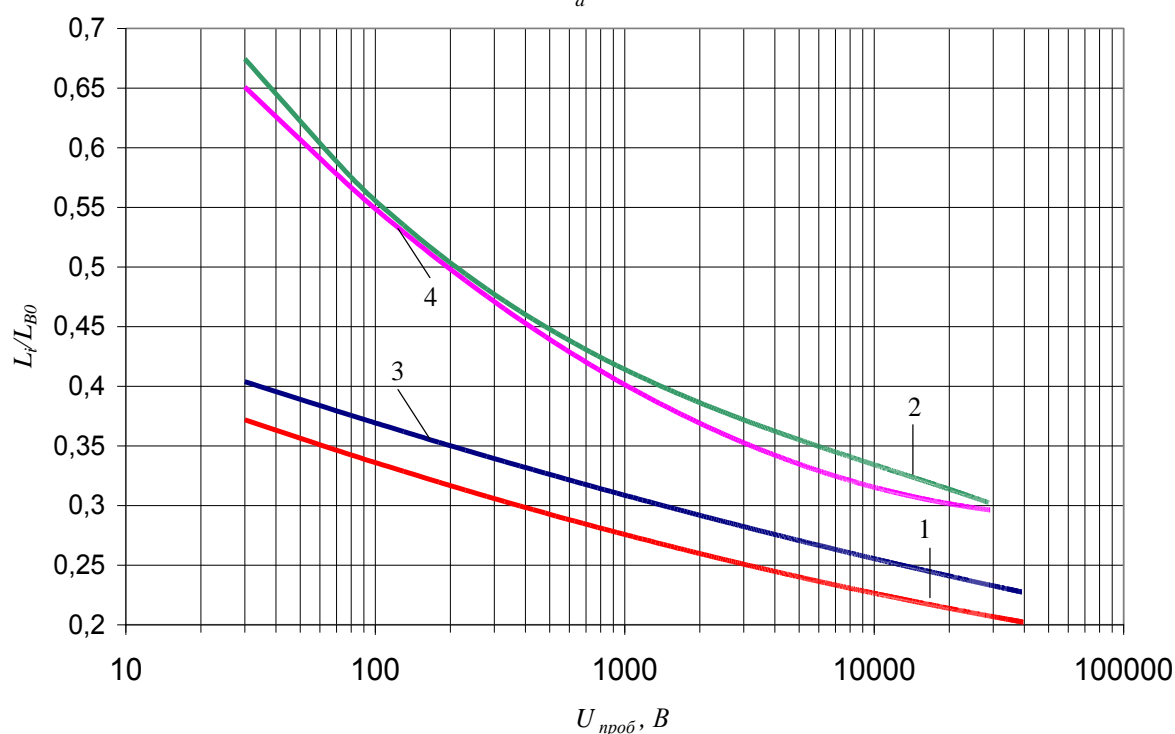


Рис. 2. Зависимости ширины области ионизации от напряжения пробоя для резких p^+-n и n^+-p -переходов: 1 – p^+-n -переходы для 4H-SiC; 2 – p^+-n -переходы для 6H-SiC; 3 – n^+-p -переходы для 4H-SiC; 4 – n^+-p -переходы для 6H-SiC

В работе также получено аналитическое выражение для оценки напряжения лавинного пробоя плавного перехода с ограничением ширины умеренно легированной базы (т. е. $p^+-p-n-n^+$ структур) в виде:

$$U_{\text{анал.}} = U_b \frac{l}{2L_B} \left(3 - \left(\frac{l}{L_B} \right)^2 \right). \quad (2)$$

Аналогично резким переходам проведены расчеты зависимости напряжения лавинного пробоя по условию пробоя и по аналитическому выражению (2) от ширины умеренно легированной области.

Кроме определения ширины области ионизации результаты, полученные в ходе выполнения работы, представляют интерес еще с одной стороны. При оценке напряжения лавинного пробоя $p^+ - n - p^+$ -переходов (или $n^+ - p - n^+$ -переходов) широко используется выражение (1). Однако в научной литературе не имеется уверенных данных о применимости этого соотношения для расчета напряжения лавинного пробоя $p^+ - n - n^+$ -переходов. В большинстве случаев лишь указывается, что это соотношение справедливо, пока сильнолегированный n^+ -слой не затрагивает область ионизации.

Лавинный пробой реальных $p - n$ -переходов носит микроплазменный характер. Поэтому напряжение пробоя реальных $p - n$ -переходов всегда несколько выше, чем предсказывается расчетами, точность которых, по имеющимся аппроксимационным формулам, порядка 5 %.

Можно принять, что расхождения между точным и аналитическим значениями напряжения пробоя в 3 % вполне допустимы, поэтому аналитическое выражение можно использовать при ограничении области объемного заряда до $0,15 L_B$ для 4Н и $0,3 \% L_B$ для 6Н.

В ходе выполнения работы было выяснено, что ширина области ионизации меньше:

а) в $p - n$ -переходах на 4Н по сравнению с $p - n$ -переходами на 6Н как для резких $p^+ - n$, $n^+ - p$, так и для плавных переходов;

б) в высоковольтных переходах по сравнению с низковольтными для резких и плавных $p - n$ -переходов, как для 4Н, так и для 6Н;

в) в резких $p - n$ -переходах по сравнению с плавными при одинаковом напряжении лавинного пробоя, как для 4Н так и для 6Н;

г) в резких $p^+ - n - p^+$ -структурах по сравнению с резкими $n^+ - p - n^+$ -структурами при одинаковой концентрации легирующей примеси в умеренно легированной области для 4Н.

Известное аналитическое выражение для оценки напряжения лавинного пробоя можно использовать при значительном ограничении области объемного заряда вплоть до $0,15 L_B$ для 4Н и $0,3 \% L_B$ для 6Н.

Литература

1. Hatareyama T. SiC Semiconductor Devices / T. Hatareyama, T. Watanabe, T. Sninohe, K. Kojima // *Apple. Phys. Lett.* – 2004. – P. 1380.
2. Ayalew, T. SiC Semiconductor Devices Technology, Modeling, and Simulation / T. Ayalew // *American Institute of Physics.* – 2003. – P. 1358.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

И. И. Байнева, В. В. Байнев

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

Рассмотрены аспекты информатизации образовательной деятельности, необходимости внедрения средств автоматизации управления и автоматизированных рабочих мест в высших учебных заведениях. Рассмотрены основные средства, использованные для разработки универсальной тестирующей системы «TestSystem».

Ключевые слова и фразы: контроль, тест, информатизация.

Стремление к повышению качества образовательной деятельности на современном этапе развития общества диктует активное внедрение образовательными учреждениями средств информатизации, что обеспечивает предпосылки к созданию и использованию специальных программно-аппаратных средств для контроля знаний учащихся и студентов на всех стадиях учебного процесса. Актуальность таких систем очевидна, например, при организации учебного процесса с дистанционной составляющей, где требование тщательного контроля определено значительным сокращением времени очного общения преподавателя со студентами, а также активным использованием online-тестирования [1].

В настоящее время темпы внедрения средств автоматизации управления очень высоки. Автоматизированное рабочее место (АРМ) для проведения комплексного тестирования представляет собой систему для автоматизации работ по подготовке, преобразованию, редактированию цифровой и текстовой информации, выполнения необходимых вычислений, организации взаимодействия руководителя с ЭВМ и предназначено для повышения эффективности работы пользователя. Данная система должна обеспечить пользователя эффективными инструментами анализа накопленной информации и минимизировать его трудозатраты на технические операции с данными.

Эффективным режимом работы АРМ является его функционирование в рамках локальной вычислительной сети в качестве рабочей станции. Целесообразен такой вариант, когда требуется распределять информационно-вычислительные ресурсы между несколькими пользователями.

В наиболее сложных системах АРМ могут через специальное оборудование подключаться не только к ресурсам главной ЭВМ сети, но и к различным информационным службам и системам общего назначения (службам новостей, национальным информационно-поисковым системам, базам данных и знаний, библиотечным системам и т. п.).

Информационное обеспечение АРМ ориентируется на конкретную, привычную для пользователя, предметную область. Обработка документов должна предполагать такую структуризацию информации, которая позволяет осуществлять необходимое манипулирование различными структурами, удобную и быструю корректировку данных в массивах.

Техническое обеспечение АРМ должно гарантировать высокую надежность технических средств, организацию удобных для пользователя режимов работы (автономный, с распределенной БД, информационный, с техникой верхних уровней и т. д.), способность обработать в заданное время необходимый объем данных. Поскольку АРМ является индивидуальным пользовательским средством, оно должно обеспечивать высокие эргономические свойства и комфортность обслуживания.

Программное обеспечение ориентируется на профессиональный уровень пользователя, сочетается с его функциональными потребностями, квалификацией и специализацией. Пользователь со стороны программной среды должен ощущать постоянную поддержку своего желания работать в любом режиме активно либо пассивно.

АРМ преподавателя – электронное средство методического и учебного назначения, которое содержит программное средство учебного назначения, отражающее объекты, процессы, явления в предметной области [2].

В настоящее время наиболее часто используются следующие варианты тестовых контрольных мероприятий:

- «автоматический», когда обучаемый выполняет задание в непосредственном диалоге с ЭВМ, результаты сразу переносятся в блок обработки;
- «полуавтоматический», когда задания выполняются письменно, а ответы со специальных бланков вводятся в ЭВМ (решения не проверяются);
- «автоматизированный», когда задания выполняются письменно, решения проверяются преподавателем, а в ЭВМ вводятся результаты проверки.

Особенностью первых двух является отстраненность преподавателя от проверки результатов испытаний. В этом случае, казалось бы, их объективность повышается. При этом утрачивается значительная часть информации, которую можно было бы получить при анализе результатов тестирования с использованием человеческого фактора.

Для графического моделирования сложных систем существуют хорошо известные методологии и стандарты [3–6]. К ним относятся методологии семейства IDEF. Эта техника описания процессов получила наибольшее распространение в мире и принята как стандарт во многих странах. В настоящий момент к семейству IDEF можно отнести следующие стандарты:

- IDEF0 – методология функционального моделирования;
- IDEF1 – методология моделирования информационных потоков внутри системы;
- IDEF2 – методология динамического моделирования развития систем;

- IDEF3 – методология документирования процессов, происходящих в системе;
- IDEF4 – методология построения объектно-ориентированных систем для наглядного отображения структуры объектов и принципов их взаимодействия и др.

Концепция реализована во многих программных продуктах, наиболее популярными из которых на сегодняшний день среди малых инструментальных средств являются пакеты BPwin и ERwin компании Platinum. Для проведения анализа и реорганизации бизнес-процессов предлагается CASE-средство верхнего уровня – пакет BPwin, поддерживающий методологии IDEF0, IDEF3 и DFD.

