

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**



ПОБЕДИТЕЛЬ КОНКУРСА ИННОВАЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ВУЗОВ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

ноябрь–декабрь 2009

№ 6 (64)



ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

д.т.н., профессор В.О. Никифоров

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.т.н., профессор А.А. Бобцов, д.т.н. А.В. Бухановский,
д.т.н., профессор В.А. Валетов, д.ф.-м.н., ст.н.с. Т.А. Вартамян,
д.т.н. М.А. Ган, д.т.н., профессор Ю.А. Гатчин, д.т.н., профессор А.В. Демин,
к.т.н., доцент Н.С. Кармановский (заместитель главного редактора),
д.ф.-м.н., профессор Ю.Л. Колесников, д.ф.-м.н., профессор С.А. Козлов,
д.т.н., профессор А.Г. Коробейников, д.т.н., профессор В.В. Курейчик,
д.т.н., профессор Л.С. Лисицына, к.т.н., доцент В.Г. Мельников,
д.т.н., профессор Ю.И. Нечаев, д.т.н., профессор Н.В. Никоноров,
д.т.н., профессор А.А. Ожиганов, д.ф.-м.н., ст.н.с. Е.Ю. Перлин,
д.т.н., профессор И.Г. Сидоркина, д.т.н. О.А. Степанов,
д.т.н., профессор В.Л. Ткалич, д.т.н., профессор А.А. Шалыто,
д.т.н., профессор Ю.Г. Якушенков

Секретарь – Г.О. Артемова

Редактор – к.т.н., ст.н.с. Н.Ф. Гусарова

Адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, СПбГУ ИТМО

Телефон: (812) 233 12 70

Факс: (812) 232 02 95 (с пометкой: для редакции
Научно-технического вестника)

[http: //books.ifmo.ru/ntv](http://books.ifmo.ru/ntv)

E-mail:karmanov@mail.ifmo.ru

1. ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ. ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	5
Торшина И.П., Якушенков Ю.Г. Структура обобщенной компьютерной модели оптико-электронных систем.....	5
Латышев С.М., Смирнова Е.В. Изучение погрешностей совмещения марок при поперечных наводках	9
Челибанов В.П., Исаев Л.Н., Ишанин Г.Г. Установка для экспериментального наблюдения спектров хемилюминесценции	14
2. ФОТОНИКА И ОПТОИНФОРМАТИКА	20
Ушакова Е.В., Орлова А.О., Баранов А.В. Исследование времени жизни люминесценции CdSe/ZnS квантовых точек в случае образования и диссоциации комплексов КТ/органическая молекула в тонких полимерных пленках	20
3. ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	26
Петленко А.В., Коробейников А.Г., Сергушин П.А. Метод определения местоположения щели и контроля качества термосоединений на основе магнитных измерений	26
Бундур М.С., Прокопенко В.А., Чернов И.А. Моделирование шпиндельных гидростатических подшипников и исследование возможностей повышения их динамического качества	32
Ефанов В.Н., Неугодникова Л.М. Программный комплекс информационной поддержки принятия решений при оценке типовых траекторий полета.....	38
4. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА	44
Халецкий Р.А., Фам Куанг Тунг. Влияние излучения YLP-лазера на вольт-фарадные характеристики системы кремний–двуокись кремния	44
Тропина Н.Э. Многоэлементные приемники на основе селенида свинца для области спектра 2–5 мкм	47
5. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ	54
Нагибин Ю.Т., Николайчук Г.А., Трофимов В.А., Секарин К.Г. Исследование оптических свойств покрытий на основе гидрогенизированного углерода, модифицированного наночастицами металлов	54
Фомичева Е.Е., Темнов Д.Э., Смирнов А.В., Федоров Б.А. Влияние дисперсионного наполнителя на основе алюминия на структуру и свойства полипропилена.....	59
6. КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	66
Вельдер С.Э., Шалыто А.А. Верификация автоматных моделей методом редуцированного графа переходов.....	66
Бессмертный И.А. Семантическая паутина и искусственный интеллект	77
Маслобоев А.В. Мультиагентная технология формирования виртуальных бизнес-площадок в едином информационно-коммуникационном пространстве развития инноваций	83
7. ЭКОНОМИКА И ФИНАНСЫ. МЕНЕДЖМЕНТ.....	90
Подлесных В.И., Кузнецов Н.В. Обеспечение устойчивого развития предпринимательских структур на основе механизма взаимодействия управления и самоорганизации.....	90
Варзунов А.В., Цуканова О.А. 4 «PE-» изменения бизнеса: реформирование, реорганизация, реструктуризация, реинжиниринг	96
Мансуров Р.Е. Современное состояние проблем управления конкурентоспособностью предприятий.....	102
Ганиева А.А. Макроэкономические эффекты реализации крупномасштабных проектов.....	108
8. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ	112
Колесников Ю.Л., Щербакова И.Ю., Куркин А.В. Разработка типового web-портала инновационной образовательной программы университета и внедрение его в условиях сетевой инфраструктуры университета.....	112
SUMMARY.....	118

1. OPTICAL AND OPTICAL ELECTRONIC SYSTEMS. OPTICAL TECHNOLOGIES	5
Torshina I., Yakushenkov Yu. Generalized computer model structure of optical electronic systems	5
Latyev S., Smirnova E. Inaccuracy study of marks congruence under lateral pickups.....	9
Chelibanov V., Ishanin G., Isaev L. Unit for experimental observation of chemiluminescent spectrums	14
2. PHOTONICS AND OPTICAL INFORMATICS.....	20
Ushakova E., Orlova A., Baranov A. Fluorescence lifetime of CdSe/ZnS quantum dots and their complexes with organic molecules in thin polymer films	20
3. UNITS AND DEVICES OF TECHNICAL SYSTEMS	26
Petlenko A., Korobeynikov A., Sergushin P. Method of the crack location definition and thermal connection quality control on the basis of magnetic measurements	26
Bundur M., Prokopenko V., Chernov I. Modeling and improving the dynamic characteristics of spindle units based on hydrostatic bearings	32
Efanov V., Neugodnikova L. Decision-making information support software for typical flight path assessment	38
4. MICROELECTRONICS.....	44
Khaletskiy R., Pham Quang Tung The influence of YLP-laser radiation on the current-voltage characteristics of the silicon-silicon dioxide system.....	44
Tropina N. Multiunit detectors on the basis of lead selenide for the spectrum area of 2–5 microns.....	47
5. MATERIALS SCIENCE AND NANOTECHNOLOGIES.....	54
Nagibin Y., Nikolaychuk G., Trofimov V., Sekarin K. The study of the covers optical properties based on gidrogenios carboneum modified by metal nanoparticles	54
Fomicheva E., Temnov D., Smirnov A., Fedorov B. Dispersive aluminium filling material influence on the polypropylene structure and properties.....	59
6. COMPUTER SYSTEMS AND INFORMATION TECHNOLOGIES	66
Velder S., Shalyto A. Model checking automata-based programs using reduced transition graph construction.....	66
Bessmertny I. The semantic web and artificial intelligence	77
Masloboev A. A multi-agent technology for virtual business platforms formation in the shared info-communication environment of innovations development	83
7. ECONOMICS AND FINANCES. MANAGEMENT	90
Podlesnykh V., Kuznetsov N. Business organization sustainable development implementation on the basis of controlling and self-organization mechanisms interrelation.....	90
Varzunov A., Tsukanova O. 4 "RE-"S" of changing business: reforming, reorganization, restructuring, reengineering.....	96
Mansurov R. Modern state of the enterprise competitiveness control problems	102
Ganieva A. Macroeconomic effects of large-scale projects realization	108
8. NEW TECHNOLOGIES IN EDUCATION.....	112
Kolesnikov Yu., Shcherbakova I., Kurkin A. Typical web-portal creation of the university innovative educational program and its installation in the university network infrastructure.....	112
SUMMARY	118

1

ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ. ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 681.78.01

СТРУКТУРА ОБОБЩЕННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

И.П. Торшина, Ю.Г. Якушенков

Описывается структура обобщенной компьютерной модели оптико-электронных систем (КМ ОЭС). Рассматриваются некоторые особенности отдельных модулей этой модели, а также связей между ними.

Ключевые слова: моделирование, оптико-электронная система, структура обобщенной компьютерной модели оптико-электронных систем.

Введение

В процессе компьютерного моделирования оптико-электронных систем (ОЭС) решается задача построения математической модели для синтеза, анализа и структурно-параметрической оптимизации системы при ее проектировании, для чего осуществляется моделирование процесса прохождения сигналов в ОЭС для различных условий ее работы. Компьютерная модель ОЭС (КМ ОЭС) должна учитывать весьма разнообразные условия, в которых работает система – среду, особенности излучателей (объектов, фонов, помех), метод работы ОЭС и ряд других исходных данных для проектирования системы. Различными могут быть и требования к этой модели.

Структура модели

На первых этапах моделирования часто целесообразно иметь обобщенную КМ ОЭС. Ее структура может быть представлена в виде совокупности нескольких модулей и отображать не только структуру собственно ОЭС, но и процесс формирования исходных данных для моделирования ОЭС, фоно-целевую обстановку (ФЦО), т.е. условия функционирования системы, а также результаты работы КМ ОЭС и общую базу данных (БД). Эта структура представлена на рис. 1 [1].

Модуль «Исходные данные» содержит перечень сведений, которые необходимы пользователю компьютерной программой для моделирования (КПМ) ОЭС. Перечень исходных данных формируется на основе технического задания на разработку ОЭС, в котором указываются назначение и область применения ОЭС, а также излагаются технические требования к системе. Исходные данные могут быть входными, запрашиваемыми КПМ, и могут быть использованы для расчета и получения других требуемых входных данных.

Модуль «Исходные данные» может, в частности, содержать следующую информацию:

- назначение ОЭС (обнаружение целей, слежение и т.д.);
- способ работы ОЭС (активный, пассивный);
- условия работы ОЭС (спектральные диапазоны работы, время года, время суток, состояние атмосферы, климатические и погодные условия, географические данные, системы координат и др.);
- характер помех, задаваемый, например, их энергетическими, спектральными, пространственными и другими характеристиками или общим описанием, например, видом ландшафта, на котором находится обнаруживаемая или отслеживаемая цель;
- формулировка цели разработки модели ОЭС;

- перечень задач, которые должны решаться в процессе моделирования;
- форма представления результатов моделирования;
- требуемое значение критерия оценки качества модели (критерия адекватности);
- информация о возможности проведения натурных испытаний модели или об использовании в испытаниях апробированных моделей аналогичных систем, разработанных ранее;
- степень универсальности модели.

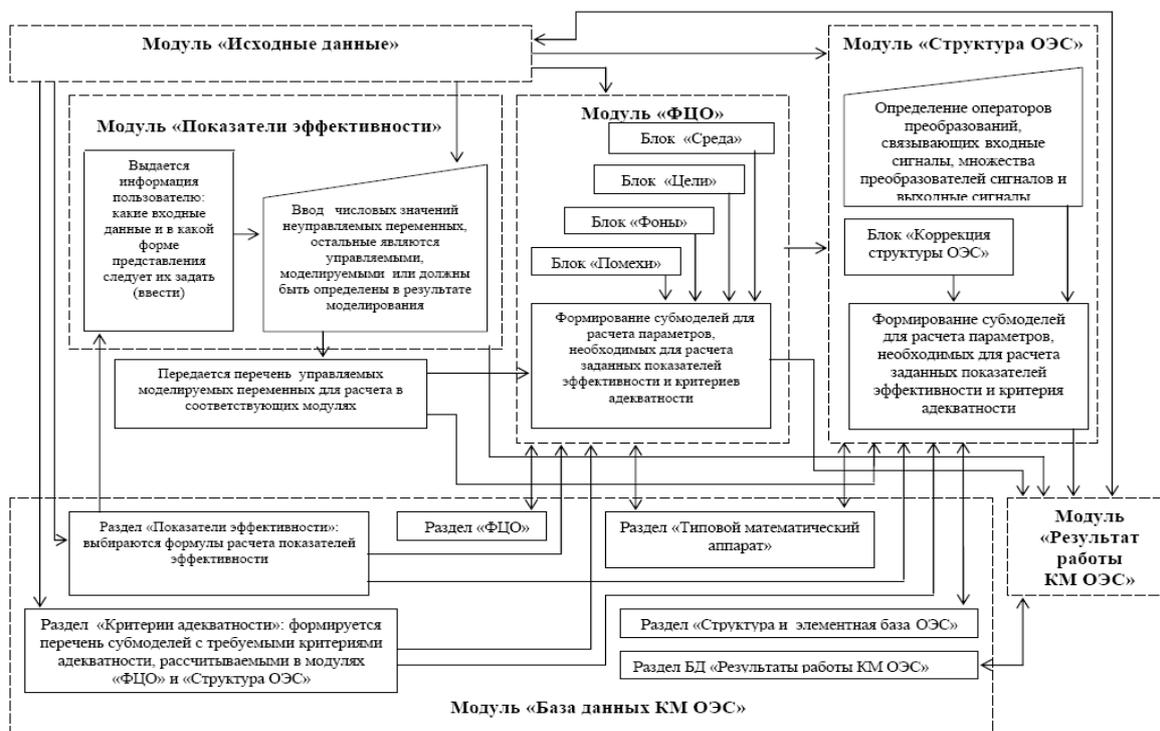


Рис. 1. Структурная схема обобщенной КМ ОЭС

Перечень исходных данных должен быть необходимым и достаточным (исчерпывающим) для осуществления моделирования и при этом не содержать избыточных сведений. Он может быть окончательно определен только после формирования других модулей КМ ОЭС, когда в процессе их разработки появляется необходимость знания тех или иных данных, в частности, при формировании модулей «ФЦО» и «Структура ОЭС» [1, 2].

При разработке модуля «Исходные данные» следует различать понятия «исходные данные для моделирования ОЭС» и «входные данные отдельной субмодели КМ ОЭС». Перечень последних непостоянен и зависит от запрашивающей их субмодели, в то время как перечень исходных данных остается постоянным на протяжении всего процесса моделирования ОЭС.

Ввод исходных данных в КМ ОЭС должен запускать автоматическую работу алгоритмов, определяющих путь моделирования, перечень субмоделей, используемых в дальнейшем в других модулях КМ ОЭС, перечни элементов структурной схемы ОЭС и субъектов ФЦО, присутствующих в угловом поле системы, и многое другое.

Модуль «Исходные данные» имеет прямую связь со всеми модулями КМ ОЭС, а также прямую и обратную связь с модулями «Результат работы КМ ОЭС» и «База данных КМ ОЭС». Наличие связи с БД позволяет пользователю готовой КМ ОЭС выбирать требуемые исходные данные в нужной форме представления из соответствующих разделов БД КМ ОЭС. Обратная связь с модулем «Результат работы КМ ОЭС» установлена для оптимизации структуры ОЭС в случае, когда все возможные методы оптимизации исчерпали свои возможности и требуется произвести корректировку исходных данных.

Таким образом, разработку модуля «Исходные данные» можно свести к решению трех основных задач:

1. определение перечня исходных данных и формы их представления;
2. анализ влияния задаваемых исходных данных на результат работы КМ ОЭС и значения показателей эффективности работы ОЭС;
3. использование результатов проведенного анализа для корректировки перечня и формы представления исходных данных (см. обратные связи на рис. 1).

Модуль «Результат работы КМ ОЭС» объединяет в себе блоки, представленные на рис. 2.

Блок «Коррекция обобщенной компьютерной модели ОЭС» содержит специфические алгоритмы и операторы, позволяющие, например, осуществлять моделирование многоспектральных (многодиапазонных) ОЭС конкретного назначения [3], а также, при необходимости, вносить изменения в количество повторений тех или иных операторов, делая их циклическими.

Основой блока «Расчет показателей эффективности» являются выражения заданных в исходных данных показателей эффективности работы ОЭС. На первых этапах моделирования они представляются в общем параметрическом виде. По мере работы в модулях «ФЦО» и «Структура ОЭС» эти параметры конкретизируются, определяется область их значений, и в данном блоке производится их окончательный расчет. Если результат их расчета не удовлетворяет пользователя, то может производиться оптимизация структуры ОЭС. Для этого предусматриваются алгоритмы оптимизации структуры и обратная связь с модулями «Структура ОЭС» и «Исходные данные». Алгоритмы и способы оптимизации структуры ОЭС могут выбираться из соответствующего раздела «Оптимизация структуры ОЭС» БД КМ ОЭС. Если выбранные или заданные средства оптимизации структуры всей ОЭС или отдельных ее составных частей (СЧ), а также элементной базы этих СЧ оказались неэффективными, т.е. требуемое значение показателя эффективности моделируемой ОЭС не достигнуто, необходимо возвращаться в модуль «Исходные данные» и производить корректировку этих данных.

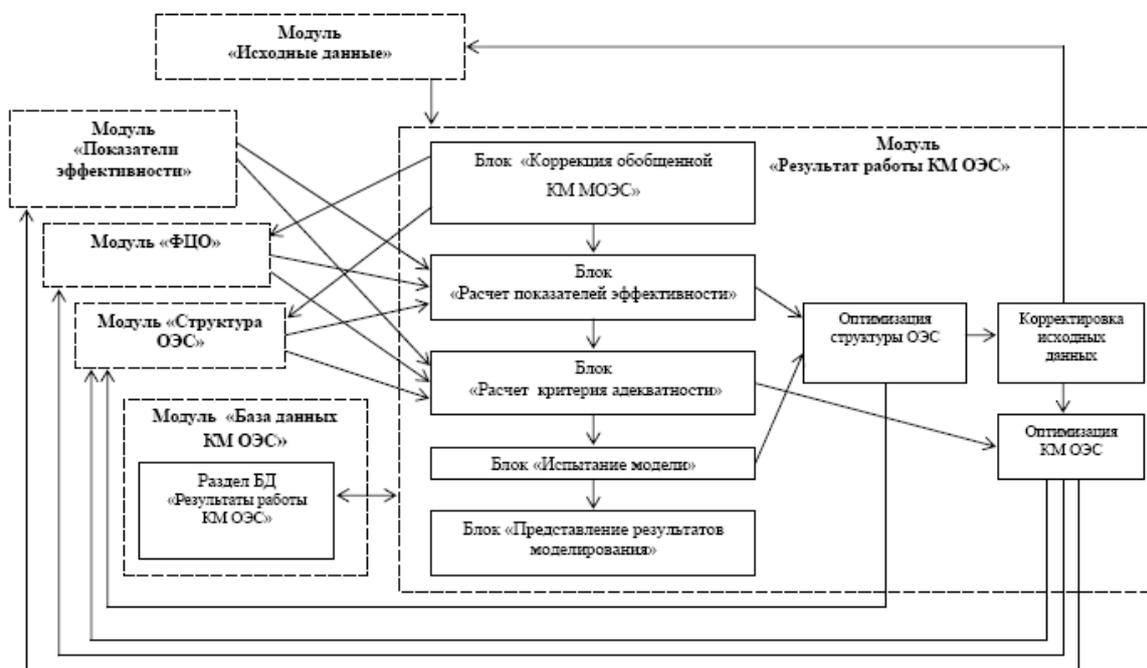


Рис. 2. Связь блоков в модуле «Результат работы КМ ОЭС»

После получения удовлетворительных результатов расчета показателей эффективности обязательно должен проводиться контрольный расчет критерия адекватности в блоке «Расчет критерия адекватности», подтверждающий адекватность модели ОЭС по заданному в исходных данных критерию. Если модель не удовлетворяет заданному значению критерия адекватности, то производится анализ причин неадекватности и оп-

тимизация КМ ОЭС. Оптимизация может заключаться, например, в ином распределении значения общего для всей модели критерия адекватности между критериями адекватности субмоделей отдельных узлов ОЭС и субъектов ФЦО.

В блоке «Испытание модели» размещаются алгоритмы, позволяющие осуществлять испытания КМ ОЭС посредством имитационного эксперимента. В случае удовлетворительных результатов испытаний модели производится представление результатов моделирования (блок «Представление результатов моделирования»), т.е. формирование выходных данных о результатах моделирования системы в форме, заданной в исходных данных, и подготовка документации на разработанную КМ ОЭС (паспорт пригодности).

Перечень документов на модель ОЭС должен содержать описание компьютерной модели. Для пользователя могут представлять интерес следующие характеристики КМ ОЭС, которые следует включать в паспорт пригодности:

- имя модели (для соответствующих ссылок), номер версии, дата;
- назначение и область применения КМ ОЭС;
- собственник (создатель, разработчик, владелец);
- описание исходных данных с необходимыми пояснениями (размерности, масштабы, диапазоны изменения величин);
- физические основы, на которых построена ОЭС и ее модель, наличие баз данных, необходимых для моделирования;
- программа (действующее программное обеспечение самой модели);
- описание программы модели с указанием системы программирования и принятых обозначений;
- полная схема программы модели;
- полная запись компьютерной программы модели на выбранном языке программирования;
- доказательство достоверности программы модели (результаты отладки программы модели);
- оценка затрат машинного времени на один цикл моделирования;
- перечень возможных пользователей (квалификация);
- инструкция по работе с программой модели.

Заключение

Структура КМ ОЭС, сформированная в модульном виде, позволяет легко наращивать модель и дополнять ее необходимыми блоками и модулями при моделировании системы конкретного назначения, предназначенной для решения какой-либо частной задачи. Исследования, описанные в настоящей статье, проводятся при поддержке ведомственной целевой программы Рособразования «Развитие научного потенциала высшей школы» (2009–2010 годы по мероприятию 2, грант 2.1.2/4163).

Литература

1. Торшина И.П. Компьютерное моделирование оптико-электронных систем первичной обработки информации / И.П. Торшина. – М.: Университетская книга; Логос, 2009. – 248 с.
2. Торшина И.П. Методика разработки обобщенной компьютерной модели оптико-электронной системы // Изв. вузов. Приборостроение. – 2008. – № 3. – С. 61–65.
3. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения. – М.: Логос, 2007. – 192 с.

4. Торшина И.П. Формирование компьютерной модели функционирования многодиапазонной оптико-электронной системы // В сб. трудов VII Международной конференции «Прикладная оптика-2006». Т.3. «Компьютерные технологии в оптике». – СПб, 2006. – С. 343–349.

- Торошина Ирина Павловна* – Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), кандидат технических наук, доцент, torshinai@yandex.ru
- Якушенко Юрий Григорьевич* – Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), доктор технических наук, профессор, декан, yakush@miigaik.ru

УДК 535.8

ИЗУЧЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ СОВМЕЩЕНИЯ МАРОК ПРИ ПОПЕРЕЧНЫХ НАВОДКАХ

С.М. Латыев, Е.В. Смирнова

В работе приведены зависимости погрешностей поперечных наводок от условий наблюдений: типа светофильтров, освещенности, аберраций оптической системы, направления совмещений. По проведенным исследованиям сделаны некоторые выводы и даны рекомендации для уменьшения погрешности.

Ключевые слова: поперечная наводка, би-штрих, погрешность наведения, полигон рассеяния, аберрация, контраст, освещенность, позиционно-чувствительный приемник.

Введение

В основу функционирования многих оптических приборов (теодолитов, автоколлиматоров, измерительных микроскопов) положена операция совмещения изображения и марки, наблюдаемых оператором, с последующим снятием отсчета по шкалам. При этом из-за ряда причин (остроты зрения, параллакса и др.) оператор не может абсолютно правильно расположить изображение относительно марки и оценить на глаз расстояние от штриха до индекса (долю деления шкалы). Так возникают погрешности наведения, влияющие на точность работы приборов. Погрешность наведения зависит от ряда факторов: видов совмещаемых марок, типа светофильтров, освещенности экрана, контраста изображения, аберраций оптической системы, психофизических данных оператора.

Для некоторых современных оптических приборов погрешности наведения являются доминирующими составляющими характеристик точности, что обусловлено уменьшением других составляющих благодаря автоматизации процесса работы при помощи фотоэлектрических преобразователей, позиционно-чувствительных приемников и микропроцессорных устройств.

Настоящая работа направлена на исследование погрешности совмещения марок при поперечных наводках би-штриха экрана относительно изображения штриха сетки.

Лабораторный стенд

Исследования проводились на экспериментальной установке (рис. 1), разработанной для исследования погрешности совмещаемых марок на экране проекционной установки от факторов различной природы. Для определения числовых характеристик, а также законов рассеяния погрешности производили по 200–300 совмещений, выполняемых оператором на расстоянии наилучшего видения. Экспериментальная установка помещена в светозащитный кожух с целью устранения посторонних засветок.

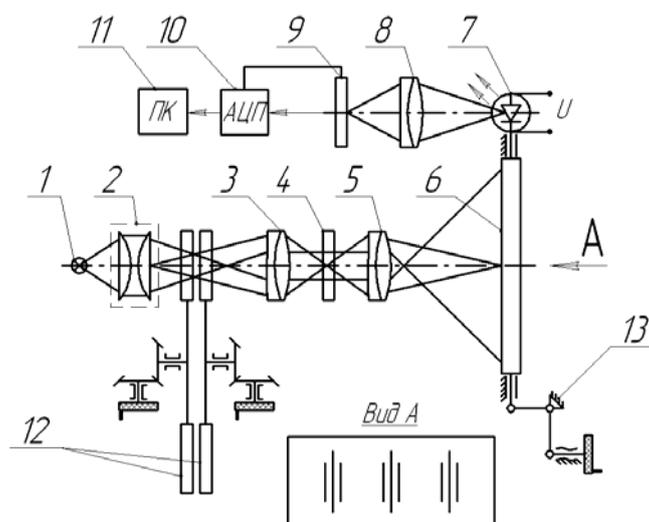


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной установки:
 1, 2, 3 – осветительная система по Кеплеру; 4 – сменная сетка с тремя штрихами;
 5 – проекционный сменный микрообъектив (40×0,65); 6 – матовый экран с тремя би-штрихами; 7 – светодиод; 8 – объектив для проецирования светового пятна от светодиода на светочувствительную площадку приемника (8×0,2); 9 – позиционно-чувствительный приемник «Мультискан»; 10 – аналого-цифровой преобразователь; 11 – персональный компьютер; 12 – сменные светофильтры; 13 – винто-рычажный привод

Величина погрешности совмещения изображения штриха сетки с би-штрихом экрана фиксируется позиционно-чувствительным приемником «Мультискан» при многократных повторных наводках, осуществляемых при помощи винто-рычажного привода. Многоэлементный фотоприемник «Мультискан» позволяет регистрировать положение падающего на него светового пятна, обладает большим быстродействием и позволяет значительно проще обрабатывать оптический сигнал. Фотоприемник работает в режиме «координатоуказателя», который используется для определения координаты весового центра одиночного светового пятна. По этим соображениям фотоприемник был выбран в качестве основного в целях создания автоматизированной установки.

Результаты исследований

Методика исследования чувствительности наводок основана на измерении величины рассеяния положения марки при ее многократных повторных совмещениях с изображением объекта. Точность совмещения зависит от формы совмещаемых объектов. Среднеквадратическая погрешность наведения для случая совмещения с би-штрихом составляет 6–8" [1]. На рис. 2 представлены полигоны рассеяния погрешности для случая наводок без светофильтров, описывающие влияние психофизических данных оператора при изменении направления наводки. Законы рассеяния определялись по критерию согласия Пирсона, по результатам проверки было получено, что они подчиняются композиции закона Гаусса и закона равной вероятности, причиной чему являются факторы, в целом влияющие на погрешность совмещения [1–2]. При изменении направления наводки происходит смещение центра группирования полей рассеяния, что указывает на наличие систематической составляющей погрешности. По результатам проведенных исследований систематическая составляющая погрешности совмещения, вызванная психофизическим состоянием оператора, достигает 40 мкм.

Для устранения этой составляющей погрешности следует производить совмещение с одной стороны и не изменять направление наводки до конца серии измерений.

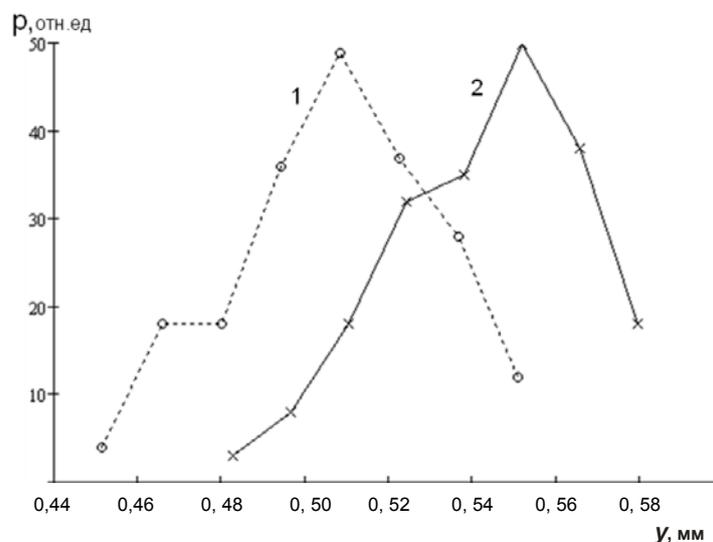


Рис. 2. Полигоны рассеяния положений би-штриха экрана относительно изображения штриха сетки: p – частота (функция выработки вектора частот попадания данных в соответствующие интервалы), y – положение би-штриха; 1 – совмещение марки и изображения происходит справа налево, среднее значение $y_{\text{ср}}=0,504$ мм, $\sigma=0,024$ мм; 2 – совмещение марки и изображения происходит слева направо, $y_{\text{ср}}=0,543$ мм, $\sigma=0,023$ мм

Исследования поперечных наводок при включении различных светофильтров (рис. 3) показали, что при этом изменяется среднеквадратическая погрешность и смещается центр группирования (табл. 1). Отличия в погрешности происходят вследствие хроматизма увеличения, который возникает из-за разности углов преломления через оптическое стекло у разных длин волн. Оператор сдвигает штрих, чтобы расположить изображение по центру би-штриха. При этом и появляется погрешность совмещения.

Тип светофильтра	Среднее значение, мм	Среднеквадратическая погрешность, мм
Синий (1)	0,551	0,021
Зеленый (2)	0,553	0,018
Желтый (3)	0,532	0,020
Оранжевый (4)	0,504	0,023
Красный (5)	0,498	0,024

Таблица 1. Зависимость величины среднеквадратической погрешности от типа светофильтра, применяемого в системе

Наименьшая погрешность в ходе экспериментов была получена для зеленого светофильтра, создающего оптимальные условия работы для оператора, что подтверждает результаты проведенных ранее исследований. При смене светофильтров происходит смещение центра группирования результатов измерения. Для предотвращения появления данной составляющей погрешности не следует производить переключение светофильтров, не закончив цикла измерений.

При замене проекционного объектива и при работе на различных участках поля зрения погрешность поперечных наводок существенно изменяется по причине измене-

ния величины и вида aberrации (табл. 2) [2]. В экспериментах применялись объективы (№№ 1–5), каждый из которых имел свою собственную aberrацию (значение которой не было известно). Соответствующие графики приведены на рис. 4.

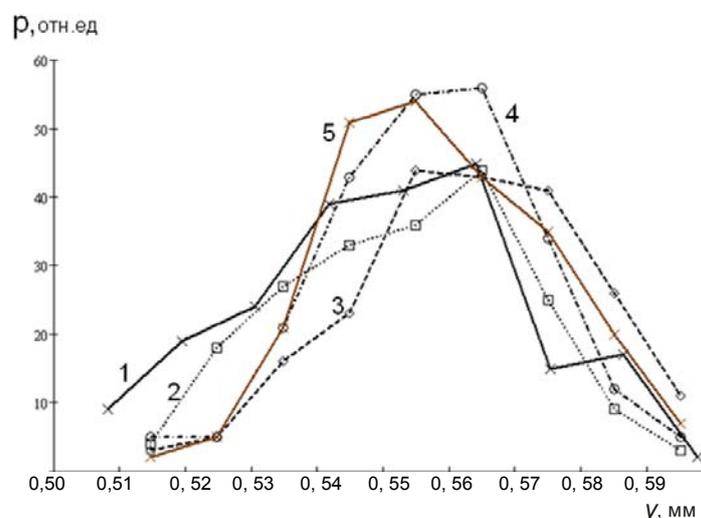


Рис. 3. Влияние типа светофильтра на чувствительность поперечных наводок (1 – объектив № 1; 2 – объектив № 2; 3 – объектив № 3; 4 – объектив № 4; 5 – объектив № 5)

	Среднее значение, мм	Среднеквадратическая погрешность, мм
Объектив №1	0,531	0,019
Объектив №2	0,498	0,022
Объектив №3	0,490	0,020
Объектив №4	0,677	0,022
Объектив №5	0,474	0,022

Таблица 2. Зависимость величины среднеквадратической погрешности от типа объектива, применяемого в системе

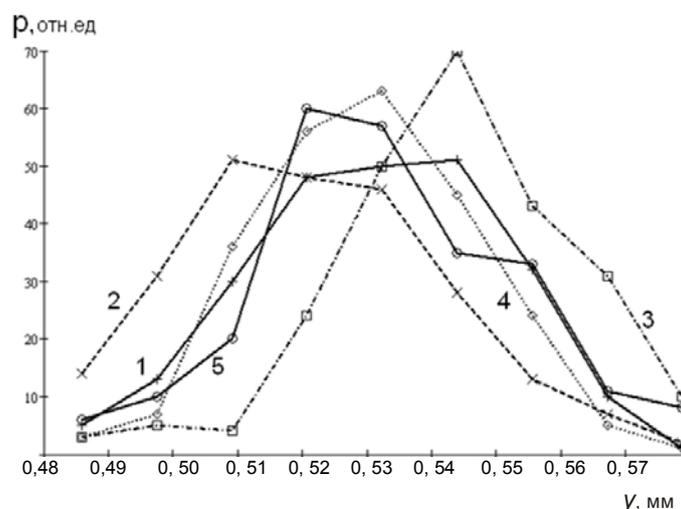


Рис. 4. Влияние вида aberrации в сменных объективах на чувствительность поперечных наводок

В ходе исследований было установлено, что погрешность совмещения также значительно зависит от изменения освещенности чувствительной площадки фотоприемника (рис. 5), и выявлено, что комфортная для работы оператора освещенность составляет от 15 до 30 лк.