Пакет AllFusion Process Modeler 7 (или BPWin) основан на методологии IDEF0 и предназначен для функционального моделирования и анализа деятельности предприятия. Модель в BPWin представляет собой совокупность SADT-диаграмм, каждая из которых описывает отдельный процесс, разбивая его на шаги и подпроцессы.

Многие моделируемые системы содержат объекты, которые можно сохранять в базе данных и впоследствии извлекать при необходимости. Для этого чаще всего используют реляционные, объектно-ориентированные или гибридные объектно-реляционные базы данных. Пакет AllFusion ERwin Data Modeler 7 (или ERWin) используется при моделировании и создании баз данных произвольной сложности на основе диаграмм «сущность-связь». В настоящее время ERWin является наиболее популярным пакетом моделирования данных благодаря поддержке широкого спектра СУБД. Входным воздействием, вызывающим начало выполнения работы, является наличие компьютерных ресурсов, т. е. персональных компьютеров. Управлением выступают задание и правила работы в системе, на выходе получаем результат тестирования и сопутствующие выводы (рис. 1).

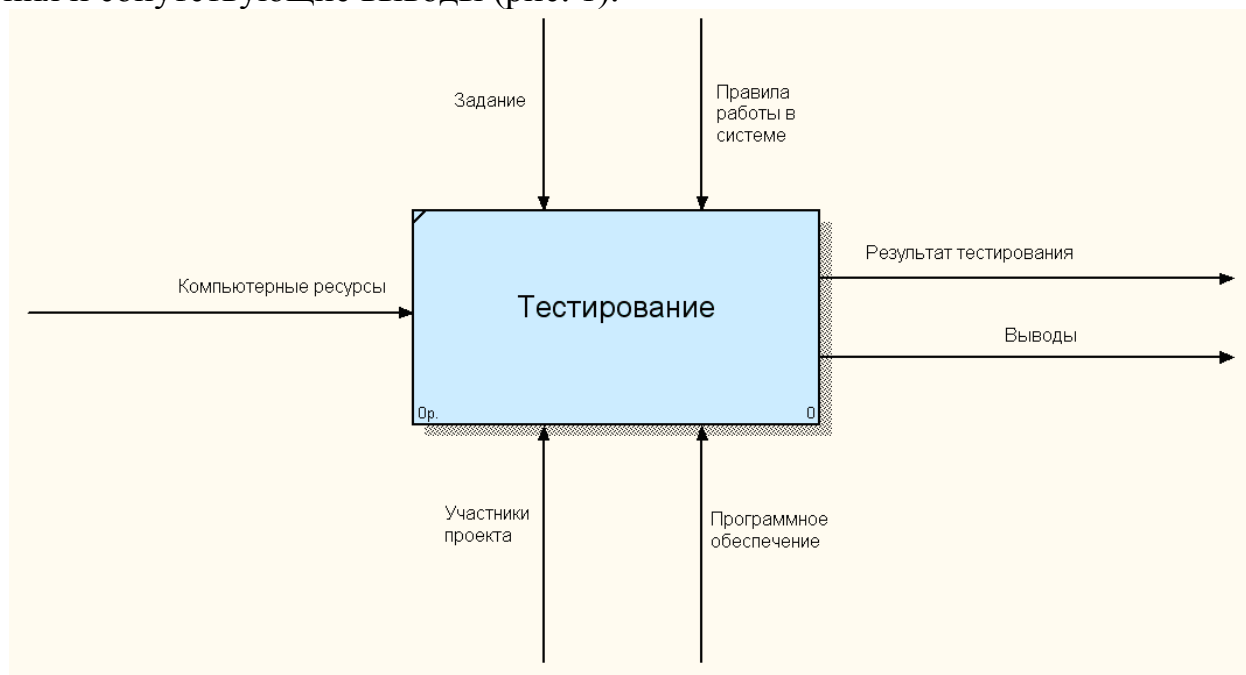


Рис. 1. Функциональная диаграмма верхнего уровня для процесса тестирования

На рис. 2 представлена диаграмма декомпозиции процесса тестирования, выполненная в BWin.

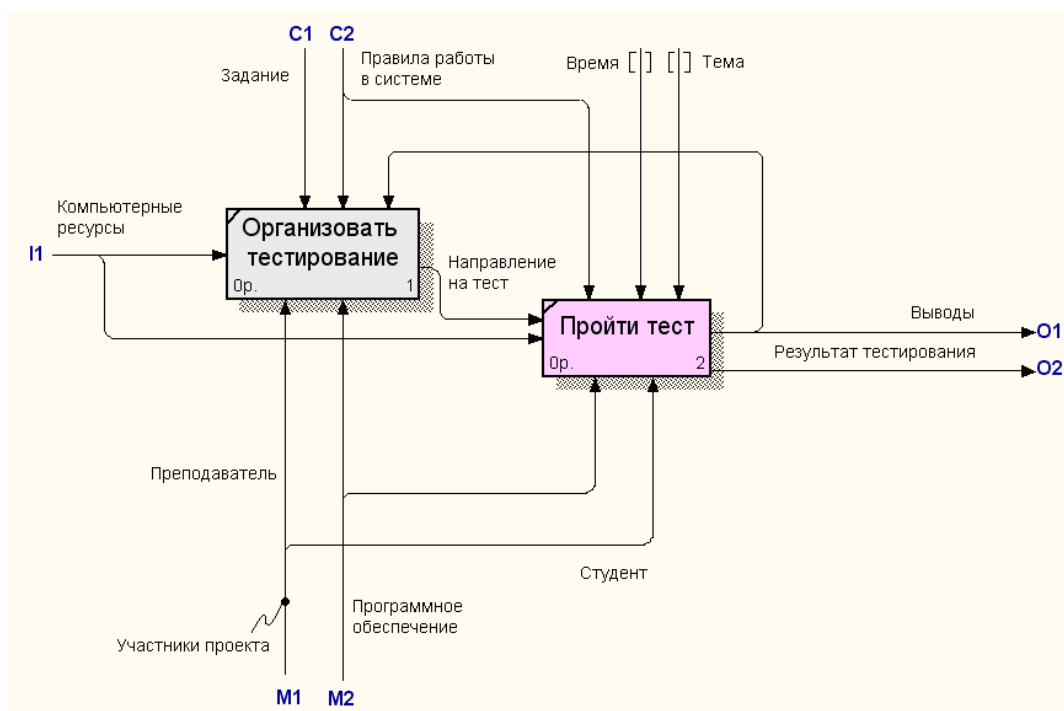


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции процесса тестирования

Диаграмма базы данных, лежащей в основе программы для тестирования, реализована в пакете ERWin и представлена на рис. 3.

Была разработана система клиент-серверного взаимодействия АРМ студента (клиент) с АРМ преподавателя (сервер).

Идея заключается в том, что процесс работы студента с программой контролируется преподавателем или ассистентом: все действия студента передаются на компьютер преподавателя и отображаются в виде лога событий.

Разработанную клиент-серверную систему «TestSystem» можно представить в виде условной схемы (рис. 4).

Сетевое взаимодействие ее частей может осуществляться как через локальную сеть (LAN), так и через глобальную сеть Internet.

Для успешного соединения клиенту (студенту) необходимо иметь выход в соответствующую сеть и знать внешний или внутренний IP-адрес сервера.

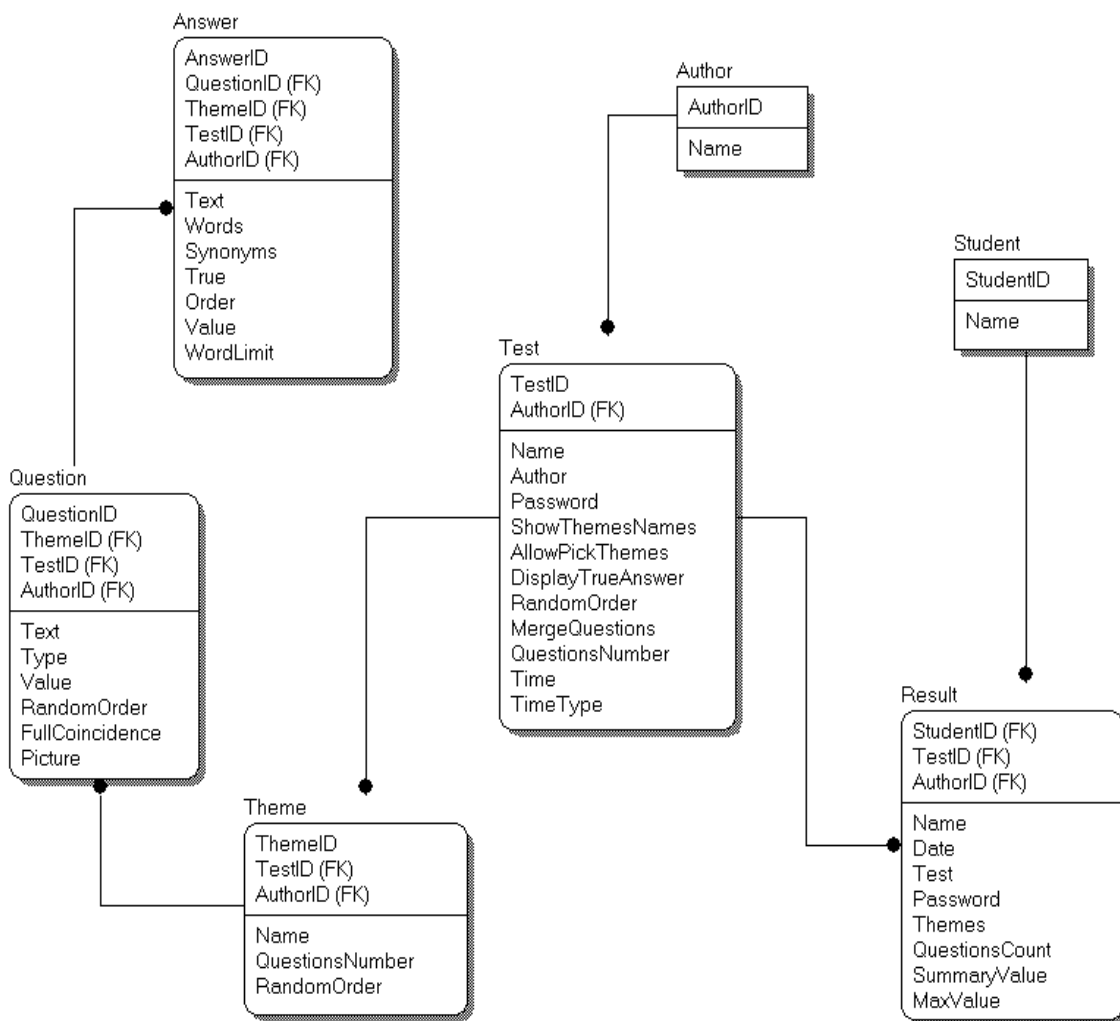


Рис. 3. Логическая схема данных

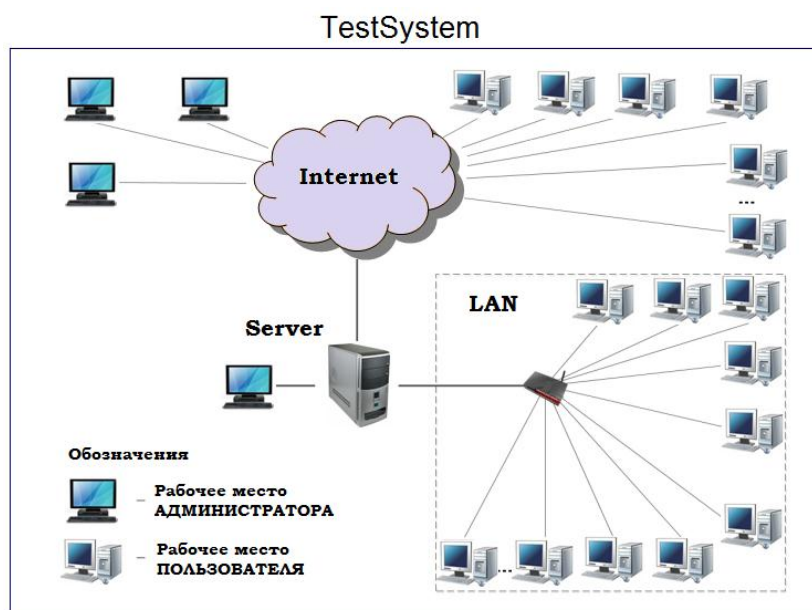


Рис. 4. Схема клиент-серверной системы «TestSystem»

Литература

1. Байнева, И. И. Применение информационно-компьютерных технологий в новых образовательных программах / И. И. Байнева, В. В. Байнев // Учебный эксперимент в образовании : науч.-метод. журн. – 2011. – № 4. – С. 38–42.
2. Байнева, И. И. Автоматизированная система контроля качества знаний в учебном процессе / И. И. Байнева, В. В. Байнев // Учебный эксперимент в образовании : науч.-метод. журн. – 2011. – № 1. – С. 27–31.
3. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. Госстандарт России. – М. : Изд-во стандартов, 2000. – 78 с.
4. Елиферов, В. Г. Бизнес-процессы: регламентация и управление : учебник / В. Г. Елиферов, В. В. Репин. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 319 с.
5. Шеер, А. Бизнес-процессы. Основные понятия, теория, методы / А. Шеер. – М. : АСТ, 2005. – 173 с.
6. Маклаков, С. В. Моделирование бизнес-процессов с BPwin 4.0. / С. В. Маклаков. – М. : АСТ, 2002. – 224 с.

УДК 517

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ КОЛЕБАНИЙ РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

Х. Х. Абушкин

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

В данной статье рассматриваются возможности использования численного эксперимента при изучении колебательных процессов в механических и электрических колебательных системах. Демонстрируются преимущества единого подхода к методике проблемного изучения свободных механических и электромагнитных колебаний.

Ключевые слова и фразы: эксперимент, колебания, проблемное изучение.

Описанию конкретной программы мы предпошлем несколько положений, определяющих специфику и функции учебного моделирования:

1. Компьютерная модель создается на основе содержательного анализа объекта усвоения.
2. Учебное компьютерное моделирование создается для усвоения системы понятий. Целостность этой системы определяется внутренней связью моделирующих ее действий и операций.
3. При компьютерном моделировании отдается предпочтение операциональной форме усвоения понятий.
4. В процессе учебного моделирования учащиеся должны активно воз-

действовать на среду. Однако необходимо помнить, что вопросы задаются не самой природе, а ее модели, свойства и ограничения которой необходимо учитывать в каждом конкретном случае.

На основе этих положений была составлена программа учебного моделирования по теме «Колебания». Универсальность математической модели колебательных процессов обеспечивает возможность применения программы для изучения как механических, так и электрических колебаний. Отмечаемое в психолого-педагогической литературе требование исходно задаваемой полноты предметного содержания изучаемого объекта и полной системы его возможных преобразований реализуется у нас выбором в качестве математической модели не готовых выражений для амплитуд, фаз, формул скорости и ускорения для различных условий колебательного движения, а заданием задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами и правой частью:

$$b_0 x'' + rx' + kx = H_1 \sin \omega t, \quad (1)$$

для решения которой был выбран метод Рунге-Кутты. Воздействие на предметную среду осуществляется выбором коэффициентов b_0 , z , k , H_1 , ω , в результате чего можно получить практически все случаи поведения линейной колебательной системы, изучаемые в школе: свободные гармонические ($r = 0$, $H_1 = 0$), свободные затухающие ($H_1 = 0$), вынужденные колебания (H_1 не равен нулю), явление резонанса.

Результаты компьютерного эксперимента выводятся на экран дисплея в основном в виде графиков и диаграмм, а также чертежей, иллюстрирующих условия эксперимента, таблиц, в которых отражаются отношения между параметрами колебательной системы. Работая с программой, учащийся становится активным исследователем. Работа за терминалом персонального компьютера имитирует работу с физическим прибором, а оперативность и информационная полнота обеспечивают успешность достижения дидактической цели.

Опишем структуру и функциональное взаимодействие основных частей обучающей моделирующей программы.

Центральной частью программы является блок «модель». Здесь реализована численная схема приближенного решения дифференциального уравнения.

Второй блок – «управление» служит задаче организации учебного эксперимента. Он может модифицироваться с изменением дидактической цели. В результате этого программа может обрести черты тренажера или контролирующего комплекса, сохраняя свою основную, моделирующую функцию. Блок «управление» пишется с учетом сценария проведения эксперимента. В программе предусмотрено несколько вариантов блока «управление».

Вспомогательные блоки несут сервисные функции. Это, например, графические программы, мобилизующие внимание; блоки, в которых предусмотрена подача звукового сигнала; блоки «мерцание», внимание, а также –

организация пауз и прерываний.

Возможности современных компьютеров позволяют представить графическую информацию в полиэкранном режиме, значительно усиливающим информационные эффекты эксперимента. Например, изучая гармонические свободные колебания в контуре, учащийся видит на экране синхронное появление графиков трех функций: $q(t)$, $I(t)$, $I'(t)$, что позволяет подвергнуть сравнительному изучению амплитуды, фазы соответствующих функций.

Одновременное и независимое использование средств графического и алфавитно-цифрового дисплеев дает возможность сопровождать графическую информацию поясняющим текстом и сводкой численных результатов эксперимента.

Наконец, в отдельный блок выделена программа «Резонанс», предназначенная для экспериментального исследования данного явления. Программа выдает на дисплей резонансные кривые, соответствующие четырем значениям коэффициента сопротивления.

Работу программы в конкретной учебной ситуации мы продемонстрируем на нескольких фрагментах различного целевого назначения.

Фрагмент 1 – начальный – вхождение в программу.

После запуска программы командой RUN на экране появляется название раздела, после чего пользователю предьявляется меню вариантов:

1. Механическая колебательная система;
2. Электродинамическая колебательная система.

Выбрав предметную среду нажатием клавиш 1 или 2, мы получаем детализированное меню с набором режимов и ситуаций, имеющих место в реальной колебательной системе. После того как режим выбран, происходит очищение экрана и на нем появляется схема выбранной нами колебательной системы (пружинный маятник, колебательный контур) с указанием всех управляющих параметров, которыми исследователь может воздействовать на систему.

Фрагмент 2 – свободные гармонические колебания в механической системе.

Выбрав механическую систему и названный выше режим, мы можем организовать исследовательский, иллюстративный или репрезентативный учебный эксперимент. Здесь следует подчеркнуть, что машинный эксперимент не претендует на исключительное место универсального метода формирования понятия; его роль в каждом отдельном случае определяется педагогом, ставящим компьютерное моделирование в ряд с другими, не менее важными методами и средствами – физическим экспериментом, теоретическим исследованием и т. д.

Так, например, в создании проблемной ситуации учитель может обратиться к реализации физического эксперимента, производственного или вообще жизненного опыта учащихся, а затем для разрешения учебной проблемы воспользоваться результатами машинного эксперимента. Однако не следует умалять эвристическую ценность машинного обучения. Продемонстри-

руем ее при изучении гармонических колебаний. Один из возможных вариантов диалога ученика (У) и машины (М) представим в виде сценария:

(М): введите начальное смещение из промежутка (0.0 – 0.5)

(У): 0.01

(М): задайте начальную скорость из промежутка (0.0 – 0.07)

(У): 0.0

(М): сейчас Вы увидите три графика: $x(t)$, $x'(t)$, $x''(t)$.

Ответьте на вопросы:

1. Чем объясняется разность фаз у функций $x(t)$ и $x'(t)$?

2. Почему $x(t)$ и $x''(t)$ находятся в противофазе?

3. Нажмите клавишу 7.

(У): 7

(М): Сейчас Вы будете задавать иные начальные условия.

Исследуйте вопросы:

1. Как зависит начальная фаза от начальных условий?

2. Зависит ли амплитуда от начальных условий?

3. Зависит ли сдвиг фаз между $x(t)$, $x'(t)$, $x''(t)$ от выбора начальных условий?

4. Что Вы можете сказать о частоте $x(t)$, $x'(t)$, $x''(t)$?

Видим: на этом отрезке программы машина генерирует учебные проблемы, дает материал для наблюдения, корректирует выводы.

Коррекция выводов, статистика ошибок, предъявление следующей порции упражнений осуществляется подпрограммой «Коррекция», входящей в блок «Управление».

Подпрограмма «Гармонические колебания» ставит также вопросы о зависимости частоты колебания от массы колеблющегося тела и жесткости пружины. Наиболее ценной нам представляется ситуация, когда ученик сам формулирует учебную проблему, производит поиск закономерности, а затем проверяет свои выводы на практике. Адекватность машинного решения опытным данным укрепляет уверенность школьника в достоверности машинного моделирования, способствует формированию научного мировоззрения учащихся.

Учебную проблему не обязательно программировать в блоке «Коррекция». Ученик при желании может отказаться от блока «Управление» и испытывать программу в режиме физического прибора, задавая ей вопросы в произвольном порядке.