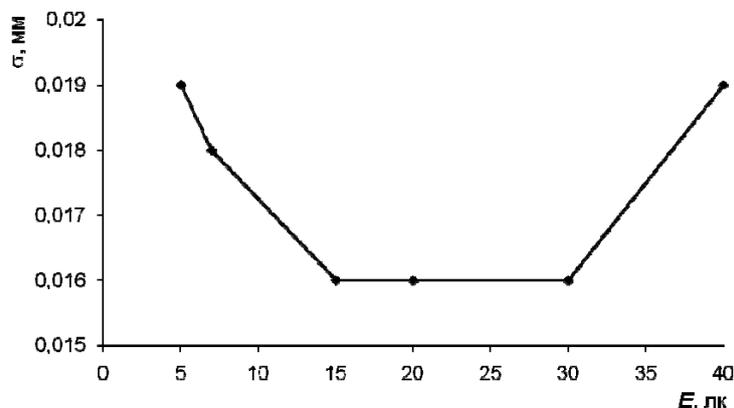


Рис. 5. Зависимость среднеквадратической погрешности от освещенности

Заключение

В ходе исследований было выявлено наличие систематической составляющей погрешности при проведении измерений, значение которой достигало 40 мкм, что вызвано психофизическим состоянием оператора. При работе со светофильтрами наименьшая погрешность (18 мкм) получена для сине-зеленого светофильтра. При замене в системе проекционного объектива на аналогичный объектив с известной преобладающей аберрацией величина погрешности изменяется. Более точные результаты могут быть получены тогда, когда известна численная величина аберрации конкретного объектива. Кроме того, погрешность измерений зависит от освещенности чувствительной площадки фотоприемника, что также связано с психофизическим состоянием оператора.

Экспериментальный стенд используется при проведении лабораторного практикума в целях изучения погрешностей поперечных наводок.

Литература

1. Латыев С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 248 с.
2. Сокольский М.Н. Исследование влияния аберраций оптической системы на чувствительность поперечных и продольных наводок: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Л.: ЛОМО, 1971.

Латыев Святослав Михайлович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, декан, latyev@grv.ifmo.ru

Смирнова Елена Викторовна – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, smirnova-elen@yandex.ru

УДК: 541.14

УСТАНОВКА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ СПЕКТРОВ ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

В.П. Челибанов, Л.Н. Исаев, Г.Г. Ишанин

Описывается конструкция светосильной оптической установки для регистрации в аналоговой форме спектров хемилюминесценции с высоким уровнем чувствительности и быстродействия. Получены спектры хемилюминесценции при окислении оксибензойной, гидразода аминофталевой и ундециленовой кислоты в гетерогенных условиях.

Ключевые слова: хемилюминесценция, светосильная установка, интерференционный фильтр-клин, многоканальный спектрометр, матрица ПЗС, спектр хемилюминесценции.

Введение

При изучении явления хемилюминесценции, наблюдаемой в гетерогенных условиях, исследователю часто приходится иметь дело с широким динамическим диапазоном интенсивностей световых потоков. Слабые световые потоки эффективно регистрируются системой счета фотонов. Однако при умеренных и больших световых потоках наблюдается явление «набегания импульсов», и, как следствие, возникает нелинейность аппаратной функции фотометра. Хемилюминесценция, наблюдаемая при взаимодействии озона с 3, 4, 5-триоксибензойной кислотой (галловой кислотой) в присутствии в системе родамина 6Ж либо при взаимодействии гидразида аминофталевой кислоты (люминола) с диоксидом азота, характеризуется умеренными световыми потоками. Для измерения таких световых потоков возникла необходимость построения аналоговой измерительной системы либо разработки методов коррекции потерь импульсов при счете и учета фактора «мертвого времени».

Техника эксперимента

Экспериментальная установка для исследования спектров хемилюминесценции в динамике построена на основе сложного интерференционного фильтра-клина типа VERIL BL 200, производимого компанией «SCHOTT GLAS Optik» (Германия). Структурная схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Интерференционный фильтр (ИФ) в установке выполнял функцию диспергирующего элемента, смонтированного на горизонтально перемещающейся каретке посредством микрометрического винта. Винт приводится во вращательное движение от шагового двигателя типа ШДР-711 [1]. Блок управления шаговым двигателем построен на базе микропроцессора AT89C55WD производства компании «ATMEL».

Хемилюминесцентный датчик выполнен на основе клееного нетканого материала (КНМ), пропитанного либо смесью латексов Акронал 35Д и Акронал 230Д, либо смесью Акронал 230Д и Аппретан 9212. Хемилюминесцентная композиция наносилась пропиткой КНЦ из раствора этилового спирта с последующей сушкой при температуре 298 К до постоянного остаточного веса. Затем готовый датчик помещали в проточный реактор, расположенный выходным окном параллельно к плоскости ИФ (рис. 1). Более подробно условия оптимизации работы проточного хемилюминесцентного реактора описаны в соответствующем разделе работы [4]. Световой поток проходил через ИФ и падал на катод фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-114. Технические параметры ФЭУ-114 приведены в [2].

Сигнал с анода фотоэлектронного фотоумножителя поступал на 24-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) AD7714 фирмы «Analog Devices», представляющий собой законченную систему аналого-цифрового преобразования для низкочастотных измерений [3].

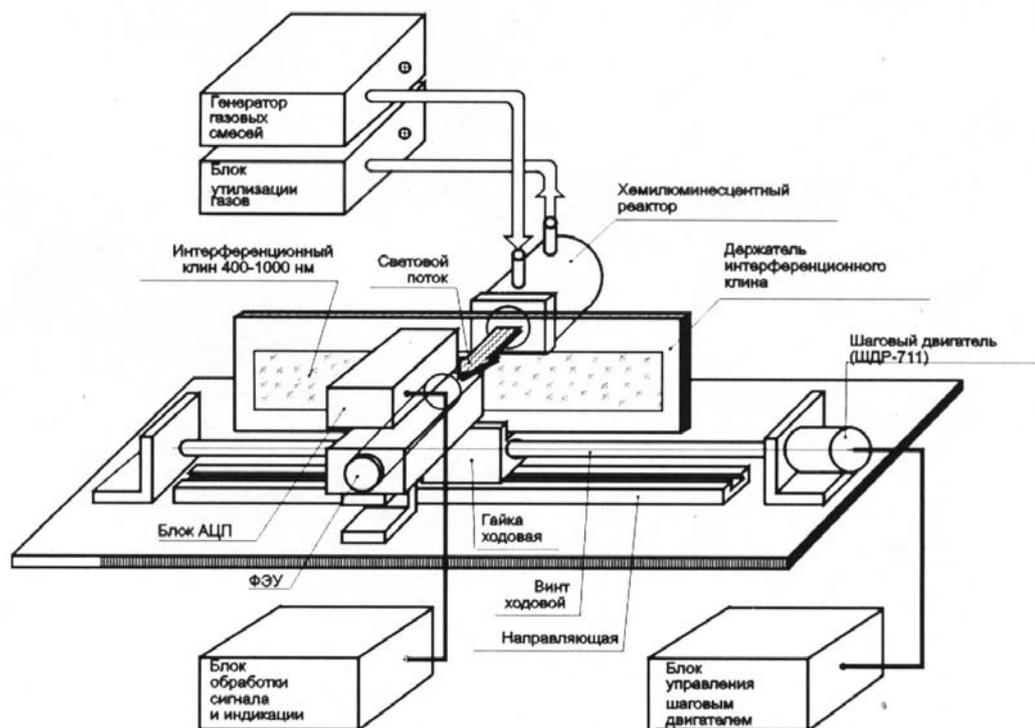


Рис. 1. Блок-схема светосильной установки для исследования спектров хемилюминесценции

В качестве источника газовых смесей применяли генератор с термодиффузионным источником микропотоков диоксида серы или диоксида азота. Источники микропотоков позволяли получать в потоке следующие газовые смеси газ–воздух:

- для генератора NO_2 : $C=670 \text{ мкг/м}^3$, при $T=30 \text{ }^\circ\text{C}$ и $F=1 \text{ дм}^3/\text{мин}$;
- для генератора SO_2 : $C=450 \text{ мкг/м}^3$, при $T=35 \text{ }^\circ\text{C}$ и $F=1 \text{ дм}^3/\text{мин}$;

Для получения озонородных газовых смесей использовался генератор ГС-024 производства ЗАО «ОПТЭК». Принцип действия генератора заключается в фотохимическом получении озона из кислорода атмосферного воздуха.

Калибровка оптической части установки была выполнена по линиям излучения ртутной лампы среднего давления, производимой фирмой Analamp, модель «Mercury Lamp 80-1025-01 ozone free» и He-Ne ОКГ (рис. 2).

В качестве альтернативы вышеописанной установке для выполнения спектральных хемилюминесцентных исследований с лучшим разрешением нами было разработано устройство на основе многоканального спектрометра с регистратором на основе матрицы ПЗС. Блок-схема экспериментальной установки представлена на рис. 3. Очищенный от примесей воздух (в генераторе ноль-газа) поступает в пробочный реактор генератора, где в условиях барьерного разряда происходит синтез озона. При проведении экспериментов с газовыми смесями диоксида серы или диоксида азота в качестве генератора ПГС использовался прецизионный термостат с побудителем расхода газа модели VICI-340. В термостат помещали термодиффузионный источник микропотоков на тот или иной исследуемый газ. Далее смесь газов поступает в проточный реактор, в который помещен исследуемый образец синтетического нетканого материала с нанесенной на его поверхность из раствора хемилюминесцентной композицией.

Предварительно поверхность материала была обработана гидрофобным составом. Для исключения попадания рассеянного света извне на входе и выходе реактора были установлены световые ловушки. Световой поток от исследуемого образца через квар-

цевый коллиматор, модель 84-UV-25, компания Ocean Optics, попадал на вход оптоволоконного кабеля типа QP-600-2-SR и далее на спектрометр QE65000 с охлаждаемой до минус 15°C ПЗС-матрицей. Сигнал от спектрометра по кабелю поступал на PC, где и наблюдался в динамике спектр хемилюминесценции в области длин волн 200–1000 нм.

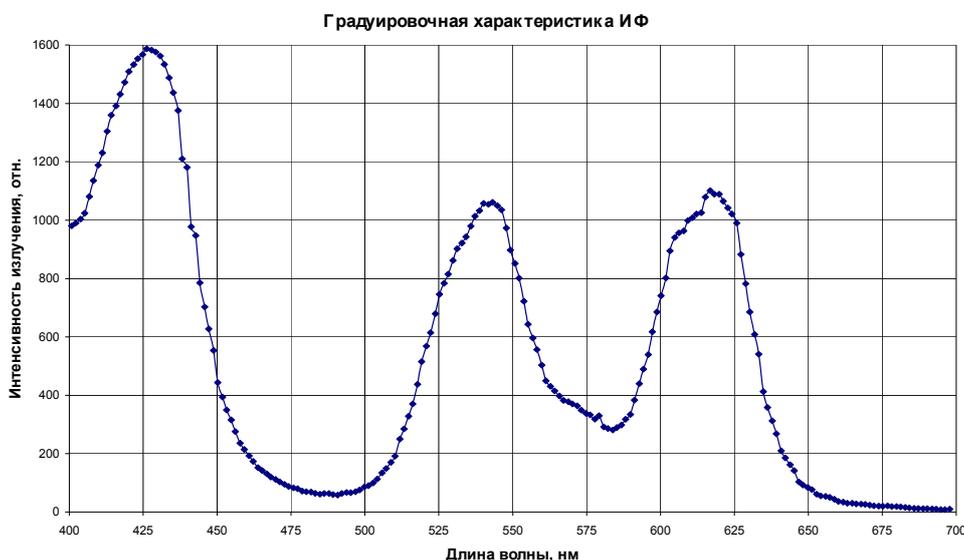


Рис. 2. Градуировочная характеристика ИФ

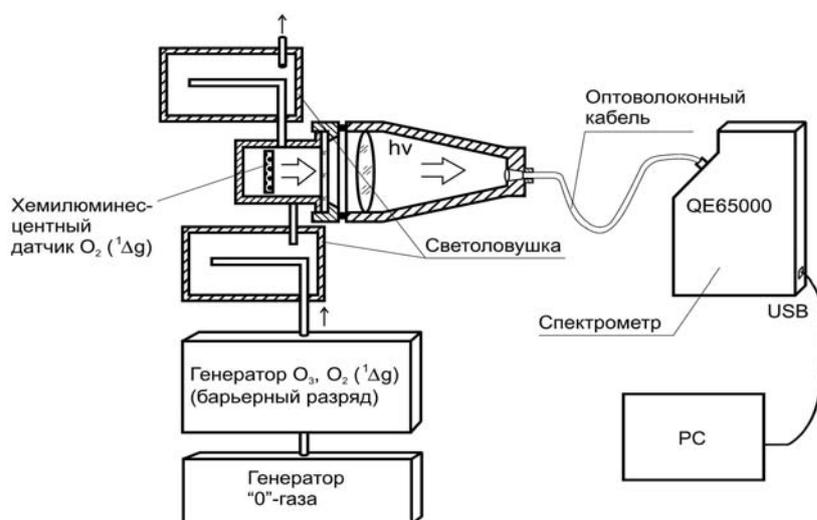


Рис. 3. Блок-схема экспериментальной установки для наблюдения хемилюминесценции и исследования ее спектрального распределения

Спектрометр Ocean Optics модели QE65000 представляет собой чувствительную систему, предназначенную для применения в условиях низкого уровня светимости, таких как флуоресценция, секвенирование ДНК и комбинационная спектроскопия. Модель QE65000 – это наиболее чувствительный спектрометр, производимый компанией Ocean Optic, достигающий квантовой эффективности до 90 % (рис. 4) с высоким отношением сигнал/шум и высокой скоростью обработки сигнала.

QE65000 оснащен ПЗС-фотоприемником производства компании Hamamatsu с двухмерным расположением пикселей на матрице (1044 по горизонтали, 64 по вертикали), который обладает чувствительностью в области длин волн от 200 до 1100 нм. Ввиду усовершенствованной конструкции датчика снижен его шум считывания. Датчик может быть охлажден до температуры минус 15°C с помощью встроенного холодильника

Пельтье для уменьшения темнового шума. Снижение шума и темнового сигнала позволяет установить время интегрирования спектрометра (аналог скорости затвора объектива фотоаппарата) до 15 мин., что значительно увеличивает предел чувствительности для использования спектрометра в экспериментах с низким уровнем светимости. Фотоприемник спектрометра имеет высокую чувствительность к УФ излучению.



Рис. 4. Квантовая эффективность сенсора

Первичные экспериментальные данные

На рис. 5 приведен спектр хемилюминесценции продуктов реакции при озонлизе композиции, содержащей галловую кислоту и родамин 6Ж в соотношении 100:1. Наблюдаемый максимум свечения приходится на область 570 нм, характерную для спектра люминесценции родамина 6Ж при фотовозбуждении.

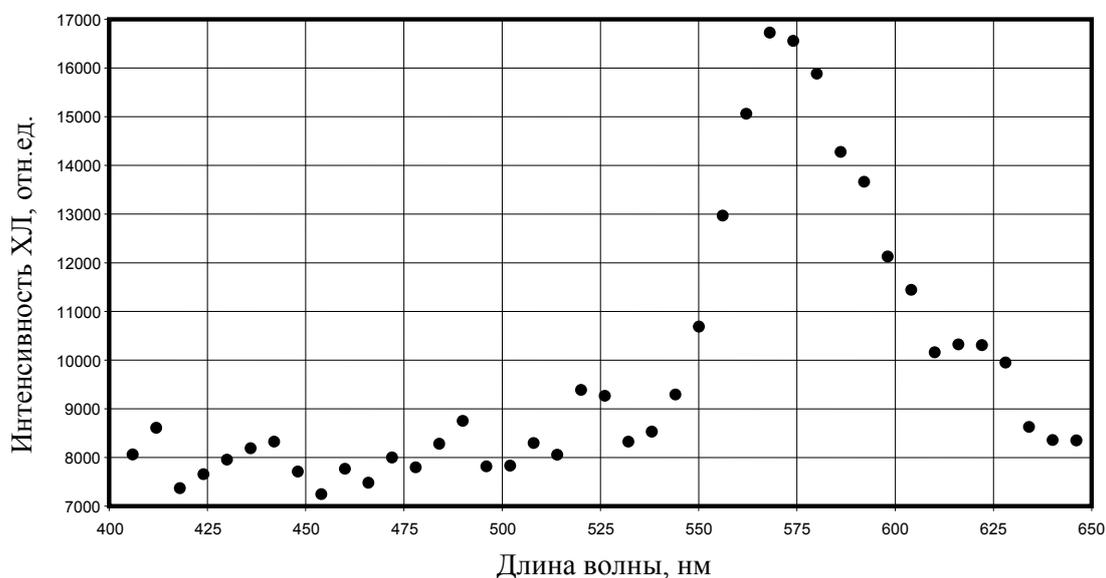


Рис. 5. Спектр хемилюминесценции, наблюдаемый при окислении озоном композиции галловая кислота–родамин 6 Ж

На рис. 6 приведен спектр хемилюминесценции продуктов реакции окисления озоном флуоресцеина в гетерогенных условиях. Химическая реакция ундециленовой кислоты в присутствии активатора – родамина 4С – с диоксидом серы приводит к хе-

милюминесценции в области 610 нм (рис. 7). Характерный спектр наблюдаемой хемилюминесценции продуктов реакции люминола с диоксидом азота приведен на рис. 8. Максимум свечения приходится на синюю область спектра 425 нм. Каждый из спектров для области 400–700 нм получен за время сканирования 3,5 мин. Учитывая длительность процесса развития хемилюминесценции во времени от 20 до 240 мин. (высокие концентрации озона, диоксида серы или диоксида азота в газовой смеси), установка позволяет исследовать кинетику процесса хемилюминесценции с минимальной дискретностью по времени.