Фрагмент 3. Свободные колебания в электродинамической колебательной системе.

Выбрав электродинамическую колебательную систему, школьник получает список начальных условий ($r(0)$ и $H(0)$) и параметров (C , L , R), управляя которыми, он может воздействовать на систему. Выбор режима «свободные колебания» обуславливает равенство нулю коэффициента H_i – амплитуды вынужденных колебаний.

На основе изложенного в качестве примера рассмотрим методику изу-

чения темы «Электромагнитные колебания», которая относится к числу обобщающих тем школьного курса физики. В качестве средств активизации мы используем демонстрационный физический (натурный) и численный эксперименты.

В первой теме «Свободные электромагнитные колебания в контуре» раскрывается содержание понятий: электрические колебания, колебательный контур, энергетические превращения в контуре, свободные гармонические и затухающие колебания. Их изучение начинается с актуализации знаний о механических колебаниях: колебательное движение, основные типы колебаний, гармонические колебания, условия их протекания. Далее сообщается, что колебательные процессы могут протекать не только в механических, но и в электрических системах. В данном случае они называются электромагнитными колебаниями.

Конкретным примером электрической системы является обычная электрическая цепь, о которой говорилось при изучении основ электродинамики. В любой электрической цепи выделяют источник и потребители энергии. В общем случае все потребители разделяются на: активные, индуктивные и емкостные. Содержание, которое вкладывается в название элементов электрической цепи, учащимся уже известно. В последующих темах указанное содержание конкретизируется и дополняется.

Известно, что свободные механические колебания не могут существовать в любой динамической системе. В связи с этим возникает вопрос: относится ли сказанное к электрическим системам, то есть в любой ли электрической цепи могут возникать свободные колебания? Дать однозначный ответ на вопрос учащиеся не могут – возникает проблемная ситуация.

Имея знания об условиях протекания свободных колебаний в механических системах, они утверждают, что свободные электрические колебания могут существовать не в любой цепи. В таком случае возникает другой, трансформированный от первого, вопрос: какие потребители должна содержать электрическая цепь, чтобы в ней могли протекать свободные электромагнитные колебания? Именно данный вопрос составляет содержание учебной проблемы, которая решается на основе коллективного учебно-исследовательского эксперимента.

Сначала рассматривается случай: цепь содержит два вида потребителей электрической энергии. На демонстрационном столе собирается цепь, состоящая из последовательно соединенных конденсатора, реостата и гальванометра, который выполняет роль индикатора. Через однополюсную переключатель эта цепь может переключаться к источнику постоянного ЭДС.

На основе двух-трех демонстраций учащихся убеждают, что в рассматриваемом случае свободные колебания не возникают. Здесь же выясняется роль конденсатора как элемента электрической цепи, в котором аккумулируется первоначальная энергия колебательной системы.

Далее внимание класса обращается на экран дисплея. Задавая соответствующие параметры для рассматриваемой электрической цепи, учащиеся

имеют возможность наблюдать график изменения тока в цепи с течением времени.

Сопоставляя результаты натурального и численного эксперимента, делается вывод: в электрической цепи, содержащей конденсатор и активное сопротивление, колебание значений электрического тока не наблюдается. Следует сказать, что при изучении данной и последующих тем курса наряду с натурным физическим экспериментом будет использоваться машинный (численный) эксперимент, который будет подтверждать (иногда и дополнять) физический эксперимент. Все это будет способствовать более глубокому и всестороннему изучению физических явлений и законов.

На втором этапе демонстрация проводится в цепи, содержащей конденсатор и катушку индуктивности. В этом случае стрелка гальванометра, прежде чем остановиться, совершает несколько колебаний около нулевого деления. Наиболее отчетливо колебательный характер разряда в данной схеме наблюдается на экране дисплея, поскольку в программу можно заложить очень маленькое (при необходимости – нулевое) значение активного сопротивления.

На основе анализа результатов экспериментов делается вывод: поскольку гальванометр позволяет фиксировать не только значение, но и направление тока, то колебание стрелки при разряде конденсатора через катушку индуктивности говорит о том, что значение и направление тока в цепи неоднократно меняются – колебания стрелки позволяют судить о колебаниях значения тока.

Во всех рассмотренных случаях причиной направленного движения свободных зарядов является разность потенциалов между обкладками конденсатора. Следовательно, изменения направления тока означают неоднократные изменения направления электрического поля в цепи, то есть повторяющиеся процессы перезарядки конденсатора. Иными словами, колебательный характер изменения тока наблюдается в цепи, содержащей конденсатор и катушку индуктивности.

На следующем этапе ставится задача объяснения процессов в колебательном контуре. Прежде всего, дается ответ на вопрос: почему разряд конденсатора именно через катушку индуктивности носит колебательный характер? Возникает проблемная ситуация. На основе анализа последней формулируется учебная проблема: каким образом индуктивность влияет на протекание процесса разрядки конденсатора?

В поисковой беседе устанавливаем: при замыкании заряженного конденсатора на катушку ток начинает увеличиваться, что ведет к изменению магнитного потока, пронизывающего витки катушки, и возникновению ЭДС самоиндукции. Однако направление возникшей дополнительной ЭДС имеет противоположное основному полю направление (правило Ленца) и поэтому своего максимального значения ток достигает постепенно.

Вопрос классу: чему равен заряд на обкладке конденсатора в момент максимального тока в катушке? Ответ на поставленный вопрос дает машина.

На экран дисплея выводятся графики изменения значений тока и заряда конденсатора с течением времени. Возможность одновременного сравнения графиков позволяет сделать вывод: в момент наибольшего тока в катушке значение заряда на конденсаторе равно нулю.

Снова проводим физический эксперимент. При этом обращаем внимание на вторую четверть периода, когда стрелка гальванометра, достигнув максимального отклонения, начинает возвращаться к нулю. Говорим, что в данном случае происходит изменение (уменьшение) значения тока при неизменном его направлении.

В подтверждение сказанного на экран выводится часть графика в первой и во второй четверти периода. При этом процесс вычерчивания графика следует остановить, не доводя его до нулевого значения тока. Обращаем внимание на то, что значение тока убывает постепенно (это наблюдается и по движению стрелки, и на экране). Объяснение данному явлению дают учащиеся: так как ток, достигнув наибольшего значения, начинает уменьшаться, в катушке возникает ЭДС такого направления, что она будет некоторое время поддерживать уменьшающийся ток.

Вопрос классу: какие изменения происходят в конденсаторе в течение второй четверти периода?

Физический эксперимент не позволяет ответить на этот вопрос. Однако на экран можно вывести график изменения со временем значения заряда на конденсаторе. Параллельно на экране вычерчивается график изменения тока со временем и показывается, что в момент достижения нулевого значения тока заканчивается процесс перезарядки конденсатора.

Далее включается электрическая цепь и повторяется опыт. При этом обращается внимание учащихся на третью четверть периода, когда стрелка гальванометра, пройдя нуль, начинает отклоняться в другую сторону, указывая на изменение направления тока. После на экран выводится изменение значения тока в третьей четверти периода (до максимума модуля тока). Проводится сравнительный анализ процесса с первой четвертью периода и дается аналогичное объяснение.

На этой основе продолжается наблюдение за процессом в конце третьей и полностью в четвертой части периода. Далее на экран выводится график заключительного этапа перезарядки конденсатора (до момента, когда значение тока на графике дойдет до нуля).

Сравнивая графики на экране в конце четвертой части периода и в начале процесса, приходим к выводу, что в дальнейшем процесс повторится. Переход системы в исходное состояние означает завершение полного периода превращений в контуре.

На экран дисплея выводится график изменения тока со временем не по частям, а целиком за 2-3 периода.

Резюмируя результаты проведенных экспериментов, приходим к выводу: индуктивность при протекании процесса разрядки конденсатора не позволяет току мгновенно возрасти и убывать до экстремальных значений.

Поэтому в цепи, содержащей заряженный конденсатор и индуктивность, возникают колебания значений электрического заряда, тока и других характеристик электрической цепи. Колебания в данном случае называются свободными.

На следующем этапе изучения темы раскрывается содержание тех понятий, которые используются для описания процессов в контуре.

При рассмотрении колебательного процесса с самого начала в качестве изменяющейся величины мы использовали ток, так как именно его значение показывал индикатор. Поскольку электрический ток представляет собой направленное движение свободных зарядов и показывает скорость изменения значения заряда, можно утверждать, что колебательный характер изменения значения тока в цепи вызывается соответствующим изменением свободного заряда на обкладках конденсатора (это утверждение в дальнейшем получает математическое подтверждение).

Изменение заряда на обкладках конденсатора обусловлено изменяющейся со временем разностью потенциалов между обкладками конденсатора ($q = U C$). Кроме того, колебательный характер изменения значения тока в цепи ведет к соответствующему изменению индукции магнитного поля в катушке. Другими словами, при разряде конденсатора через катушку индуктивности колеблются значения как электрических, так и магнитных характеристик. Описанные изменения обусловлены соответствующими изменениями характеристик электрического и магнитного поля. На этой основе формулируются некоторые определения:

1. Повторяющиеся изменения напряженности электрического поля и индукции магнитного поля в электрических цепях называют электромагнитными колебаниями.

2. Если электромагнитные колебания происходят за счет первоначального запаса энергии, сообщенного контуру, они называются свободными (собственными).

3. Электрическая цепь, в которой возможны электромагнитные колебания, называется колебательным контуром. Основными элементами идеального колебательного контура, как было установлено на опыте, являются конденсатор и катушка индуктивности.

После описанного выше качественного рассмотрения процессов в колебательном контуре ставится и решается задача установления количественных закономерностей протекания процессов. С этой целью сначала анализируются энергетические превращения в контуре.

Если в начальный момент времени колебательному контуру энергия сообщена в виде энергии электрического поля, то ее значение:

$$E = E_{\text{э}} = q_m^2 / 2C. \quad (2)$$

Поскольку значение тока достигает максимума в момент, когда свободный заряд конденсатора равен нулю, то энергия контура в этот момент:

$$E = E_0 = LI_m^2/2. \quad (3)$$

Для произвольного момента времени:

$$E = q^2/2C + Li^2/2, \quad (4)$$

где q и i – мгновенные значения заряда и тока.

Учитывая, что левая часть равенства (4) с течением времени не изменяется, можно сказать: данное равенство представляет собой математическую запись закона сохранения и превращения энергии для колебательного контура.