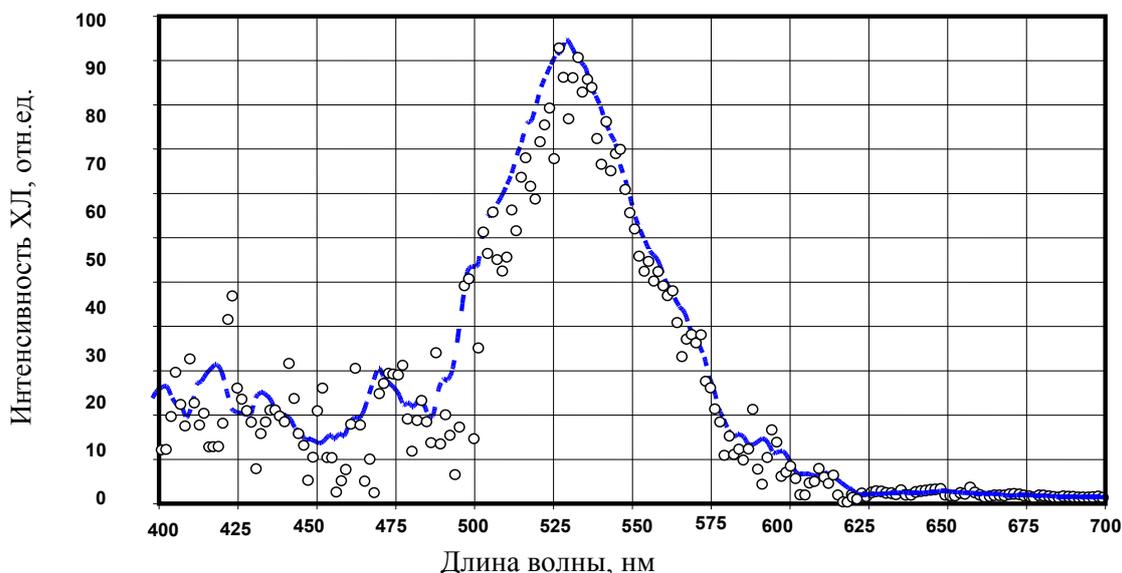


Рис. 6. Спектр хемилюминесценции, наблюдаемой при окислении озонем флуоресцеина

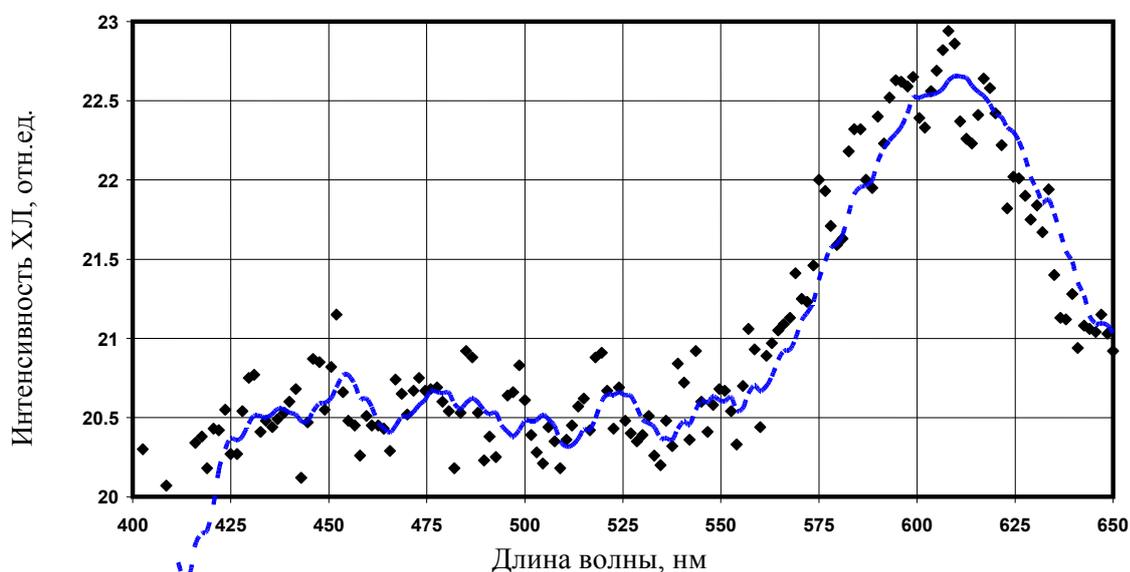


Рис. 7. Спектр хемилюминесценции продуктов реакции ундециленовой кислоты в присутствии активатора – родамина 4С – с диоксидом серы

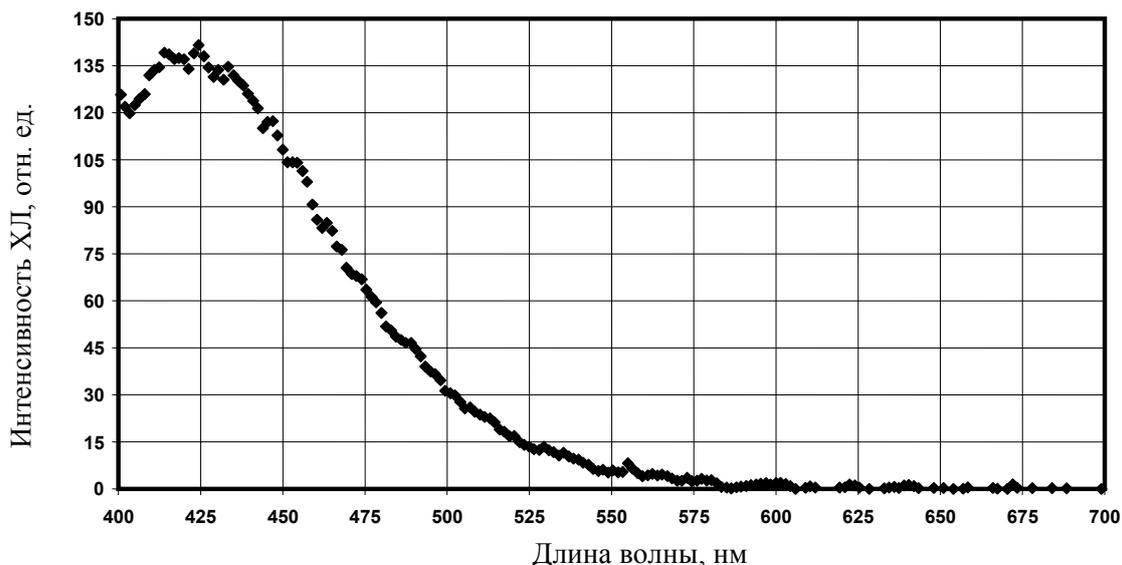


Рис. 8. Спектр хемилюминесценции, наблюдаемой при реакции окисления диоксидом азота люминола

Заключение

Разработана установка для экспериментального наблюдения кинетики хемилюминесценции в реакциях окисления сложных органических веществ в гетерогенных условиях. Получены спектры хемилюминесценции продуктов реакции озонлиза галловой кислоты в присутствии родамина 6Ж, спектр хемилюминесценции продуктов при окислении озоном флуоресцеина и спектр хемилюминесценции при взаимодействии люминола и диоксида азота. Зарегистрирован спектр хемилюминесценции, наблюдаемой при реакции окисления диоксидом серы ундециленовой кислоты в присутствии активатора – родамина 4С.

Литература

1. Справочник по электрическим машинам. Т. 2. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 118 с.
2. Аксененко М.Д., Бараночников М.Л. Приемники оптического излучения: Справочник. – М.: Радио и связь, 1987. – 144 с.
3. Микросхемы для аналого-цифрового преобразования: Справочник. – М.: Додека, 1996. – 249 с.
4. Mehrabzadeh A.A., O'Brien R.J., Hard T.M. Generalized response of chemiluminescence analyzers // Rev. Sci. Instrum. – 1983. – V. 54. – № 12. – P. 1712–1718.

Челибанов Владимир Петрович – ЗАО «ОПТЭК», кандидат химических наук, генеральный директор, chelibanov@mail.ru

Исаев Леонид Николаевич – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, esm-ortec@peterlink.ru

Ишанин Геннадий Григорьевич – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, ishanin@mail.ru

УДК 538.9+538.958

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ CdSe/ZnS КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В СЛУЧАЕ ОБРАЗОВАНИЯ И ДИССОЦИАЦИИ КОМПЛЕКСОВ КТ/ОРГАНИЧЕСКАЯ МОЛЕКУЛА В ТОНКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ**Е.В. Ушакова, А.О. Орлова, А.В. Баранов**

Представлены результаты исследования изменения интенсивности и времени затухания люминесценции CdSe/ZnS квантовой точки (КТ) и CdSe/ZnS КТ в комплексах с органической молекулой, ПАН, в полимерной пленке под воздействием лазерного излучения. Обнаружено, что в данной системе возможен процесс фотодиссоциации комплекса с появлением свободных люминесцирующих КТ. Получены зависимости интенсивности и времени затухания люминесценции КТ от интенсивности и энергии возбуждения. Показана возможность использования комплекса КТ/ПАН в качестве люминесцентного сенсора.

Ключевые слова: CdSe/ZnS квантовые точки, комплексы КТ/органическая молекула, фотодиссоциация, люминесцентный сенсор.

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется разработке наноструктур на основе квантовых точек (КТ), в том числе комплексов КТ/органическая молекула. Квантовая точка – это нанокристалл полупроводника с характерным размером порядка боровского радиуса экситона, $R_{ex} < (2-40 \text{ нм})$, или менее [1]. Благодаря квантово-размерному эффекту в КТ можно управлять их спектральными свойствами, меняя размер квантовых точек.

Ранее был предложен способ создания диссоциативного люминесцентного сенсора для определения ионов металлов в водных растворах на основе комплекса КТ/ПАН, внедренного в тонкую полимерную пленку, где ПАН – азокраситель 1-(2-пиридилазо)-2-нафтол. При помещении пленки в водный раствор ионов ряда металлов ионы диффундируют в пленку и стимулируют диссоциацию комплекса КТ/ПАН. В отсутствие ионов люминесценция КТ в комплексе потушена из-за резонансной безызлучательной передачи энергии от КТ к молекуле ПАН. При наличии ионов металлов в результате диссоциации комплекса КТ/ПАН возникает собственная люминесценция КТ, интенсивность которой пропорциональна концентрации ионов металлов в анализируемой пробе. Поскольку возбуждение люминесценции КТ осуществляется оптическим излучением, встает вопрос о возможной фотодиссоциации сенсора и ее влиянии на параметры люминесцентного отклика сенсора. Эта информация необходима для определения параметров возбуждения, при которых возможно использование сенсора в аналитических применениях.

Целью данной работы является изучение изменения параметров люминесценции (интенсивности и времени затухания) как изолированных КТ, так и КТ в комплексах с ПАН в полимерной среде в зависимости от интенсивности и энергии (времени облучения при заданной интенсивности) возбуждающего излучения. Отметим, что анализ времени затухания люминесценции КТ позволяет уточнить данные, полученные из измерения интенсивностей люминесценции КТ, поскольку последние могут зависеть от ряда неконтролируемых параметров, таких как концентрация КТ в освещаемом объеме, толщина полимерных пленок и т.д. [2].

Используемые материалы и методы исследования

Для приготовления комплексов КТ/ПАН были использованы полупроводниковые квантовые точки CdSe/ZnS типа ядро/оболочка, синтезированные по методике [3]. Положение максимума полосы люминесценции КТ ~ 530 нм. Образование комплекса связано с тем, что ПАН способен присоединяться к поверхности КТ посредством координационной связи с атомами Zn [4]. Приготовление образцов для исследования происходило следующим образом. Сначала приготавливались отдельно толуольные растворы КТ CdSe/ZnS (концентрация $5,8 \times 10^{-4}$ М) и ПАН (концентрация $5,8 \times 10^{-3}$ М). Затем они смешивались с полиуретановым двухкомпонентным клеем Novacote NC-250-A и отвердителем CA-350 фирмы NOVACOTE в следующих соотношениях: к 1,5 мл раствора КТ прибавлялось 1,5 мл раствора ПАН, затем к смеси добавлялись по 1 мл клея Novacote NC-250-A и CA-350. Полученную смесь наносили на лавсановую подложку. После нанесения пленки сушились около 15 мин. при температуре воздуха 100°C , а затем в течение суток при комнатной температуре. При таком объемном соотношении полимерного клея и вводимых в него толуольных растворов КТ и ПАН нами были получены образцы пленок толщиной 1–3 мкм, содержащие КТ и молекулы ПАН с отношением концентраций КТ/ПАН, равным 1:10, а также пленки, содержащие только КТ. Комплексы КТ/ПАН в пленке образовывались в результате диффузии молекул к КТ в полимерной матрице. Образование комплексов контролировалось как по возникновению полосы поглощения, характерной для ПАН, связанного с Zn, так и по тушению люминесценции КТ. В качестве примера на рис. 1 приведены спектры люминесценции приготовленных образцов пленок с разным соотношением КТ/ПАН, полученные с использованием спектрофлуориметра «Флюорат-02-Панорама».

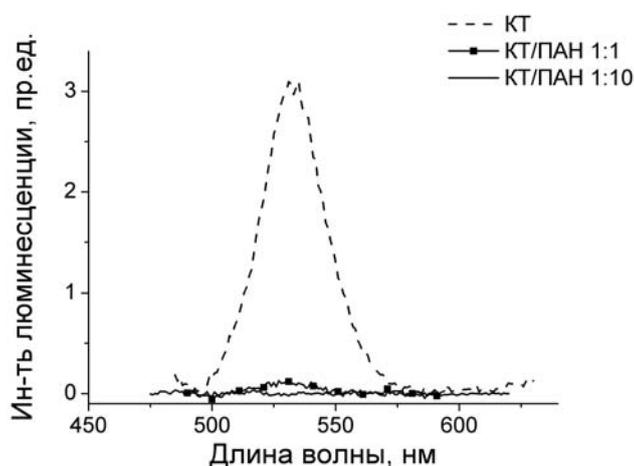


Рис. 1. Спектры люминесценции полимерной пленки с КТ и с комплексами КТ/ПАН с отношением концентраций КТ/ПАН, равным 1:1 и 1:10

Видно, что увеличение относительного содержания ПАН приводит к тушению люминесценции КТ вследствие образования комплексов КТ/ПАН. При соотношении КТ/ПАН более 1:1 люминесценция КТ практически полностью потушена.

Для временных люминесцентных измерений использовался лазерный сканирующий люминесцентный микроскоп MicroTime100, в котором возбуждение люминесценции создается полупроводниковым импульсным лазером с длиной волны 409 нм. Частоту следования импульсов, а также интенсивность излучения можно было регулировать. Помимо измерения интенсивности люминесценции в заданном спектральном диапазоне, прибор может также измерять времена затухания люминесценции с использованием техники коррелированного счета одиночных фотонов в режиме обращенного времени.

Используя пошаговое сканирование заданной области образца лазерным лучом, можно измерять интенсивность и время затухания люминесценции в каждой точке области, а также получать интегральные значения по всей области сканирования. Спектральная область анализируемой полосы люминесценции выбирается с помощью подходящего светофильтра. При регистрации люминесценции КТ мы использовали светофильтр ЗС-1, полоса пропускания которого совпадает с полосой люминесценции квантовых точек.