Формула (4) является исходной для получения уравнения, описывающего процессы в колебательном контуре. Для этого продифференцируем его по времени и учтем, что производная от постоянной величины равна нулю:

$$E' = (q^2/2C + Li^2/2)' = 0, \quad (5a)$$

или

$$(Li^2/2)' = -(q^2/2C)'. \quad (5)$$

Учащимся объясняется физический смысл полученного равенства: скорость изменения энергии магнитного поля в колебательном контуре равна по значению и противоположна по направлению скорости изменения энергии электрического поля. Таким образом, в колебательном контуре энергия потенциального электрического поля периодически переходит в энергию вихревого магнитного поля и наоборот.

Вычисляя производные от обеих частей последнего равенства и учитывая, что $i = q'$ и $i' = q''$, получим:

$$q'' + q/LC = 0. \quad (6)$$

Это есть дифференциальное уравнение, описывающее процессы в идеальном колебательном контуре. Из него следует: скорость изменения тока в контуре пропорциональна взятому с обратным знаком заряду конденсатора в данный момент.

Используя знания учащихся из теории механических колебаний, делаем вывод: в колебательном контуре значение заряда с течением времени изменяется по гармоническому закону:

$$q = q_m \cos \sqrt{1/LC} * t. \quad (7)$$

где q – мгновенные значения заряда.

Так как величины L и C – параметры колебательной системы, то можно ввести обозначение $\omega_0^2 = 1/LC$ и переписать уравнение в виде:

$$q = q_m \cos(\omega_0 t). \quad (8)$$

Поскольку в нашей системе изменение тока связано с изменением заряда на конденсаторе, то, учитывая зависимость между этими величинами,

получим:

$$i = -\omega_0 q_m \sin(\omega_0 t). \quad (9)$$

где i – мгновенное значение тока.

Протекание процессов в контуре связано не только со скоростью изменения заряда – током, но и скоростью изменения значения тока:

$$i' = -q_m \omega_0^2 \cos(\omega_0 t). \quad (10)$$

Приходим к выводу: изменение значений физических величин в колебательном контуре происходит по гармоническому закону. Обращаем внимание учащихся на экран дисплея: машина вычерчивает графики $q(t)$, $i(t)$, $i'(t)$ с имеющимися между ними сдвигами фаз. В данном случае ЭВМ выдает в динамике на одном экране графики процессов, происходящих в контуре, и служит тем самым обычным средством наглядности полученных на уроке закономерностей.

На следующем этапе переходим к сравнительному анализу свободных механических и электромагнитных колебаний.

Вспоминаем, что свободные механические колебания происходят по гармоническому закону при отсутствии силы трения. Следовательно, электрическая цепь, состоящая только из конденсатора и индуктивности, аналогична математическому и пружинному маятникам в том смысле, что изменение величин, характеризующих колебательную систему в каждом случае, подчиняется одинаковым количественным законам. Поскольку математический и пружинный маятники – идеальные объекты, то электрическую цепь, состоящую только из конденсатора и катушки индуктивности, можно назвать идеальным колебательным контуром. В такой системе отсутствует активное сопротивление.

Сравнивая временную развертку процессов, получаемых с помощью ЭВМ, с колебаниями стрелки гальванометра, включенного в цепь колебательного контура, делаем вывод: в реальном контуре гармоничность процессов не наблюдается, что связано с отсутствием возможности устранить активное сопротивление в контуре.

Учащиеся подводятся к обоснованию преимуществ численного эксперимента по сравнению с натурным физическим. Следует сразу же оговорить, что ЭВМ не является устройством, которое может воспроизводить только идеальные случаи протекания физических процессов. Напротив, численный эксперимент дает возможность «заглянуть» и выявить такие закономерности протекания процессов, которые в натурном физическом эксперименте часто выявить невозможно. Иными словами, с помощью ЭВМ можно «ставить» любой физический эксперимент и на экране дисплея наблюдать его результаты.

Выпускники средней школы должны иметь четкую систему обобщенных знаний по всем разделам физики, в том числе по теории колебаний. Однако программы по предмету не всегда нацеливают учителя на решение этой важнейшей задачи. Существующие программы не предусматривают изуче-

ние такого нужного, на наш взгляд, вопроса, как «Аналогия между механическими и электромагнитными колебаниями», который, кроме методологического, имеет эвристическое и методическое значение. В чем конкретно нам видится проблема?

Во-первых, учитывая уровень математической подготовки учащихся, программа предусматривает изучение механических колебаний на качественном уровне (это относится и к кинематике, и к динамике процессов). Как следствие, не дается гармонический закон изменения скорости и ускорения со временем, значит, не говорится и о сдвиге фаз между соответствующими кинематическими величинами. Однако аналогичные вопросы применительно к электромагнитным колебаниям изучаются достаточно подробно. Все это никак не способствует выработке у учащихся убеждений о единстве окружающего мира.

Исходя из изложенного, можно предложить следующую методику раскрытия названных выше вопросов.

Опираясь на физический эксперимент по изучению колебаний нитяного и пружинного маятников, в машину поочередно вводим параметры для математического и пружинного маятников. Для каждой колебательной системы на экране дисплея наблюдаем по три графика: смещения, скорости и ускорения. Сравнивая результаты опытов, приходим к выводу: при колебаниях математического и пружинного маятников по гармоническому закону меняются не только смещения, но скорости и ускорения с соответствующими сдвигами фаз.

Затем аналогичные эксперименты проводим с колебательным контуром. На основании сравнения полученных результатов делаем обобщающий вывод: колебания в механических и электромагнитных системах подчиняются одинаковым количественным закономерностям. Важно только, чтобы системы находились в аналогичных условиях.

Под термином «аналогичные условия» в данном случае имеется в виду следующее: в механических и электромагнитных системах колебания совершаются за счет первоначального запаса энергии самой системы и силы сопротивления в системах отсутствуют. Если названные условия соблюдены, то из выражения «что колеблется и как колеблется» можно снять первую и оставить только вторую часть. Иными словами, на основе изучения процессов в механических колебательных системах появляется возможность обобщать результаты на электромагнитные системы и наоборот. В этом суть эвристического и методического значения сформулированного вывода. Изложенным подходом мы пользуемся не только при изучении свободных гармонических, но и других типов колебаний.

После сравнения процессов в различных колебательных системах возникает вопрос: почему колебания в идеализированных механических и электромагнитных колебательных системах подчиняются гармоническому закону, несмотря на то, что между ними имеется глубокое физическое различие?

В поисковой беседе с учащимися устанавливаем, что сила, возвраща-

ющая маятник к положению равновесия, есть тангенциальная составляющая силы тяжести; в случае пружинного маятника возвращающей силой является упругая сила деформированной пружины; в колебательном контуре роль «возвращающей силы» играет разность потенциалов между обкладками конденсатора.

Сходство между указанными величинами состоит в том (и только в том), что каждая из них пропорциональна отклонению системы от положения равновесия. Для колебательного контура состоянию равновесия соответствует отсутствие свободного заряда на обкладках конденсатора и, следовательно, в данном случае «возвращающая сила» пропорциональна заряду на обкладках конденсатора.

Проводя аналогию между механическими и электромагнитными колебаниями, следует указать учащимся на то, что сами гармонические функции синус и косинус характеризуются частотой. Частота для каждой колебательной системы определяется параметрами данной системы. В подтверждение сказанного записываем формулы для циклических частот колебаний математического, пружинного маятников и колебательного контура:

$$\omega_0 = \sqrt{g/l}; \quad \omega_0 = \sqrt{k/m}; \quad \omega_0 = \sqrt{1/LC}.$$

Как следует из записанных формул, величина g для математического является аналогом жесткости k пружинного маятника, а в колебательном контуре им соответствует величина, обратная емкости $1/C$. Аналогом массы m пружинного маятника в математическом маятнике является его длина l , а в колебательном контуре – индуктивность L . Именно индуктивность катушки влияет на любые изменения заряда в контуре. Благодаря индуктивности система «перескакивает» положение равновесия. Сами физические величины: $k, g, 1/C; m, l, L$ – совершенно различны по своей физической природе.

Проведение описанной аналогии позволяет учащимся получить формулу для периода собственных колебаний в колебательном контуре.

Записывается формула связи между периодом и циклической частотой колебаний. Подставив в эту формулу значение циклической частоты, выраженное через параметры колебательного контура, получим формулу Томсона:

$$T = 2\pi / \omega_0 = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Заключительным этапом сравнения колебательных процессов в механических и электромагнитных колебательных системах является таблица 1, которая выводится на экран дисплея.

Таблица 1

Сравнительные характеристики различных колебательных систем

Механические величины		Электрические величины
Пружинный маятник	Математический маятник	Колебательный контур
Координата	Координата	Заряд
Скорость	Скорость	Сила тока
Ускорение	Ускорение	Скорость изменения заряда
Масса	Длина маятника	Индуктивность
Жесткость	Ускорение свободного падения	Обратная величина емкости
Возвращающая сила	Возвращающая сила	Разность потенциалов
Потенциальная энергия	Потенциальная энергия	Энергия электрического поля
Кинетическая энергия	Кинетическая энергия	Энергия магнитного поля

Описанный вариант методики изучения электромагнитных колебаний показывает, что использование современных ЭВМ в преподавании физики позволяет эффективнее организовать процесс учебного познания школьников на высоком уровне проблемности.

УДК 681.3

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Г. И. Шабанов, В. Г. Шабанова

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

Рассмотрен алгоритм математического преобразования фазовых переменных напряжения в осях $d, q, 0$. Получены частотные коэффициенты, формирующие формулу вычисления коэффициента искажения синусоидальности напряжения. Представленные выражения необходимы при проектировании автономных (судовых, самолётных, автомобильных) электроэнергетических систем, а также на этапах имитационного моделирования в учебно-исследовательских лабораториях.

Ключевые слова и фразы: математическое моделирование автономных энергосистем, коэффициенты Фурье, преобразования Парка, коэффициент искажения синусоидальности фазовых переменных.

При выполнении студентами учебно-исследовательских работ по моделированию энергетических устройств возникает проблема расчета коэффици-

циента искажения синусоидальности напряжения через спектры фазовых переменных в динамических (вращающихся) координатах.

В технических расчетах данный показатель K_{uc} принято рассчитывать отношением квадратного корня из суммы квадратов действующих значений высших гармонических составляющих данной периодической кривой к действующему значению ее основной (первой) гармонической составляющей. Рассмотрим возможность определения K_{uc} в динамических осях $d, q, 0$ [1].

Пусть U_d, U_q, U_0 – значения напряжения в координатах $d, q, 0$. Тогда, согласно преобразованиям Парка, напряжения в фазах a, b и c представляются выражениями:

$$U_a = U_d \cdot \cos \gamma - U_q \cdot \sin \gamma + U_0;$$

$$U_b = U_d \cdot \cos (\gamma - 2\pi/3) - U_q \cdot \sin (\gamma - 2\pi/3) + U_0;$$

$$U_c = U_d \cdot \cos (\gamma + 2\pi/3) - U_q \cdot \sin (\gamma + 2\pi/3) + U_0.$$

Разложим U_d, U_q, U_0 в ряд Фурье:

$$U_d = (A_0^d / 2) + \sum_{v=1}^{\infty} (A_v^d \cos v t + B_v^d \sin v t);$$

$$U_q = (A_0^q / 2) + \sum_{v=1}^{\infty} (A_v^q \cos v t + B_v^q \sin v t);$$

$$U_0 = (A_0^0 / 2) + \sum_{v=1}^{\infty} (A_v^0 \cos v t + B_v^0 \sin v t).$$

После преобразований эти выражения будут иметь вид:

$$U_a = 1/2 \cdot (A_0^d \cos \gamma - A_0^d \sin \gamma + A_0^0) + \sum_{v=1}^{\infty} [(A_v^q \cos \gamma - A_v^q \sin \gamma + A_v^0) \cdot \cos v t + (B_v^d \cos \gamma - B_v^q \sin \gamma + B_v^0) \sin v t].$$

$$U_b = 1/2 [(A_0^d \cos(\gamma - 2\pi/3) - A_0^d \sin(\gamma - 2\pi/3) + A_0^0) + \sum_{v=1}^{\infty} \{[(A_v^d \cos(\gamma - 2\pi/3) - A_v^q \sin(\gamma - 2\pi/3) + A_v^0)] \cos v t + [B_v^d (\cos \gamma - 2\pi/3) - B_v^q \sin(\gamma - 2\pi/3) + B_v^0] \sin v t \};$$

$$U_c = 1/2 \cdot [(A_0^d \cos(\gamma + 2\pi/3) - A_0^d \sin(\gamma + 2\pi/3) + A_0^0) + \sum_{v=1}^{\infty} \{[(A_v^d \cos(\gamma + 2\pi/3) - A_v^q \sin(\gamma + 2\pi/3) + A_v^0)] \cdot \cos v t + [B_v^d (\cos \gamma + 2\pi/3) - B_v^q \sin(\gamma + 2\pi/3) + B_v^0] \cdot \sin v t \}.$$

Разложим в ряд Фурье непосредственно U_a, U_b, U_c .

Тогда получим:

$$U_a = (R_0^a / 2) + \sum_{v=1}^{\infty} (R_v^a \cos v t + Q_v^a \sin v t);$$

$$U_b = (R_0^b / 2) + \sum_{v=1}^{\infty} (R_v^b \cos v t + Q_v^b \sin v t);$$

$$U_c = (R_0^c / 2) + \sum_{v=1}^{\infty} (R_v^c \cos v t + Q_v^c \sin v t).$$

Сравнивая коэффициенты Фурье A , B и R , Q , получим:

$$R_0^a = A_0^d \cos \gamma - A_0^q \sin \gamma + A_0^0;$$

$$R_0^b = A_0^d \cos(\gamma - 2\pi/3) - A_0^q \sin(\gamma - 2\pi/3) + A_0^0;$$

$$R_0^c = A_0^d \cos(\gamma + 2\pi/3) - A_0^q \sin(\gamma + 2\pi/3);$$

$$R_v^a = A_v^d \cos \gamma - A_v^q \sin \gamma + A_v^0;$$

$$R_v^b = A_v^d \cos(\gamma - 2\pi/3) - A_v^q \sin(\gamma - 2\pi/3) + A_v^0;$$

$$R_v^c = A_v^d \cos(\gamma + 2\pi/3) - A_v^q \sin(\gamma + 2\pi/3) + A_v^0;$$

$$Q_v^a = B_v^d \cos \gamma - B_v^q \sin \gamma + B_v^0;$$

$$Q_v^b = B_v^d \cos(\gamma - 2\pi/3) - B_v^q \sin(\gamma - 2\pi/3) + B_v^0;$$

$$Q_v^c = B_v^d \cos(\gamma + 2\pi/3) - B_v^q \sin(\gamma + 2\pi/3) + B_v^0.$$

Получив выражения для нахождения коэффициентов Фурье, можно записать значения напряжения в каждой отдельной фазе через динамические координаты следующим образом:

$$U_a = \sqrt{\sum_{v=1}^{\infty} [(R_v^a)^2 + (Q_v^a)^2]} =$$

$$\sqrt{\sum_{v=1}^{\infty} [(AU_v^d \cdot \cos \gamma - AU_v^q \cdot \sin \gamma + AU_v^0)^2 + (BU_v^d \cdot \cos \gamma - BU_v^q \cdot \sin \gamma + BU_v^0)^2]}$$

$$= U^d \cdot \cos \gamma - U^q \cdot \sin \gamma + U_0.$$

Для удобства записи обозначим выражение $\cos(\gamma - 2\pi/3)$ — через X_1 , а $\sin(\gamma - 2\pi/3)$ — через Y_1 .

Тогда:

$$U_b = \sqrt{\sum_{v=1}^{\infty} [(R_v^b)^2 + (Q_v^b)^2]} =$$

$$\sqrt{\sum_{v=1}^{\infty} [(AU_v^d \cdot X_1 - AU_v^q \cdot Y_1 + AU_v^0)^2 + (BU_v^d \cdot X_1 - BU_v^q \cdot Y_1 + BU_v^0)^2]} =$$

$$U^d \cdot \cos(\gamma - 2\pi/3) - U^q \cdot \sin(\gamma - 2\pi/3) + U_0;$$

Для удобства записи обозначим выражение $\cos(\gamma + 2\pi/3)$ – через X_2 , а $\sin(\gamma + 2\pi/3)$ – через Y_2 .

Тогда:

$$U_c = U_c \sqrt{\sum_{v=1}^{\infty} [(R_v^c)^2 + (Q_v^c)^2]}$$

$$\sqrt{\sum_{v=1}^{\infty} [(AU_v^d \cdot X_2 - AU_v^q \cdot Y_2 + AU_v^0)^2 + (BU_v^d \cdot X_2 - BU_v^q \cdot Y_2 + BU_v^0)^2]}$$

$$U^d \cdot \cos(\gamma + 2\pi/3) - U^q \cdot \sin(\gamma + 2\pi/3) + U_0,$$

где $AU_v^d, AU_v^q, AU_v^0, BU_v^d, BU_v^q, BU_v^0$ – коэффициенты ряда Фурье косинусной и синусной составляющей напряжения, соответственно v -й гармоники в динамических осях $d, q, 0$.

Для тока выполняются аналогичные преобразования.

В результате получаем формулы вычисления коэффициента искажения синусоидальности в фазах a, b и c через спектры напряжений, при представлении элементов систем электроснабжения во вращающихся координатах:

$$K_{исa} = \frac{\sqrt{\sum_{v=1}^{\infty} (U_{a_v}^{dq0})}}{U_{a_1}^{dq0}}; K_{исb} = \frac{\sqrt{\sum_{v=1}^{\infty} (U_{b_v}^{dq0})}}{U_{b_1}^{dq0}}; K_{исc} = \frac{\sqrt{\sum_{v=1}^{\infty} (U_{c_v}^{dq0})}}{U_{c_1}^{dq0}}.$$

При использовании данных расчетных формул студенты, работая в учебно-исследовательских лабораториях, смогут более точно моделировать процессы, возникающие в физических макетах автономных систем электроснабжения [2].

Литература

1. Шабанов, Г. И. Обзор алгоритмов вычисления коэффициента нелинейных искажений в цеховых системах электроснабжения / Г. И. Шабанов // Проблема создания и эксплуатации гибких производственных систем : сб. докл. науч.-техн. конф. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1995. – С. 52–53.
2. Шабанов, Г. И. Программа анализа на ЭВМ качества электрической энергии энергосистем с вентильными преобразователями / Г. И. Шабанов // Проектирование, расчёт и контроль полупроводниковых приборов и преобразовательных устройств : межвед. сб. науч. тр. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1997. – С. 66–70.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВАХ

Т. В. Кормилицына

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

Рассматриваются вопросы организации и проведения моделирования физических процессов различной природы в специализированных программах.

Ключевые слова и фразы: эксперимент, компьютер, моделирование.

Задачей курса физики является формирование у студентов целостного представления о фундаментальных закономерностях, лежащих в основе физической картины мира и способах описания природных процессов и явлений; студенты должны уметь выделять ключевые моменты физических процессов, анализировать характер связей между ними, строить адекватные математические модели. В этой связи необходимо показать модельность физических теорий, познакомить студентов с фундаментальными физическими теориями, их основными понятиями, законами и изучаемыми явлениями, дать представление об общей структуре любой физической теории, указать место и значимость физических и математических моделей теории. Особенно важным представляется научить студентов методам построения физических моделей процессов и явлений, сформировать умения переходить от физической модели к математической модели, анализировать математическую модель, оценивать ее адекватность и границы применимости.

Отметим, что именно через интегрированный процесс «задача – средство – методы – приемы», где физика задает комплекс «задача – методы», а информатика обеспечивает «средство – приемы», реализуется системный подход в образовании. Компьютер заставляет думать «здесь и сейчас», провоцируя немедленность результатов размышлений, учит концентрироваться и делать эвристические выводы, анализируя последствия своих действий.

Остановимся на вопросе решения обыкновенных дифференциальных уравнений в различных разделах курса физики. Такая задача сложна для большого количества студентов: во-первых, в силу сложности и неоднозначности математического описания реального физического процесса, редуцированного к данному обыкновенному дифференциальному уравнению (ОДУ), во-вторых, в силу сложности ручной реализации численных методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений, изучение которых представляет отдельную трудность для студентов-физиков, так как прикладные вопросы в учебной литературе представлены слабо.

Поставленные задачи практически нерешаемы без применения существующих в настоящее время специализированных математических пакетов (MathCAD и Matlab) и стандартных офисных пакетов (Excel). Выбор конкретных программ зависит от акцентов, расставляемых преподавателем или самим студентом при решении обыкновенных дифференциальных уравнений. В случае срочного получения решения предпочтения должны быть отданы пакету MathCAD, имеющему входной язык, максимально приближенный к общепринятой математической нотации. Решение доставляется в табличном виде и может быть проанализировано и использовано в различных целях в зависимости от поставленной задачи.

Приведем пример численного решения известного уравнения Ван-дер-Поля в пакете Matlab:

$$x'' + (x^2 - 1) * x' + x = 0.$$

Согласно алгоритму решения, следует создать текстовый файл М-файл, содержащий описание уравнения в виде:

```
function - yprime = vdpol(t,x);
yprime = [x(1).*(1 - x(2).^2) - x(2),x(1)]
```

Непосредственно в математической среде Matlab создается программа:

```
t0=0;
tfinal=15;
x0=[0,0.25];
[t,x]=ode23('vdpol',t0,tfinal,x0);
plot(x,y),gride
```

Последняя команда обеспечивает непосредственный вывод графика полученных для функции $x(t)$ значений.