В эксперименте измерялись интегральные значения интенсивности и времени затухания люминесценции области образца размером 10×10 мкм. Для получения зависимостей этих параметров люминесценции от интенсивности возбуждающего света измерения производились при однократном сканировании выбранной области. Для изучения влияния энергии (времени облучения при заданной интенсивности) возбуждающего излучения проводилось многократное сканирование этой области с регистрацией интенсивности и времени затухания после определенного числа сканирований. Заметим, что за одно сканирование каждая точка облучается в течение $\sim 2,4$ с. Плотность мощности варьировалась в диапазоне $0,4\text{--}96,0$ Вт/см², при этом плотность энергии возбуждающего излучения меняется в диапазоне $1,0\text{--}230,5$ Дж/см². Было проведено до 25 сканирований каждого образца пленок, что соответствует полному времени экспозиции до 60 с и плотности энергии в диапазоне $60\text{--}5760$ Дж/см². Заметим, что освещаемая площадь составляет 100 мкм².

Предварительные эксперименты показали, что затухание люминесценции хорошо описывается трехэкспоненциальной зависимостью с отличающимися временами, что характерно для CdSe квантовых точек в полимерной пленке [5]. Для анализа кинетики затухания люминесценции использовано среднее время релаксации люминесценции

$$\langle \tau \rangle = \frac{\sum_i A_i \tau_i^2}{\sum_i A_i \tau_i},$$

где A_i и τ_i – амплитуды и времена затухания i -го компонента.

Результаты и обсуждение

На первом этапе работы были проведены исследования люминесценции образцов полимерной пленки, содержащей только квантовые точки. На рис. 2 показаны зависимости интенсивности и времени затухания люминесценции КТ от интенсивности лазерного излучения.

Видно, что с увеличением интенсивности лазерного излучения от $0,4$ до $\sim 2,0$ Вт/см² наблюдается линейное возрастание интенсивности люминесценции. При этом среднее время затухания люминесценции КТ, равное ~ 10 нс, практически не меняется. При дальнейшем увеличении мощности возбуждения до $9,6$ Вт/см² имеют место сверхлинейный рост интенсивности люминесценции КТ и уменьшение времени затухания до ~ 8 нс. Поскольку, однако, интенсивности возбуждения в этом диапазоне существенно превышают обычно используемые при возбуждении сенсоров, анализ этих эффектов лежит вне рамок данной работы.

На рис. 3 показаны зависимости параметров люминесценции квантовых точек от энергии лазерного излучения при фиксированной интенсивности возбуждения $1,0$ Вт/см² и $4,3$ Вт/см². Приведенные данные показывают, что в диапазоне изменения энергий $1,0\text{--}260$ Дж/см² интенсивность и время затухания люминесценции КТ в полимере практически не меняются. Таким образом, в рассматриваемом диапазоне изменения интенсивности и энергии возбуждающего излучения оно не оказывает заметного влияния на интенсивность и время затухания люминесценции КТ. В то же время в образцах пленок, содержащих комплексы КТ/ПАН при различных относительных концентрациях КТ

и ПАН в комплексе, обнаружены существенные изменения как интенсивности, так и времен затухания люминесценции КТ. Для иллюстрации на рис. 4 приведены зависимости интенсивности и времени затухания люминесценции образцов пленок, содержащих комплексы КТ/ПАН с молярным соотношением 1:10, от интенсивности лазерного излучения.

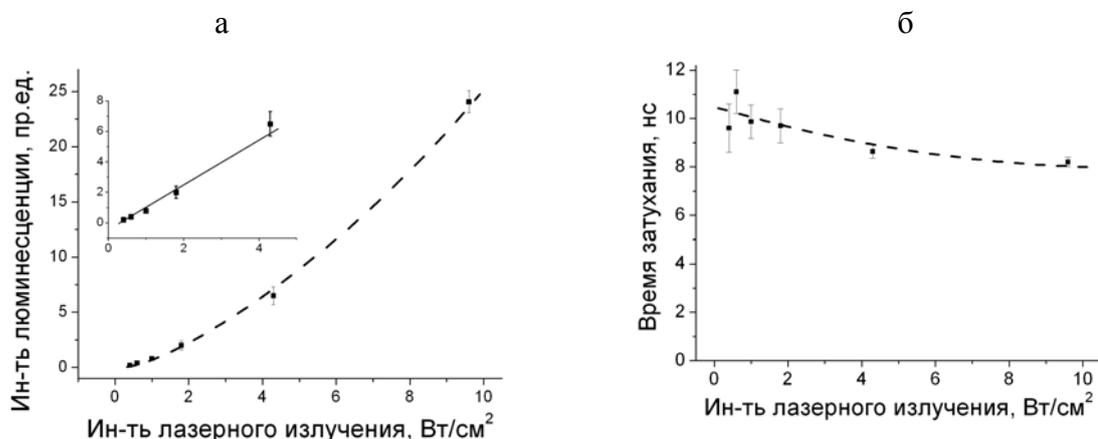


Рис. 2. Зависимости параметров люминесценции КТ в пленке от интенсивности лазерного излучения: а – интенсивность люминесценции; на вставке подробно показан начальный участок зависимости; б – время затухания люминесценции

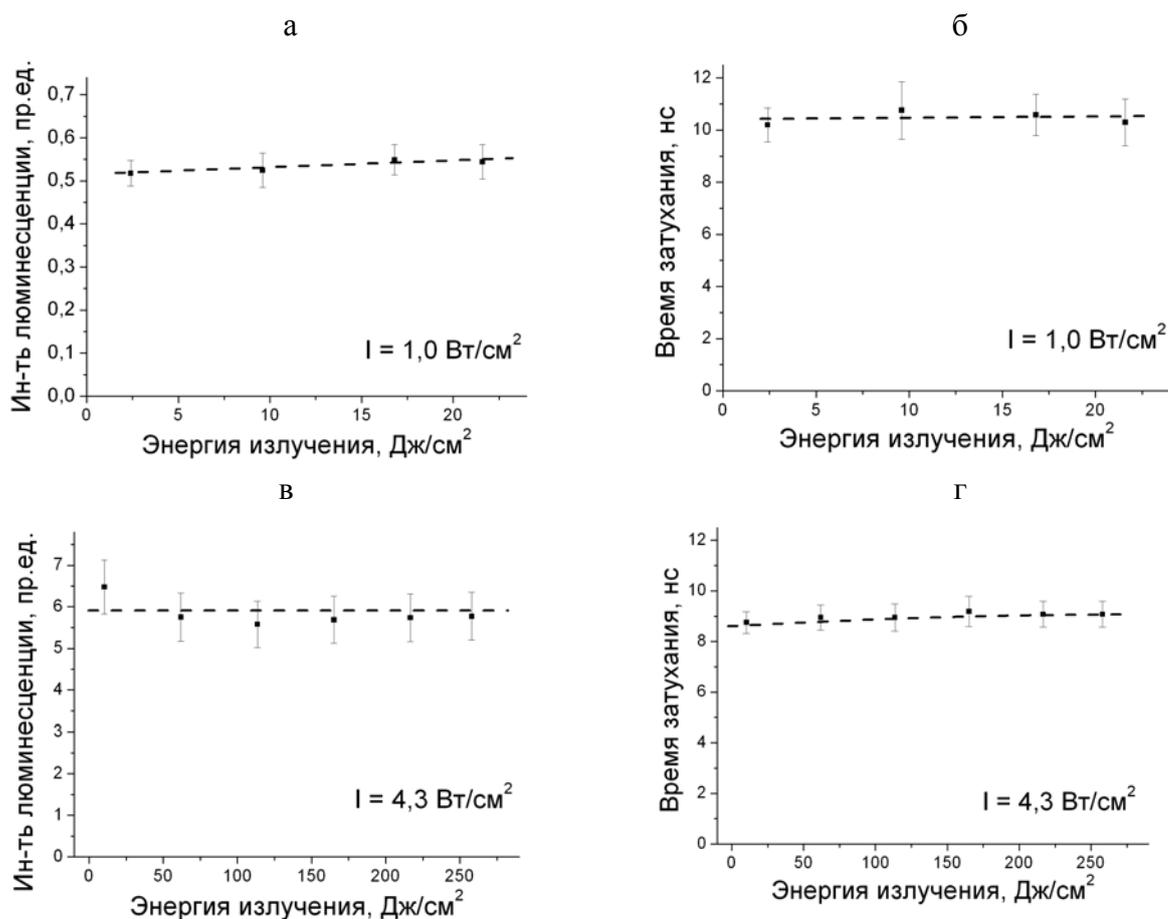


Рис. 3. Зависимости интенсивности (а),(v) и времени затухания (б),(г) люминесценции КТ в полимере от энергии лазерного излучения: а, б – интенсивность 1,0 Вт/см², в, г – интенсивность 4,3 Вт/см²

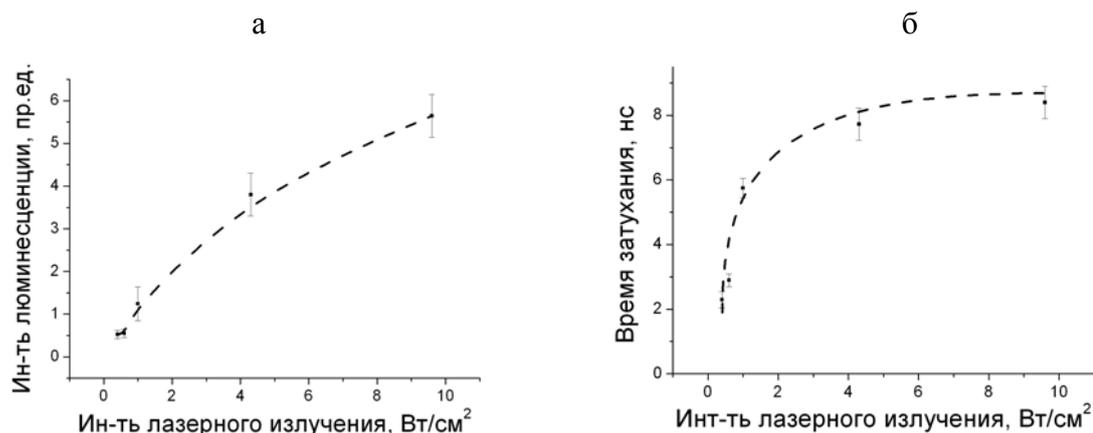


Рис. 4. Зависимости параметров люминесценции КТ в комплексе с ПАН в пленке от интенсивности лазерного излучения: а – интенсивность люминесценции, б – время затухания люминесценции

Видно, что изменение параметров люминесценции квантовых точек в комплексе с ПАН не похоже на изменение параметров люминесценции образцов, содержащих только КТ в полимере. Из рис. 4, а, видно, что при малых интенсивностях возбуждения ($< 0,7 \text{ Вт/см}^2$) пленка практически не люминесцирует, но при дальнейшем увеличении мощности возбуждения наблюдается увеличение интенсивности люминесценции КТ. Время затухания люминесценции также испытывает резкий рост до значений, близких к временам затухания люминесценции КТ в отсутствие ПАН.

Вид кривых позволяет предположить возникновение процесса фотодиссоциации комплекса с появлением свободных люминесцирующих КТ при интенсивности возбуждения свыше $0,7 \text{ Вт/см}^2$. Для уточнения этого обстоятельства были получены зависимости интенсивности и времени затухания люминесценции пленок с комплексами КТ/ПАН (1:10) от энергии возбуждающего излучения [6] при его интенсивности $0,7 \text{ Вт/см}^2$. Соответствующие зависимости приведены на рис. 5. Эти данные показывают, что при увеличении энергии возбуждения (времени экспозиции образца) наблюдается рост интенсивности люминесценции КТ, что соответствует увеличению концентрации свободных КТ в полимерной пленке. При энергиях, больших 25 Дж/см^2 , зависимость выходит на насыщение, демонстрируя, что практически все комплексы диссоциировали. При близких, но несколько больших значениях энергии время затухания люминесценции также соответствует значениям, характерным для свободных КТ в полимерной матрице.

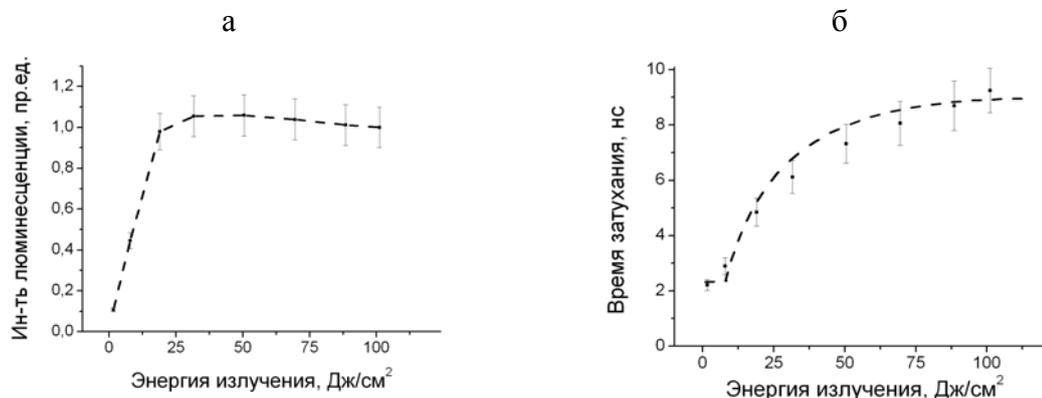


Рис. 5. Зависимость интенсивности (а) и времени затухания (б) люминесценции КТ в комплексе с ПАН в полимере от энергии лазерного излучения при интенсивности $0,7 \text{ Вт/см}^2$

Таким образом, полученные данные подтверждают, что под воздействием лазерного излучения происходит процесс фотодиссоциации комплекса КТ/ПАН. Данное явление требует более детального изучения этого процесса при меньших потоках лазерного излучения. Следует отметить, что вклад процесса фотодиссоциации становится заметным только при энергии возбуждающего излучения, превышающей 2 Дж/см^2 , что существенно больше, чем энергии возбуждения при стандартных люминесцентных измерениях.

Заключение

В работе были исследованы изменения интенсивности и времени затухания люминесценции CdSe/ZnS КТ и CdSe/ZnS КТ в комплексах с органической молекулой, ПАН, в полимерной пленке под воздействием лазерного излучения. Обнаружено, что под действием оптического излучения, возбуждающего люминесценцию КТ, возможен процесс фотодиссоциации комплекса с появлением свободных люминесцирующих КТ. Получены зависимости интенсивности и времени затухания люминесценции КТ от интенсивности и энергии возбуждения. Показана возможность использования комплекса КТ/ПАН в качестве люминесцентного сенсора.

Литература

1. Федоров А.В., Баранов А.В. Оптика квантовых точек // В кн.: Оптика наноструктур. / Под ред. А.В. Федорова. – СПб: Недра, 2005. – 181 с.
2. Yi-Cheun Yeh, Chi-Tsu Yuan, Chia-Cheng Kang, Pi-Tai Chou, Jau Tang. Influences of light intensity on fluorescence lifetime of nanorods and quantum dots // Applied Physics Lett. – 2008. – V. 93. – P. 223110.
3. Hines M.A., Guyot-Sionnest P. Synthesis and characterization of strongly luminescing ZnS-capped CdSe nanocrystals // J. Phys. Chem. – 1996. – V. 100. – P. 468–471.
4. Иванов В.М. Гетероциклические азотсодержащие азосоединения. – М.: Наука, 1982. – 270 с.
5. Zen'kevich É.I., Sagun E.I., Yarovoi A.A., Shul'ga A.M., Knyukshto V.N., Stupak A.P., C. von Borzyskowski. Photoinduced Relaxation Processes in Complexes Based on Semiconductor CdSe Nanocrystals and Organic Molecules // Optics and Spectroscopy. – 2007. – V. 103. – № 6. – P. 958–968.
6. Теренин А.Н. Фотофизика молекул красителей и родственных органических соединений. – Л.: Наука, 1967. – 616 с.

<i>Ушакова Елена Владимировна</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, студентка, linkin_spb@list.ru
<i>Орлова Анна Олеговна</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, старший научный сотрудник, udifa@mail.ru
<i>Баранов Александр Васильевич</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, начальник отдела, a_v_baranov@yahoo.com

3

ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 004.93.11; 537.639; 550.8.053; 681.512; 681.512

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЩЕЛИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕРМОСОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

А.В. Петленко, А.Г. Коробейников, П.А. Сергушин

Рассмотрен метод определения метрических характеристик проводящих объектов для автоматизированных систем проведения электросварочных работ. Проведен анализ на предмет использования методов выделения геомагнитных аномалий для задач определения местоположения щели и контроля качества термосоединений непосредственно в процессе выполнения электросварочных работ.

Ключевые слова: магнитометрия, дефектоскопия, конформное отображение, электросварка.

Введение

Сенсорное восприятие промышленными роботами информации о рабочей среде позволяет реализовать их адаптивную подстройку и тем самым повысить эффективность выполнения ими технологических операций. Традиционным средством решения этих задач является использование систем технического зрения [1]. Однако, если трактовать понятие рабочей среды в широком смысле, то к этим системам можно отнести различные классы технических устройств – от радиолокационных станций и радиодальномеров до рентгеновских томографов и дефектоскопов. Различия в принципах и спектральном диапазоне их функционирования несущественны, если решается одна и та же задача – определение метрических характеристик объекта или их совокупности по регистрируемым особенностям рассеяния на нем (или на них) электромагнитного излучения.

Автоматизация таких металлоемких производств, как строительный монтаж или электросварка, может быть реализована с использованием современных технических средств и методов геофизики. Цель настоящей работы состоит в том, чтобы продемонстрировать возможность определения метрических характеристик проводящих объектов по результатам измерения особенностей рассеяния на них электромагнитного излучения в диапазоне радиочастот и квазипостоянных полей, фиксируемых системой магниточувствительных датчиков. Показано также, что по ряду показателей информативность этой системы будет более высокой, чем у традиционно используемых систем оптического зрения.

Теоретические положения

Для поиска полезных ископаемых, различных ферромагнитных объектов, т.е. определения магнитных аномалий, разработаны достаточно хорошо зарекомендовавшие себя методы геофизики [2]. В связи с появлением новой элементной базы для магнитометрических комплексов, для которой характерно уменьшение массогабаритных характеристик, появилась возможность применения этих методов и в других приложениях, например, для решения задачи определения местоположения щели и контроля качества термосоединений непосредственно в процессе выполнения электросварочных работ.

Решение названной задачи основано на фундаментальной теореме Гаусса, оговаривающей глубину залегания точечного магнитного диполя, создающего анома-

лию, с ее полушириной. Селективная фильтрация вариаций поля позволяет детализировать структуру объекта. Поляризационные отношения векторных компонент поля вариаций для разных спектральных составляющих позволяют определить углы залегания и простирания границ неоднородностей на разных глубинах. Значения этих углов выражаются посредством фазовых соотношений для соответствующих спектральных составляющих векторных компонент возмущений (аномалий) поля, вызванных одними и теми же неоднородностями.

Задача определения метрических характеристик

Посмотрим, как влияют граничные условия на распределение особенностей электромагнитного поля вблизи границ неоднородностей. На рис. 1 представлены векторные компоненты изменений поля, вызванных перемещением стального уголка относительно магнитных датчиков.

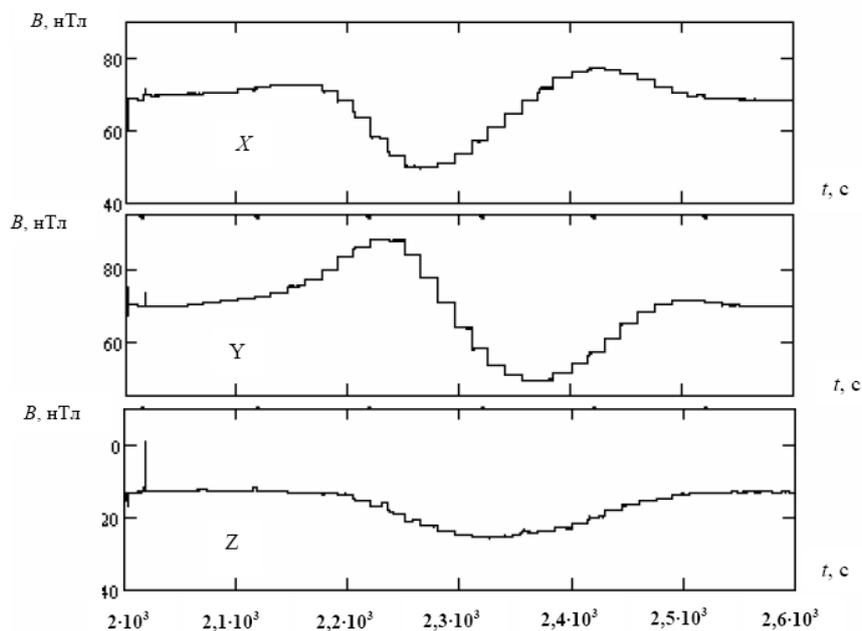


Рис. 1. Векторные компоненты поля

Хотя проведенные измерения позволяют с точностью в 1% определить длину и даже слабый (не больше 1°) наклон оси уголка при его перемещении, метрические измерения нельзя считать удовлетворительными, если необходима установка объекта с допуском $\pm 0,05$ см. Дело, во-первых, в том, что при указанной точности посадки детали модель ее намагниченности должна более точно учитывать ее конфигурацию. Во-вторых, магнитное поле убывает очень быстро – обратно пропорционально квадрату расстояния до источника. Поэтому измерения поля необходимо производить на небольшом (порядка 10 см) расстоянии от границ уголка. Однако здесь возникает очередная проблема. На рис. 1 хорошо заметно относительное запаздывание измеренных векторных компонент. Величина запаздывания в точности совпадает с расстоянием между компонентными датчиками, т.е. разные компоненты поля измеряются в разных точках. Но магнитное поле – это векторное поле. А над векторами, определенными в разных системах координат, нельзя производить операции сложения–вычитания. Это означает, в частности, что не удастся качественно разделить полезный сигнал и (аддитивную) шумовую составляющую, измеряя разные компоненты поля в точках, удаленных на одинаковое расстояние друг от друга и от границ исследуемого объекта.

Итак, в первую очередь необходимо найти более приемлемый способ измерения магнитных полей.

Представленные на рис. 1 поля измерялись торсионными датчиками, принцип действия которых основан на измерении токов компенсации, стабилизирующих положение магниточувствительного элемента, находящегося на оси вращения во внешнем измеряемом поле, и поле компенсирующей обмотки. Как видно из таблицы, в которой приводится краткая сводка различных способов детектирования магнитного поля, чувствительность этих датчиков очень высока (ее порог не превышает $1 \text{ пТл/Гц}^{1/2}$), но габариты велики (порядка 10 см), а частотный диапазон ограничен (примерно 10 Гц).

Однако из последней строки таблицы видно, что магнитопленочные (магниторезистивные) датчики меняют свое сопротивление при изменениях внешнего магнитного поля, и при включении в стандартную измерительную схему соответствующие изменения отображаются как флуктуации напряжения в широком диапазоне частот. Габариты этих датчиков очень малы, а чувствительность (с порогом $1 \text{ нТл/Гц}^{1/2}$), хотя и не очень высока, но вполне достаточна, чтобы измерять вариации поля на расстоянии порядка 10^2 см с превышением 20 дБ над уровнем измерительных шумов. На расстоянии в 10 см от измеряемого объекта соответствующее превышение составит порядка 60 дБ.

Типы датчиков	Габариты D , см	Чувствительность S , пТл/Гц ^{1/2}	Частота F , Гц	Прочие
Индукционные	0,1–100	1	$10^{-2} - 10^5$	S определяется габаритами
Торсионные	10	1	не менее 10	S критична к перемещениям
Квантовые и протонные	10	1–100	не менее 10	Необходимость накачки
Феррозондовые	0,1–1	10–100	не менее 10	Необходимость перемагничивания
Магнитопленочные (магниторезистивные)	0,1	1000	$10^{-3} - 10^8$	Низкая S

Таблица. Различные типы датчиков измерения магнитного поля

Простейшей системой, осуществляющей редукцию компонент поля, измеренного в разных точках, к точечным измерениям, является градиентная схема расположения магнитных датчиков. Отношение сигнал/помеха в этой системе при разносе компонентных датчиков примерно на 0,1 см и их удалении от границ исследуемого объекта на расстояние порядка 10 см, очевидно, останется не хуже 40 дБ, что позволяет проводить регистрацию особенностей поля, связанных с особенностями границ объекта.

При расчете поля вблизи границ проводящих объектов удобно воспользоваться методами пробного, или вынуждающего, воздействия, широко использующимися в геофизике при зондировании неоднородностей земной коры. Пробный сигнал излучается токовой петлей, или линией, радиофизическими аналогами которых являются индукционная рамка и вибратор Герца или обычная штыревая антенна. Рассеянный на неоднородностях сигнал детектируют, измеряя магнитные и (или) электрические поля. Ясно, что наличие хорошо проводящих структур приводит к увеличению доли отраженного сигнала в поле рассеяния. Варьируя положения излучателя и приемников, а также частоту зондирующего воздействия, оценивают и положение границ сред различной проводимости. Принципиальное различие определения этих границ и границ сред с разной намагниченностью – только в том, что последние сами являются источниками возмущений поля, не требуя дополнительного индуцирующего воздействия.

Если положить ток пробного источника установившимся (рис. 2, а), получим стационарную картину распределения поля в его окрестности. Посмотрим, как меняется эта картина в зависимости от изменения граничных условий, связанных только с изменением геометрии идеального проводника в поле линии постоянного тока. Строгое решение может быть получено как решение уравнения Лапласа [3] для идеально проводящего клина. Простое аналитическое решение получается, если токовая линия располагается вдоль ребра, образованного гранями клина, а угол между этими гранями α кратен 2π . Если $\alpha = \pi$, получим распределение поля для линии тока вблизи отражающего полупространства (рис. 2, б). Для прямоугольного клина ($\alpha = \pi/2$) число особенностей поля, связанных с появлением зеркальных источников, возрастает (рис. 2, в), а распределение компонент поля меняется относительно аналогичного распределения поля такого же источника в свободном пространстве так, как это показано на рис. 2, г, д.

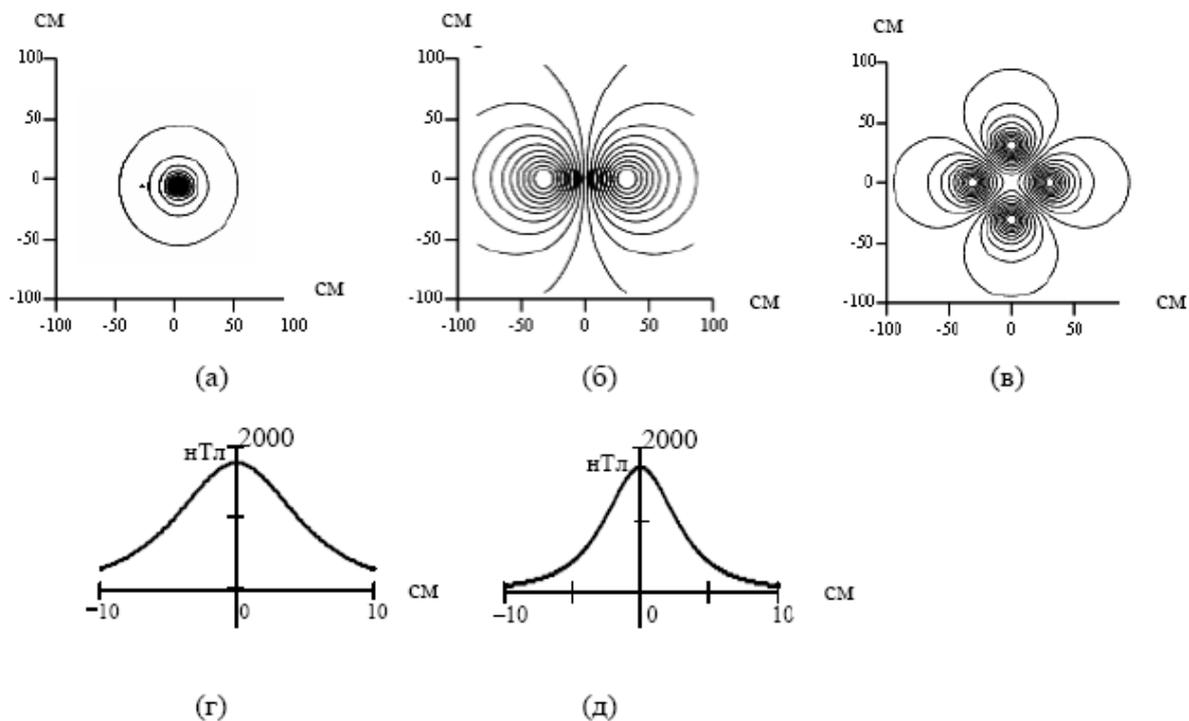


Рис. 2. Исследование магнитного поля пробного источника: а – ток пробного источника; б – распределение поля для линии тока вблизи отражающего полупространства; в – особенности поля, связанные с появлением зеркальных источников; г – распределение компонент поля при $\alpha = 2\pi$; д – распределение компонент поля при $\alpha = \pi$.

Полученные решения позволяют перейти к рассмотрению более сложных и интересных с практической точки зрения граничных задач. Поскольку мы уже знаем, что магнитные измерения следует проводить вблизи границ проводящих объектов (на расстоянии порядка 10 см), то ограничимся классом $2D$ задач, формулировка которых в виде уравнения Лапласа подразумевает возможность использования техники конформных отображений комплексной плоскости в рамках принципа соответствия границ [3].

Воспользуемся решением задачи о распределении поля вблизи отражающего полупространства, конформным отображением $s = \coth(z/2)$ комплексной полуплоскости $\{z\}$ на полосу $[0, i\pi]$ плоскости $\{s\}$. Используя отображение $w = 2h\pi^{-1}((e^s + 1)^{1/2} + \ln((e^s + 1)^{1/2} - 1) - s/2)$ внутренности этой полосы на внешность прямоугольного клина, приподнятого на высоту h над вещественной осью плоскости $\{w\}$, найдем распределе-

ние поля вблизи щелевого зазора шириной $2h$ при различных положениях линии тока, ориентированной вдоль щели. Возможность пересчета поля для разных положений источника следует из принципа симметрии, характерного для конфигурации щели, и инвариантности поля токовой линии относительно ее смещения вдоль границы отражающего полупространства.

Выполним замену переменных, приняв $t = e^{s/2}$. При вещественных t замена $u = \arcsin t$ приводит к соотношениям $w = \cos u + \ln(\operatorname{th}(u/2))$, $t = \sin u$. Графически функциональная зависимость $w(u)$ представляется в виде кривой преследования, особая точка которой (точка возврата) проецируется точно в центр щели. Эта кривая является дискриминантной для рассмотренной граничной задачи. Отображение $s(z)$ характеризует поляризационные, а $t(s)$ – фазовые соотношения для измеряемых компонент поля, т.е. особенности границ проводящих сред в поле рассеяния вынуждающего воздействия определяются так же, как и неоднородности намагниченности.

С практической точки зрения рассмотренная задача имеет очевидное ограничение. Предположим, что зазор образован парой прямоугольных клиньев. Тогда при нахождении положения зазора между пластинами конечной толщины такое предположение допустимо лишь для очень коротковолнового зондирующего воздействия. С другой стороны, длина волны такого воздействия должна быть соизмерима с шириной зазора – в противном случае размеры особенностей поля становятся исчезающе малыми, а сами они располагаются практически в пределах зазора, что затрудняет их наблюдение. Таким образом, необходимо решение более реалистичной задачи, учитывающей соизмеримость ширины зазора h и толщины H образующих его пластин. Такое решение было получено [4, 5] в терминах эллиптических функций, или в θ -функциях Якоби (Римана). Анализ этого решения показывает, что длина волны зондирующего воздействия при нахождении отношения H/h в интервале [5, 10] может существенно (по крайней мере, на порядок) превышать H . Особенности поля, связанные с особенностями границ проводящих пластин, при этом регистрируются на расстоянии $(2,5-3)H$ от щели. Более того, положение особенностей изменится, если пластины будут параллельны, но некомпланарны, а величина сброса будет соизмерима с шириной h .

Задача дефектоскопии при сварочных работах

Определение величины сброса, или превышения кромки одной пластины над другой, методами иконки [1, 6] при использовании традиционных систем оптического зрения может стать серьезной проблемой, но просто решается системой, использующей измерения магнитных полей, рассеянных в окрестности отражающей границы. Это, наверно, не единственный случай, когда эффективность определения особенностей этих границ магнитоизмерительными системами оказывается выше, чем у традиционно используемых систем технического зрения. Здесь же хочется, хотя бы и очень кратко, остановиться на совершенно нетрадиционном аспекте их применения. Речь идет о возможности использования магнитоизмерительных систем для контроля качества термосоединений стальных конструкций непосредственно в процессе проведения электросварочных работ.

Хорошо известно [7], что с ростом температуры намагниченность ферромагнетиков падает, достигая исчезающе малой величины вблизи так называемой точки Кюри (порядка 800°C). Температура шва в процессе сварки достигает примерно 2000°C . При скорости ведения сварочной головки в 30 см/мин на удалении 30 см от нее температура выше точки Кюри будет сохраняться в пределах 2 см от линии шва. Следовательно в пределах полосы шириной в 4 см намагниченность соединения будет иметь нулевое значение, а за пределами этой полосы будет нарастать по мере убывания температуры (рис. 3). Рас-

чет магнитного поля в зоне остывающего шва может быть получен на основе рассмотренной выше задачи. Используя результаты расчетов, можно контролировать величину допустимых отклонений поля, измеряемого в зоне провара. Эти отклонения будут характеризовать однородность провара, а, следовательно, и качество сварного соединения. Таким образом, на базе магнитоизмерительной системы возможна реализация устройств, позволяющих проводить оперативную дефектоскопию сварочных работ.