Работая в данном режиме, студенты получают возможность не только качественно и последовательно усваивать учебный материал, но, что не менее важно для их дальнейшей профессиональной деятельности, использовать полученные знания как средство самоактуализации и личностного развития, а преподаватель осуществляет дифференцированный подход при оценивании работы студента, оценивая не столько результат, сколько активность и подходы, которые использует обучаемый при выполнении задания.

Если переместить акцент на исследование вычислительной схемы метода для данного типа обыкновенных дифференциальных уравнений, студентам можно предложить таблицу процессора Excel. Иногда целесообразно реализовать последовательно обе возможности решения, что должно быть основой следующих выводов: при решении одной и той же физической задачи могут быть применены различные средства вычислений; при этом адекватность решения зависит не от специфических особенностей математической системы, а диктуется правильным описанием физической модели в виде обыкновенных дифференциальных уравнений.

Перспективным для решения физических задач представляется использование пакета MAPLE. Это профессиональный математический пакет, способный решать большое число задач, встречающихся при моделировании физических процессов. Пакет MAPLE позволяет проводить качественный и количественный аспекты исследования ОДУ, в символьном и численном видах решать некоторые виды дифференциальных уравнений в частных производных.

Решение физических задач средствами MAPLE сокращает трудоемкий процесс математического решения задачи, но сохраняет активность студентов в выборе средств решения. Пакет содержит широкий арсенал орудий символьного решения ОДУ, позволяющих классифицировать ОДУ в рамках хорошего справочника по дифференциальным уравнениям, и самостоятельно выбрать стратегию решения. В справке содержится краткая характеристика ОДУ указанного типа, примеры и некоторые рекомендации. Система MAPLE распознает более сотни типов уравнений.

При невозможности символьного решения уравнений или при получении символьного ответа в очень громоздком виде пакет предоставляет средства приближенного решения уравнений в виде рядов, а также возможность численного решения одним из нескольких методов.

Графическое представление решений дифференциальных уравнений и их систем в значительной степени помогает решать и задачи их качественного поведения. Достаточно удобный графический интерфейс, модульные средства пакета позволяют получать графическое представление решения, минуя этап численного решения дифференциальных уравнений. В случае автономной системы из двух уравнений наряду с собственно графиками кривых выводится также поле направлений, представляющее собой касательные вектора в точках решения системы, изображаемые в виде стрелок.

Использование систем компьютерной математики позволяет значительно упростить вычисления при решении задач, однако более ценным является применение анимационных возможностей таких систем для визуализации реального физического процесса. Достаточно примеров можно найти в [1]. Покажем это на примере решения задач кинематики в системе компьютерной математики Maple 6 (рис. 1).

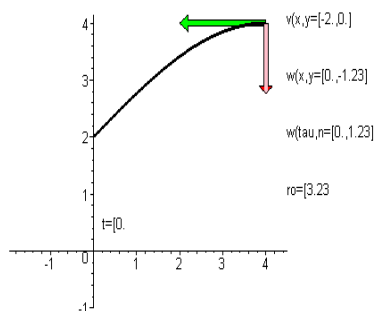


Рис. 1. Начальный кадр анимации при моделировании движения точки с заданными значениями параметров

Можно разработать процедуру, которая строит траекторию точки по заданным уравнениям движения, а также в каждой точке траектории векторы скорости и всех ускорений (общего, касательного и нормального), причем эта процедура будет создавать анимационную картинку, на которой пользователь увидит движущуюся точку с соответствующими векторами.

Эффективно использовать специализированные системы для имитационного моделирования [2].

Так, аттрактор Лоренца был найден в численных экспериментах Лоренца, исследовавшего поведение траекторий нелинейной системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} * \\ x &= \sigma(y - x) \\ * \\ y &= x(r - z) - y \\ * \\ z &= xy - bz \end{aligned}$$

Эта система вначале была введена как первое нетривиальное галёркинское приближение для задачи о конвекции морской воды в плоском слое, чем и мотивировался выбор значений σ , r и b , но она возникает также и в других физических вопросах и моделях: конвекция в замкнутой петле, вращение водяного колеса, модель одномодового лазера, диссипативный осциллятор с инерционной нелинейностью.

Моделирование можно провести с помощью программы, написанной в программе Scilab [3]. Программа состоит из двух основных частей – в первой создается функция пользователя `solv_lor(n)`, описывающая систему дифференциальных уравнений, моделирующих аттрактор Лоренца. Также заданы удобные для графического моделирования значения параметров системы. Здесь n определяет геометрические размеры исследуемой задачи.

Вторая часть листинга содержит вызов созданной функции пользователя `solv_lor(n)`.

Приведем графические иллюстрации результатов моделирования при различных значениях параметра r . Пусть $r=13.927$, получим модель (рис. 2).

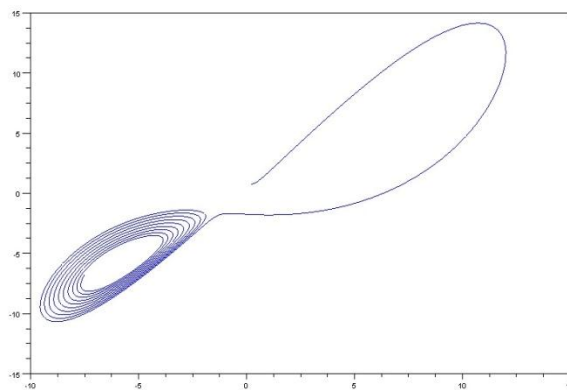


Рис. 2. Траектория аттрактора Лоренца при $r=13,927$

Положим $r \approx 24,06$ – траектории теперь ведут не к устойчивым точкам, а асимптотически приближаются к неустойчивым предельным циклам – возникает собственно аттрактор Лоренца (рис. 3).

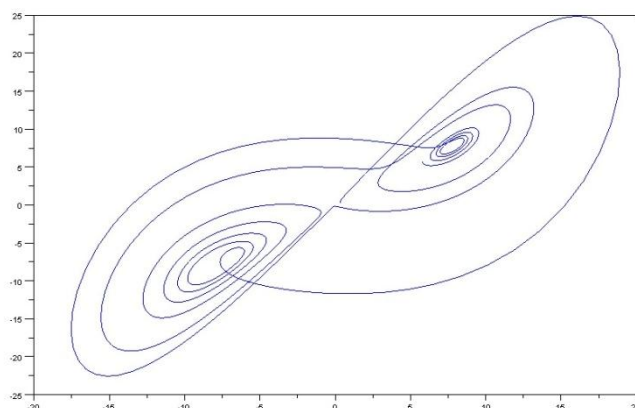


Рис. 3. Траектория аттрактора Лоренца при $r=24,06$

Однако обе устойчивые точки сохраняются вплоть до значений $r \approx 24,74$ (рис. 4).

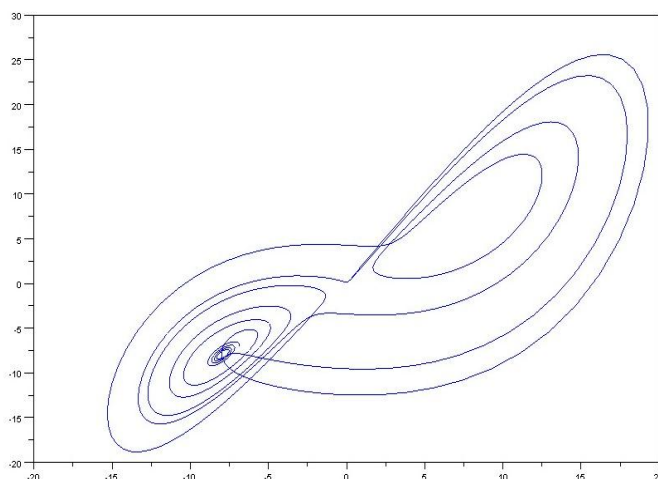


Рис. 4. Траектория аттрактора Лоренца при $r = 24,74$

Аналогично возможно провести 3D моделирование. В программе задается функция пользователя $\text{lorenz}(t,y)$, при работе которой используются численные методы решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Там же задается геометрия задачи. При построении используются оформительские функции и процедуры для подписей осей, их масштабирования и записи решаемой системы дифференциальных уравнений с конкретными исследуемыми в данном эксперименте параметрами (рис. 5).

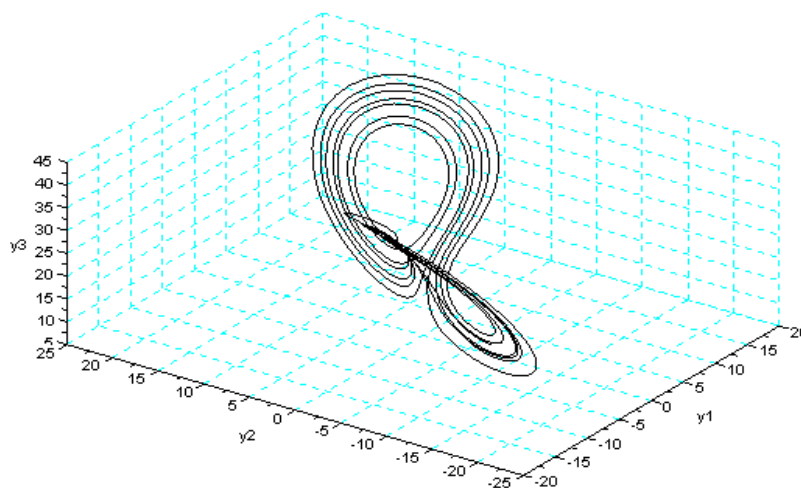


Рис. 5. Траектория аттрактора Лоренца при $r=28$ в модели 3D

Успешное применение математических пакетов зависит в первую очередь от правильного выбора модели соответствующей физической задачи. Специализированные системы при исследовании выполняют роль экспериментальной базы, позволяют осуществлять корректировку начальных условий модели, подсказывают направления улучшения модели.

Литература

1. Дьяконов, В. П. Maple 8 в математике, физике и образовании / В. П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс. – 2003. – 656 с.
2. Кормилицына, Т. В. Вычислительный эксперимент и компьютерные модели в свободном программном обеспечении / Т. В. Кормилицына // Учебный эксперимент в образовании: научно-метод. журн. под ред. проф. В. К. Свешникова. – 2010. – № 1. – С. 18–22.
3. 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.