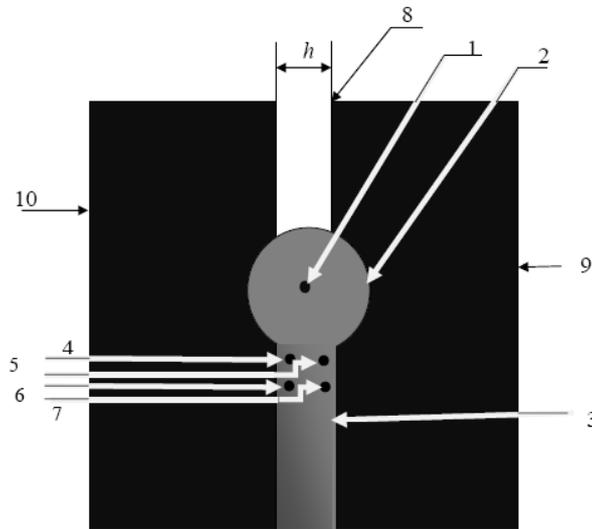


Рис. 3. Функциональная схема измерения магнитных полей в процессе электросварки:
 1 – электросварочная головка, 2 – горячая зона с температурой 2000°C и радиусом 30 см, 3 – сварной шов, 4–7 – магнитометры, 8 – щель шириной h , 9, 10 – свариваемые металлические листы

Заключение

Авторами получено решение задачи распределения магнитного поля от пробного источника заряда. Исследовано влияние на это решение различных граничных условий. Это позволяет решать в режиме реального времени задачу дефектоскопии.

Получено решение задачи нахождения зазора между пластинами конечной толщины. Это позволяет в процессе сварочных работ с требуемой точностью наводить сварочную головку на места стыка пластин.

Таким образом, можно сделать вывод о возможности решения одной из основных задач, возлагаемых на системы технического зрения – определения метрических характеристик основных составляющих элементов металлоконструкции.

Литература

1. Мошкин В.И., Петров А.А., Титов В.С., Якушенков Ю.Г. Техническое зрение роботов. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.
2. Уэйт Д.Р. Геоэлектромагнетизм. – М.: Недра, 1987. – 235 с.
3. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. – М.: Наука, 1987. – 688 с.
4. Ахиезер Н.И. Элементы теории эллиптических функций. – М.: Наука, 1970. – 284 с.
5. Пью А. Техническое зрение роботов. – М.: ИФС публичейшнз, 1987. – 319 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. Т. 8. – М.: Наука, 1982. – 620 с.
7. Пименов Ю.В. Линейная макроскопическая электродинамика: Вводный курс для радиофизиков и инженеров. – М.: Издательский Дом «Интеллект», 2008. – 536 с.

- Петленко Александр Владимирович* – Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН, научный сотрудник, Petlenko.58@mail.ru
- Коробейников Анатолий Григорьевич* – Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН, доктор технических наук, профессор, зам. директора, Korobeynikov_A_G@mail.ru
- Сергушин Павел Анатольевич* – Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН, младший научный сотрудник, Pavel.sergushin@gmail.com

УДК 621.822.172

МОДЕЛИРОВАНИЕ ШПИНДЕЛЬНЫХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА

М.С. Бундур, В.А. Прокопенко, И.А. Чернов

Приведены результаты исследований динамического качества гидростатических радиальных подшипников шпиндельных узлов современных высокопроизводительных металлорежущих станков. Рассмотрены возможности улучшения виброустойчивости за счет радиального смещения при настройке оси шпинделя. Дано описание разработанной методики выбора параметров корректирующих RC-цепей. Рассчитаны переходные процессы при различных условиях и режимах работы.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, гидростатический подшипник, шпиндельный узел, виброустойчивость, динамические характеристики, RC-коррекция.

Постановка задачи

Обработка новых материалов в промышленности сопровождается значительным возрастанием сил резания, снижением стойкости режущего инструмента и возникновением интенсивных вибраций в процессе резания, что приводит к снижению производительности и точности обработки, а также ресурса металлорежущего оборудования. В этих условиях особую значимость приобретают вопросы динамики процесса резания и повышения виброустойчивости металлообрабатывающих систем.

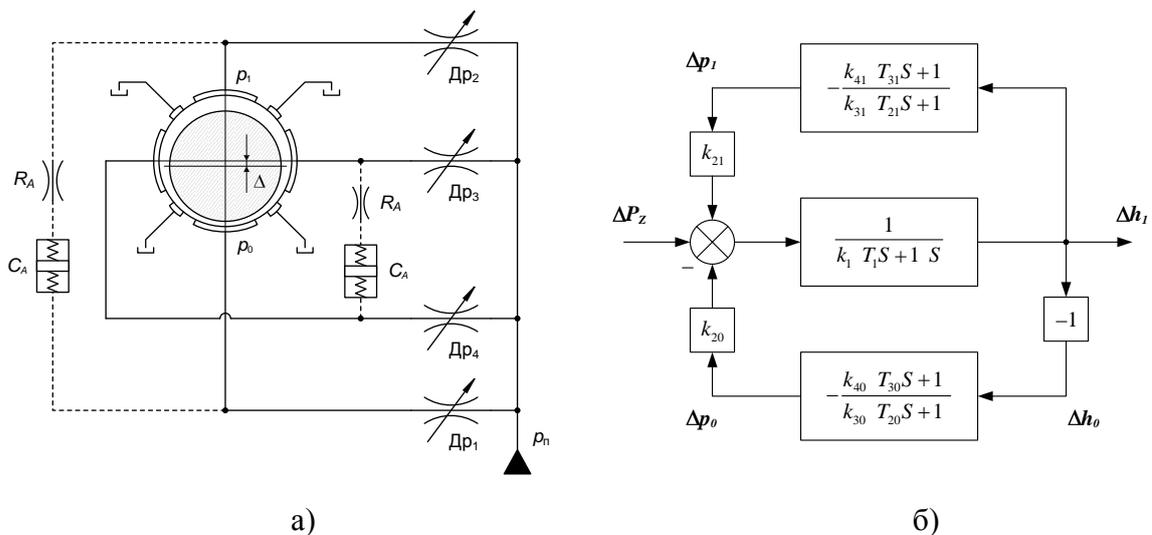


Рис. 1. Расчетная гидравлическая схема (а) и структурная схема САР (б) дроссельного ГСП для неконцентричного положения шпинделя

В значительной степени виброустойчивость металлорежущих станков (МРС) определяется характеристиками их шпиндельных узлов (ШУ). В большинстве случаев ШУ оказывают доминирующее влияние на колебательные процессы при обработке резанием, а от их динамических характеристик зависит характер колебаний. Резервы совершенствования ШУ за счет усложнения конструкции традиционных опор качения практически исчерпаны. Возможным решением проблемы является переход к более широкому внедрению в ШУ МРС гидростатических подшипников (ГСП). Анализ результатов испытаний и исследований различных конструкций ШУ показывает заметные преимущества ГСП: повышенные жесткость, нагрузочная способность, демпфирование, долговечность и т.д. Более широкое использование ГСП в ШУ связано с необходимостью повышения виброустойчивости во всем диапазоне режимов резания, охватывающем как черновые, так и чистовые процессы.

Объектом исследования выбран гибкий производственный модуль ЛР400ПМФ-4, в ШУ которого установлены два радиальных ГСП с дроссельной системой управления (рис. 1, а). Основные параметры ШУ: радиальная составляющая силы резания 0–10 кН; давление питания 8,5 МПа; максимальная частота вращения шпинделя 4000 об/мин; мощность привода главного движения 30 кВт; диаметр шпинделя 125 мм.

ГСП представляет собой систему автоматического регулирования (САР). Достаточно удобно в процессе проектирования оценку динамических показателей САР производить на основании анализа логарифмических амплитудно-частотных (ЛАЧХ) и фазо-частотных (ЛФЧХ) характеристик математической модели ГСП, используя широко известный аппарат теории автоматического управления [1].

Математическая модель

Математическая модель САР ГСП разработана при следующих допущениях [2]: поток жидкости в дросселирующих перемычках опор считается одномерным, плоско-параллельным; цилиндрическая поверхность ГСП рассматривается как плоская опора; режим течения жидкости – ламинарный; температура и вязкость жидкости остаются постоянными; сила тяжести и инерции жидкости незначительны по сравнению с вязким сопротивлением; гидросопротивления в магистралях пренебрежительно малы; поверхности опор – абсолютно жесткие; сжимаемость жидкости в зазорах опор не учитывается; истечение через углы опор не учитывается.

Основные расчетные параметры опор ГСП: p_0 – давление жидкости в кармане нижней опоры, p_1 – давление жидкости в кармане верхней опоры, h_0 – зазор между шпинделем и опорой с давлением p_0 , h_1 – зазор между шпинделем и опорой с давлением p_1 , $p_{\text{п}}$ – давление питания, P_z – внешняя радиальная нагрузка.

При традиционном использовании в ГСП четырехопорной схемы САР включает в себя два независимых канала управления (по вертикальной и горизонтальной осям), и ее поведение рассматривается с учетом принципа суперпозиции. В этом случае каждый из упомянутых каналов управления представляет собой гидростатическую опору с силовым замыканием при равенстве начальных давлений, $p_0 = p_1$.

Объектом регулирования ГСП является шпиндель, входным параметром САР – нагрузка $P_z(t)$, выходным – рабочий зазор (перемещение) $h_0(t)$ или $h_1(t)$. САР ГСП описывается уравнениями равновесия шпинделя и баланса расходов через опоры ГСП. Система дифференциальных уравнений, представляющая собой математическое описание нелинейной модели ГСП, имеет следующий вид (при одинаковых размерах опор, что обычно характерно для ГСП):

$$\left\{ \begin{aligned} M\ddot{h}_1 &= P_z - \frac{P_0 - P_1}{2} (B + bL) - \mu\dot{h}_1 \left(\frac{1}{4h_0^3} + \frac{1}{4h_1^3} \right) \left[B - b^3 l + L - l^3 b \right], \\ \frac{P_n - P_1}{R_{др1}} &= \frac{p_1 h_1^3}{3\mu} \left(\frac{l}{B-b} + \frac{b}{L-l} \right) + \frac{V_{пр1}}{E_m} \dot{p}_1 + \dot{h}_1 (Bl + bL - 2bl), \\ \frac{P_n - P_0}{R_{др2}} &= \frac{p_0 h_0^3}{3\mu} \left(\frac{l}{B-b} + \frac{b}{L-l} \right) + \frac{V_{пр0}}{E_m} \dot{p}_0 + \dot{h}_0 (Bl + bL - 2bl), \\ h_0 &= h_\Sigma - h_1, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где использованы следующие обозначения: M – приведенная масса шпиндельного узла; B , L – ширина и длина опоры ГСП; b , l – ширина и длина кармана опоры; μ – динамическая вязкость жидкости; $R_{др}$ – гидравлическое сопротивление дросселей; $V_{пр}$ – приведенные объемы карманов опор; E_m – модуль объемной сжимаемости жидкости; $h_\Sigma = h_0 + h_1$ – суммарный зазор в ГСП.

Полученная система уравнений является нелинейной системой второго порядка. Наиболее удобные в инженерной практике методы анализа и синтеза динамических систем относятся к исследованию их линеаризованных моделей. В связи с этим для упрощения анализа проводится линеаризация нелинейных уравнений разложением в ряд Тейлора в окрестностях начальной точки. Далее производится преобразование по Лапласу линеаризованной системы и переход к операторной форме записи уравнений, для чего вводят соответствующие обозначения коэффициентов и постоянных времени [3]. При этом в уравнениях динамики системы приращения переменных обозначаются, как сами переменные. Система уравнений (1) примет вид

$$\left\{ \begin{aligned} k_1(T_1 S + 1)S \Delta h_1 &= \Delta P_z + k_{21} \Delta p_1 - k_{20} \Delta p_0, \\ -k_{41}(T_{31} S + 1) \Delta h_1 &= k_{31}(T_{21} S + 1) \Delta p_1, \\ -k_{40}(T_{30} S + 1) \Delta h_0 &= k_{30}(T_{20} S + 1) \Delta p_0, \end{aligned} \right. \quad (2)$$

где k_{ij} и T_{ij} – коэффициенты и постоянные времени.

Для одинаковых размеров опор, а также при равных давлениях, но при разных зазорах и неконцентричном положении шпинделя, структурная схема САР, соответствующая системе уравнений (2), приведена на рис. 1, б.

Анализ динамических свойств

Как уже отмечено выше, анализ динамического качества ГСП удобно проводить на основе ЛАФЧХ для САР с последующей проверкой построением переходных процессов при ступенчатом нагружении как малыми, так и большими нагрузками с учетом нелинейности исходной математической модели.

Основным параметром при оценке динамического качества является запас по фазе $\Delta\varphi$ на частоте среза $\omega_{ср}$ [1].

На рис. 2 представлена ЛАЧХ (кривая 1) и соответствующая ей ЛФЧХ (кривая 1') для исходного варианта ГСП при концентричном положении шпинделя. Фактический запас по фазе при этом составляет $\Delta\varphi_1 = 14,8^\circ$ на частоте среза $\omega_{ср1} = 4012 \text{ с}^{-1}$.

Как показывают исследования [3], динамические характеристики ГСП можно улучшить, смещая ось шпинделя в радиальном направлении. Такое смещение оси шпинделя (рис. 1, а) достигается путем настройки гидравлического сопротивления дросселей, через которые в ГСП подается рабочая жидкость (масло). На рис. 2 изобра-

жены ЛАЧХ (кривая 2) и ЛФЧХ (кривая 2') варианта ГСП при смещении оси шпинделя $\Delta = 15 \text{ мкм}$. При этом фактический запас по фазе возрастает до $\Delta\varphi_1 = 33^\circ$ на частоте среза $\omega_{\text{ср1}} = 4012 \text{ с}^{-1}$. Во всех вариантах со смещением величина $\Delta\varphi$ несколько ниже минимально допустимого значения $\Delta\varphi = 40^\circ$ [1], но больше исходного варианта ($\Delta = 0$). Из вариантов смещения выбирается вариант, близкий к минимальному допустимому запасу, $\Delta = 15 \text{ мкм}$.

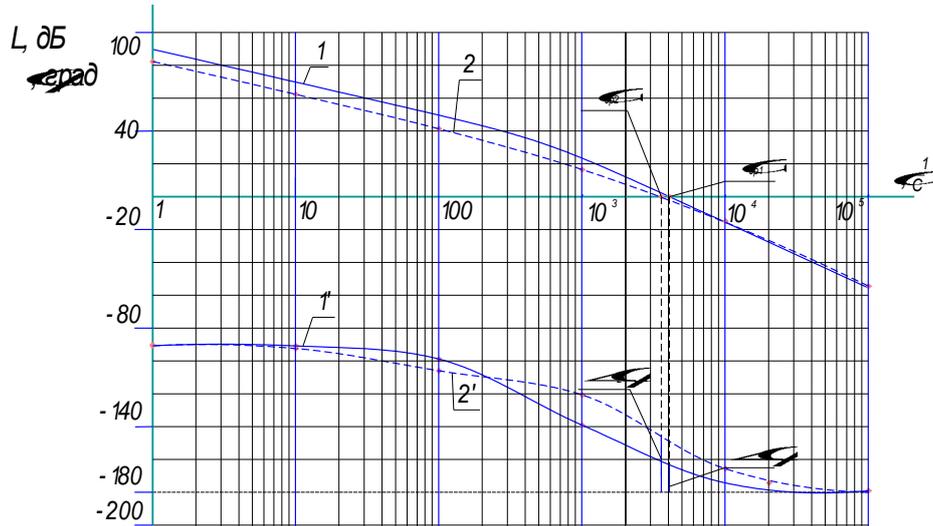


Рис. 2. ЛАЧХ и ЛФЧХ для концентричного (кривые 1 и 1') и неконцентричного положения шпинделя (кривые 2 и 2')

Для дополнительного повышения динамического качества САР ГСП при неконцентричном положении оси шпинделя необходимо введение коррекции ГСП с помощью РС-цепи [4], включенной между противоположащими опорами (как показано пунктирной линией на рис. 1, а). В РС-цепи последовательно включены гидравлическая емкость C_A и дроссель с гидравлическим сопротивлением R_A .