ABSTRACTS

THE SEARCH FOR NEW RATIONALITY IN SCIENCE

G. G. Zeynalov

Abstract. In the article is opened features of new postneclassic of rationality.

Key words and phrases: Rationality, methodology, global evolution, self-organizing, a antrop principle.

SOURCES OF ALKALI METAL IONS

V. K. Sveshnikov, V. G. Vasilchenko

Abstract. An analysis of the known sources of alkali metal ions. The most promising sources are based on surface ionization of atoms diffusing through the emitter.

Key words and phrases: ion, ion source, surface ionization.

MULTIPLEXER FOR OPTICAL ATMOSPHERIC COMMUNICATION SYSTEMS

A. S. Ivantsov

Abstract. The results of physical modeling of the optical part of the atmospheric optical transmission systems. Using this model in the practice of teaching courses "Network connection", "Systems of Networks", have improved the level of residual knowledge of the students enrolled in a degree, "Communication Networks and Switching Systems".

Key words and phrases: multiplexer, demultiplexer, atmospheric optical transmission system, transmitting optoelectronic module, an infrared emitting diode.

DEPENDENCE OF PLASMA PARAMETERS CAPACITIVE HIGH-LOW PRESSURE DISCHARGE ON THE OUTER ELECTRODE ON ITS CHARACTERISTICS

A. A. Zhukov, M. S. Kruglov, V. P. Savinov, V. G. Yakunin

Abstract. In this paper we experimentally studied EVCHR with external electrodes in neon at a pressure of $p = 0,5$ Topp in the frequency range of the rf field (3-13) MHz in the glass discharge tube with a diameter 0.04 m, 0.08 m and a length of 0.15 m .

Key words and phrases: high-frequency discharge, discharge tube.

EXPERIMENTAL STUDY OF PHYSICAL PROPERTIES CAPACITIVE RADIO-FREQUENCY DISCHARGE LOW PRESSURE WITH EXTERNAL ELECTRODES

A. A. Zhukov, A. V. Kovalevsky, M. S. Kruglov, V. P. Savinov, V. G. Yakunin

Abstract. The paper presents the results of a study of current-voltage characteristics of a capacitive RF discharge with external electrodes, depending on the frequency ω rf discharge field and configuration of discharge tubes in comparison with the volt-ampere characteristics of the capacitive RF discharge with internal electrodes in similar tubes.

Key words and phrases: high-frequency discharge, discharge tube.

RECEPTION FOR OPTICAL FREQUENCY MODULATED SIGNALS

B. N. Denisov

Abstract. The paper shows the possibility of overlapping functions in the photoconductive reception and processing of optical signals modulated in intensity, frequency subcarrier optical frequency. The method of heterodyne reception and simultaneous detection of optical signals modulated in phase with the photoresist, supplied with alternating voltage.

Key words and phrases: photoresistor, amplitude modulation, phase modulation, synchronous detection, heterodyne detection of modulated optical signals.

USING SPECTRAL EQUIPMENT EXPERIMENT IN THE CONDUCT OF TRAINING IN PHYSICS

S. G. Kovalev

Abstract. This article discusses features of the development and implementation of the educational process of studying the general physics course set a new school "Spektrometr_01", which enhances the effectiveness of teaching in the study sections "Optics" and "Quantum Physics".

Key words and phrases: optics, educational complex, equipment, and quantum physics.

METHODS OF MEASURING THE LIGHT FLUX BASED ON INTEGRATING SPHERE AND MULTICHANNEL SPECTRORADIOMETER

O. E. Zheleznikova, L. V. Sinitsyna

Abstract. This article describes a new installation based on the integrating sphere OL IS-7600 spectroradiometer OL 770, which allows high-precision measuring not only the luminous flux of light sources and lighting devices, but also a range of light, radiometric and colorimetric characteristics. Using the setup makes it possible to improve the traditional methods in the direction of accuracy, speed, performance and visual presentation of the results of measurements.

Key words and phrases: integrating sphere, spectroradiometer, light output, precision light measurement, the spectral distribution of the radiation diagram of the color.

LABORATORY STAND "DIFFRACTION STUDY OF RADIO WAVES"

V. I. Beglov, V. I. Korolev, D. P. Novikov, I. S. Nesterov

Abstract. The article describes the laboratory bench to study the diffraction of radio waves. Detail the scheme of the stepper motor driver. The stand can be operated in automatic mode, complete with a PC.

Key words and phrases: laboratory stand, radio DJ fraction stepper motor.

CALCULATION AVALANCHE SILICON CARBIDE PN JUNCTION

A. A. Shesterkina

Abstract. The purpose of this paper is the definition of the effective ionization of sharp and smooth at the pn-junction silicon carbide polytype 4H and 6H in a wide range of breakdown voltages (50V-30 kV).

Key words and phrases: ions, ionization, avalanche breakdown.

FEATURES THE DEVELOPMENT OF AUTOMATED WORKPLACE FOR A COMPUTER TESTING

I. I. Bayneva, V. V. Baynev

Abstract. The aspects of informatization of educational activities, the need for the introduction of automation and control workstations in universities. The main tools used to develop a universal testing system «TestSystem».

Key words and phrases: control, test, information.

USE OF NUMERICAL EXPERIMENT THE STUDY OF VIBRATIONS OF A DIFFERENT PHYSICAL NATURE

H. H. Abushkin

Abstract. This article discusses the possibility of using a numerical experiment in the study of oscillatory processes in the mechanical and electrical oscillating systems. Demonstrates the advantages of a unified approach to the study of methods of problem-free mechanical and electromagnet oscillations.

Key words and phrases: experiment, vibration, problematic study.

MATHEMATICAL TRANSFORMATION TO STUDY COMPLEX PHYSICAL AND TECHNICAL PROCESSES

G. I. Shabanov, V. G. Shabanova

Abstract. The algorithm of the mathematical transformation of phase variables in the stress axes $d, q, 0$. The frequency ratios forming the formula for calculation of the coefficient of harmonic distortion voltage. The presented expressions needed for the design of autonomous (ship, aircraft, automobile, etc.) electric power systems, as well as on the stages of simulation in teaching and research laboratories.

Key words and phrases: mathematical modeling of autonomous power systems, the coefficients of the Fourier transform of the Park, the coefficient of harmonic distortion of phase variables.

SIMULATION OF PHYSICAL PROCESSES IN THE SPECIALIZED SOFTWARE

T. V. Kormilitsyna

Abstract. The problems of organizing and conducting simulation of physical processes of different nature in the specialized program max.

Key words and phrases: experiment, computer, simulation.

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

Байнев Виталий Валерьевич

Студент факультета электронной техники, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация

Байнева Ирина Ивановна

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

Беглов Владимир Иванович

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры радиотехники, Институт физики и химии, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация

Васильченко Василий Григорьевич

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

Денисов Борис Николаевич

Доктор физико-математических наук, профессор, Институт физики и химии, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация

Железникова Ольга Евгеньевна

Кандидат технических наук, доцент, декан светотехнического факультета, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация

Жуков Александр Александрович

Кандидат технических наук, доцент кафедры физики, ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный гуманитарный университет», г. Хабаровск, Российская Федерация

Зейналов Гусейн Гардаш оглы

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

Ковалев Сергей Григорьевич

Аспирант кафедры физики и методики ее преподавания Кировоградского государственного педагогического университета имени В. Винниченко, магистр, ведущий специалист кафедры «Материаловедение и литейное производство» Кировоградского национального технического университета, Кировоградский государственный педагогический университет, г. Кировоград, Украина

Ковалевский Владимир Леонидович

Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник кафедры физической электроники физического факультета, ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова», г. Москва, 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

Королев Валерий Иванович

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

Круглов Максим Сергеевич

Ассистент кафедры физики, ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный гуманитарный университет», г. Хабаровск, Российская Федерация

Нестеров Дмитрий Павлович

Студент 3-го курса, Институт физики и химии, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация

Новиков Дмитрий Павлович

Студент 3-го курса, Институт физики и химии, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация

Савинов Владимир Павлович

Доктор физико-математических наук, доцент кафедры физической электроники физического факультета, ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова», г. Москва, Российская Федерация

Свешников Виктор Константинович

Член-кор. 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

Синицына Людмила Васильевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры источников света светотехнического факультета, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация

Шабанов Геннадий Иванович

Профессор кафедры систем автоматизированного проектирования, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация

Шабанова Виктория Геннадьевна

Студентка факультета математики и информационных технологий, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, Российская Федерация

Шестеркина Александра Алексеевна

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

Якунин Валерий Георгиевич

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры физической электроники физического факультета, ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова», г. Москва, Российская Федерация

ОТ РЕДАКЦИИ	3
<hr/>	
Поиски новой рациональности в науке <i>Зейналов Г. Г.</i>	6
Источники ионов щелочных металлов <i>Свешников В. К., Васильченко В. Г.</i>	13
Мультиплексор для атмосферной оптической системы передачи <i>Иванцев А. С.</i>	20
Зависимость параметров плазмы емкостного высокочастотного разряда низкого давления с внешними электродами от его характеристик <i>Жуков А. А., Круглов М. С., Савинов В. П., Якунин В. Г.</i>	25
Физические свойства емкостного высокочастотного разряда низкого давления <i>Жуков А. А., Ковалевский В. Л., Круглов М. С., Савинов В. П., Якунин В. Г.</i>	29
Прием модулированных по оптической частоте сигналов <i>Денисов Б. Н.</i>	34
Использование спектрального оборудования при проведении обучающего эксперимента по физике <i>Ковалев С. Г.</i>	42
Способы измерения светового потока на основе интегрирующей сферы и многоканального спектрометра <i>Железникова О. Е., Синецкина Л. В.</i>	50
Лабораторный стенд «Изучение дифракции радиоволн» <i>Беглов В. И., Королев В. И., Новиков Д. П., Нестеров И. С.</i>	55
Расчет параметров лавинного пробоя карбидкремниевых р-п переходов <i>Шестеркина А. А.</i>	62

Особенности разработки автоматизированного рабочего места для компьютерного тестирования <i>Байнева И. И., Байнев В. В.</i>	63
Использование численного эксперимента при изучении колебаний различной физической природы <i>Абушкин Х. Х.</i>	68
Математические преобразования для исследования сложных физико-технических процессов <i>Шабанов Г. И., Шабанова В. Г.</i>	80
Моделирование физических процессов в специализированных программных средствах <i>Кормилицына Т. В.</i>	84
<hr/>	
ABSTRACTS	90
<hr/>	
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	93

Подписано в печать 15.06.2012 г.
Формат 70x100 1/16. Печать ризография.
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 11,7.
Тираж 160 экз. Заказ № .

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

**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