Система уравнений (1), описывающая вариант ГСП с дроссельной системой управления, при подключенной РС-цепи принимает следующий вид:

$$\begin{cases} M\ddot{h}_1 = P_z - \frac{p_0 - p_1}{2} (B + bL) - \mu\dot{h}_1 \left(\frac{1}{4h_0^3} + \frac{1}{4h_1^3} \right) [B - b^3l + L - l^3b], \\ \frac{p_n - p_1}{R_{\text{др1}}} = \frac{p_1 h_1^3}{3\mu} \left(\frac{l}{B-b} + \frac{b}{L-l} \right) + \frac{V_{\text{пр1}}}{E_M} \dot{p}_1 + \dot{h}_1 (Bl + bL - 2bl) - Q_A, \\ \frac{p_n - p_0}{R_{\text{др2}}} = \frac{p_0 h_0^3}{3\mu} \left(\frac{l}{B-b} + \frac{b}{L-l} \right) + \frac{V_{\text{пр0}}}{E_M} \dot{p}_0 + \dot{h}_0 (Bl + bL - 2bl) + Q_A, \\ Q_A + C_A R_A \dot{Q}_A = C_A (\dot{p}_0 - \dot{p}_1), \\ h_0 = h_\Sigma - h_1, \end{cases}$$

где $Q_A = \frac{1}{R_A} p' - p_1$ – составляющая расхода через RC-цепь; p' – давление в точке соединения гидравлической емкости C_A с гидравлическим сопротивлением R_A .

В связи с тем, что запас по фазе $\Delta\varphi$ является функцией двух переменных в RC-цепи – C_A и R_A , необходимо оптимизировать их значения, например, расчетом и построением трехмерной поверхности $\Delta\varphi = f(R_A, C_A)$ [5]. Расчет и анализ соответствующих ЛАЧХ и ЛФЧХ варианта САР ГСП со смещением шпинделя и при использовании RC-коррекции при $C_A = 5 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3/\text{Па}$ и $R_A = 1,6 \cdot 10^{10} \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$ показывают, что полученный при этом фактический запас по фазе равен $\Delta\varphi = 76^\circ$, т.е. соответствует показателям САР высокого динамического качества. Колебательность практически отсутствует, и такой вариант может быть принят как оптимальный вариант коррекции.

Окончательное решение по динамическому качеству САР необходимо принимать по результатам расчета и построения соответствующих переходных процессов с учетом упомянутой выше нелинейности САР при больших нагрузках (рис. 3). Достижимое при этом высокое качество на чистовых режимах может реализовываться при коррекции, значительно ухудшающей виброустойчивость на черновых операциях, что негативно сказывается на общей производительности станочного оборудования. Из анализа полученных переходных зависимостей эксцентриситета $\varepsilon = f(t)$ для больших нагрузок следует, что вариант $C_A = 5 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3/\text{Па}$ и $R_A = 1,6 \cdot 10^{10} \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$ также является оптимальным с точки зрения отсутствия колебательности (кривые 3 на рис. 3).

Практическая реализация конструкции RC-цепи для гидравлических схем и устройств имеет свои особенности, прежде всего, в части исполнения гидроемкости. Предлагается в качестве гидроемкости использовать наиболее экономичный и технологически эффективный вариант в виде стандартного металлического сильфона (ГОСТ 21482-76).

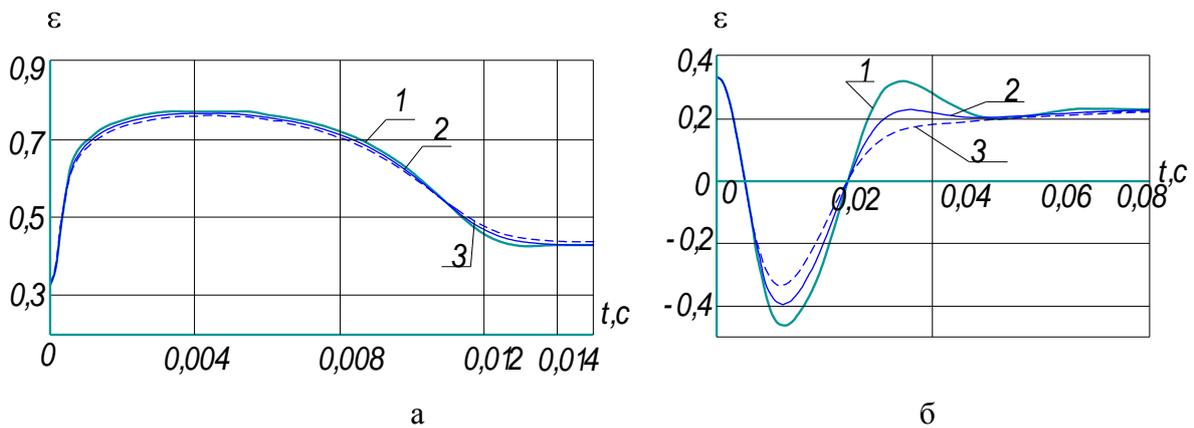


Рис. 3. Зависимости $\varepsilon = f(t)$ при большой ($P_z = 10 \text{ кН}$) положительной (а) и отрицательной (б) нагрузке с различными вариантами коррекции:

- 1 – $C_A = 5 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3/\text{Па}$, $R_A = 0,8 \cdot 10^{10} \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$; 2 – $C_A = 5 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3/\text{Па}$,
 $R_A = 1,2 \cdot 10^{10} \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$; 3 – $C_A = 5 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3/\text{Па}$, $R_A = 1,6 \cdot 10^{10} \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$

Реализация дросселя в составе RC-цепи практических сложностей не представляет. Рекомендуемый для гидростатических опор различного назначения ламинарный дроссель типа «сопло–заслонка» наилучшим образом подходит и к рассматриваемому

случаю ввиду удобства настройки рабочего зазора, надежности, компактности, технологичности и стабильности работы.

Заключение

На основании результатов выполненных исследований установлена достаточно высокая эффективность радиального смещения шпинделя в ГСП МРС на величину около 15% суммарного рабочего зазора с точки зрения повышения виброустойчивости вплоть до полного исключения колебательности САР за счет введения корректирующих РС-цепей с выбором их параметров по разработанной методике.

Весьма перспективным направлением данных исследований является разработка оригинальной методики оптимизации параметров РС-цепей с использованием трехмерной поверхности запаса по фазе $\Delta\varphi = f(C_A, R_A)$ и корневого годографа и последующей проверкой вариантов расчетом частотных характеристик и построением переходных процессов при различных уровнях внешних нагрузок. Для реализации поставленных задач эффективным оказалось использование широко известных программных пакетов – как общего назначения (Mathcad, Matlab), так и специализированных для исследования динамических систем (SIAM, SamSim, «МВТУ»).

Литература

1. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.
2. Пикус Ю.М. Гидродинамическая смазка вязкопластическими и вязкими жидкостями. – Минск: Высшая школа, 1981. – 192 с.
3. Петков П.П., Прокопенко В.А., Чернов И.А. Аналитические исследования возможностей повышения виброустойчивости шпиндельных узлов станков на гидростатических опорах // Труды СПбГТУ. – 2007. – № 504. – С. 137–148.
4. Методические указания по выполнению расчетов и проектированию подшипников современных высокопроизводительных металлорежущих станков / Л. Дудески, П.П. Петков, В.А. Прокопенко, А.А. Яцкевич. – Л.: ЛГТУ, 1990. – 37 с.
5. Бундур М.С., Прокопенко В.А., Чернов И.А. Расчетно-аналитические особенности проектирования гидростатических подшипников для станочного оборудования // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 1 (74). – С. 72–77.

Бундур Михаил Семенович

– Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, bundur@gak.spb.su

Прокопенко Вячеслав Алексеевич

– Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, кандидат технических наук, доцент, prokopenko@gak.spb.su

Чернов Иван Александрович

– Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, магистр, аспирант, chernov@gak.spb.su

УДК 519.71

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ТИПОВЫХ ТРАЕКТОРИЙ ПОЛЕТА

В.Н. Ефанов, Л.М. Неугодникова

Предложена имитационная модель пространственного движения летательного аппарата, предназначенная для расчета топливно-временных характеристик типовых траекторий полета, содержащихся в памяти автоматической бортовой системы самолетовождения. Разработан программный комплекс «Компара», позволяющий оценивать параметры опорных траекторий с учетом аэродинамических характеристик конкретного летательного аппарата и принимать решения о выборе наиболее рационального маршрута полета.

Ключевые слова: типовая траектория, топливно-временная оценка, аэродинамика.

Введение

В настоящее время одним из острых вопросов является необходимость глобальной модернизации национальных систем управления воздушным движением. В условиях возрастающей плотности воздушного движения наземные диспетчеры должны будут руководствоваться концепцией тактического (локального) эшелонирования, основанной на параметрах местоположения и вектора скорости самолетов, а не концепцией стратегического эшелонирования, основанной на параметрах траектории полета, что подразумевает выполнение полетов по назначенным маршрутам с заданными высотами и скоростями, как это делается сегодня.

Автоматическая бортовая система управления самолетом (АБСУ) предусматривает выполнение всех сложных навигационных расчетов, включая наиболее точную оценку местоположения самолета по информации, собранной из всех навигационных датчиков, и прогноз поведения других участников воздушного движения с целью предотвращения столкновений. Использование такой системы значительно уменьшает рабочую нагрузку пилота, освобождая экипаж для решения нетривиальных задач, одной из которых является оперативное изменение программы полета.

Современные аэронавигационные базы данных, используемые АБСУ, располагают большим количеством запрограммированных маршрутов полета, снабженных обширным списком аэропортов отправления и прибытия, а также характерными поворотными пунктами маршрута (ППМ). Приводятся расчетные значения времени полета и соответствующие расходы топлива. Однако при использовании таких типовых траекторий возникают следующие трудности:

- в конкретных обстоятельствах оптимальная траектория может не принадлежать к множеству типовых;
- в силу различных причин, в первую очередь связанных с неблагоприятными погодными условиями, конечный пункт маршрута может быть изменен;
- при полете по выбранной траектории необходима серьезная коррекция без изменения пункта назначения.

В описанных условиях перед экипажем встает задача оценки типовых траекторий с учетом индивидуальных характеристик самолета, а также формирования новой опорной траектории. Важным средством решения указанных проблем является использование дополнительной информации о топливно-временных характеристиках таких траекторий, что позволяет сформировать оптимальный план полета.

Как правило, задача определения оптимальной траектории крейсерского полета на заданном эшелоне при заданной полетной массе сводится к нахождению оптималь-

ной крейсерской скорости $V_{эк}$, соответствующей минимуму функции $\frac{dA^*}{dL}$, где под dA^* подразумевается приращение относительного показателя, характеризующего или себестоимость, или прибыль, или приведенную прибыль, а dL – элементарный участок траектории. Экономическая функция

$$A^* = \sum_{i=1}^n \Delta A^*_i \quad (1)$$

определяет эффективность траектории [1]. Таким образом, оптимальная траектория находится как требующая минимальных затрат времени и топлива на каждом из n элементарных участков. Однако в предлагаемой системе в качестве первичного параметра оптимизации выступает показатель интенсивности риска опорной траектории, характеризующий уровень безопасности полета [2], поэтому выбор экономически эффективного варианта из семейства безопасных траекторий выделяется в отдельный этап.

В целом механизм принятия решения с использованием программного комплекса «Компара» показан на рис. 1.



Рис. 1. Принятие решения об оперативном изменении маршрута полета

В процессе полета АБСУ непрерывно анализирует меняющуюся воздушную обстановку и при обнаружении угрозы безопасности формирует и предлагает возможные маршруты преодоления опасных участков. Выбор оптимальной траектории возможен только после всесторонней оценки всех вариантов. Разработанный программный комплекс «Компара» позволяет оценить топливно-временные характеристики рассматриваемой траектории. Задача интерпретации полученных результатов сводится к сравнительной оценке семейства траекторий, позволяющей выработать рекомендации к каждому варианту.

Постановка задачи

Предлагается программный комплекс сравнительной оценки маршрутов полета, базирующийся на результатах моделирования полета самолета по заданной совокупности типовых и сформированных для конкретного случая траекторий. С этой целью в работе решаются следующие задачи:

- разработка имитационной модели для оценки топливно-временных характеристик траекторий на основе исследования пространственного движения летательного аппарата (ЛА);
- апробация разработанных инструментальных средств на примере самолета ТУ-204.

Рассматривается установившееся движение – полет на постоянной высоте со скоростью, не превышающей заданное крейсерское значение на $\pm 0,05 M$. Максимальная

скорость пассажирского среднемагистрального самолета не достигает $1 M$, в таком случае динамика движения ЛА может быть описана системой

$$\left. \begin{aligned} P &= Q + G \cdot \sin \vartheta \\ G &= Y \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где P – необходимая тяга, Q – лобовое сопротивление, G – сила тяжести, Y – подъемная сила, ϑ – угол тангажа.

Поворот траектории в ППМе может быть реализован на вираже по дуге расчетного радиуса. Уравнения динамики ЛА в этом случае описываются системой

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dV}{dt} &= P_p \cdot \cos \alpha - Q \\ G &= Y \cdot \cos \gamma_c \\ Y \cdot \sin \gamma_c &= + \frac{mV^2}{r} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где V – воздушная скорость, m – масса, r – расчетный радиус виража, α – угол атаки, γ_c – угол крена, P_p – располагаемая тяга. Подробно расчет виража приведен в [3]. Основные параметры оценки траекторий – следующие:

- время полета $t = \sum_{i=1}^n \Delta t$;
- длина пути $L = \int_0^t V \Delta t$;
- запас топлива для обеспечения необходимой тяги в полете, аналогично (1),

$$M_f = \int_0^t P_t P dt, \text{ где } P_t \text{ – удельный расход топлива.}$$

Программная реализация имитационной модели пространственного движения летательного аппарата

Для решения поставленных задач предлагается программный комплекс оценки типовых траекторий «Компара», разработанный в системе MATLAB (точность вычислений в MATLAB достаточна для решения основной задачи – сравнительной оценки траекторий) и представляющий собой совокупность программ и файл-функций, а также пакет данных в виде текстовых файлов (рис. 2).

Перед запуском «Компары» необходимо выбрать условия полета – высоту (по умолчанию – 11 км) и начальную скорость (по умолчанию – $0,72 M$, что на высоте 11 км соответствует 818 км/ч). В процессе работы загружаются следующие данные: физические константы, геометрические характеристики самолета (по умолчанию – ТУ-204 [4]), характеристики силовой установки (по умолчанию – ТРДД ПС-90А [5]) и тестируемая траектория. Исследуемые траектории могут быть сформированы для конкретных условий полета, заданы пользователем либо загружены из специальных баз данных. Перечисленные значения хранятся в рабочей папке MATLAB в виде текстовых файлов.

Расчетная траектория представляет собой чередование прямолинейных участков, соединенных дугами (виражами) с началом в точке стандартной схемы вылета по приборам (ССВП) и окончанием в точке стандартного маршрута входа в зону аэродрома прибытия (СВАП). Дальнейший алгоритм показан на рис. 3. В графических окнах выводятся следующие зависимости:

- исходные и расчетные траектории;

- изменение скорости полета и полярны во времени;
- углы крена и атаки, мгновенный расход, потребная тяга, перегрузка и коэффициент подъемной силы в каждый момент времени – по запросу пользователя.

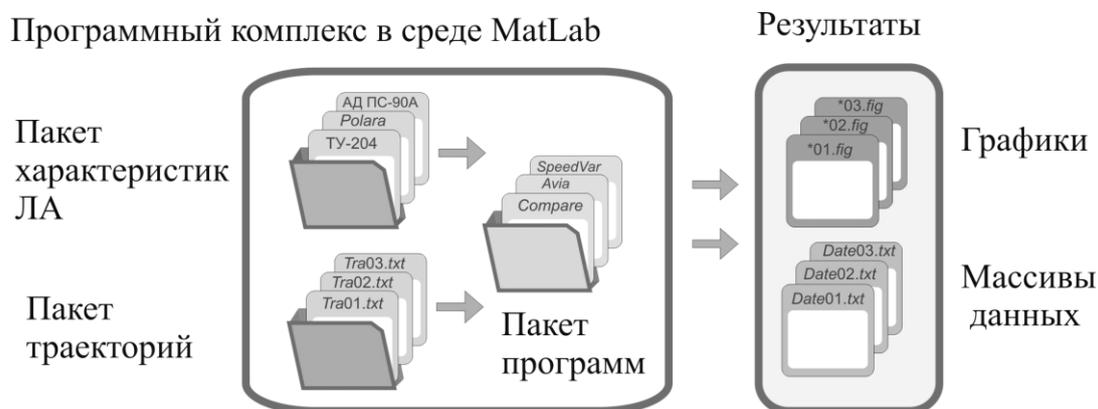


Рис. 2. Программный комплекс «Компара»



Рис. 3. Алгоритм работы программного комплекса «Компара»

Результаты моделирования

Для оценки эффективности разработанного программного комплекса рассмотрим возможности оперативного изменения маршрута движения при возникновении непредвиденных факторов. С этой целью проведем сравнительный анализ возможных траекторий полета на одинаковой высоте, с одинаковыми исходными и конечными точками в условиях, когда между точками ССВП и СВАП находятся обширные опасные метеообразования, не позволяющие проложить прямолинейный маршрут (рис. 4).

Бортовой оперативно-советующей системой предложены 3 варианта траекторий преодоления угроз. Траектория 1 состоит из ССВП, ППМ11, СВАП. Траектория 2 состоит из ССВП, ППМ21, ППМ22, ППМ23, СВАП. Траектория 3 состоит из ССВП,

ППМ31, ППМ32, СВАП. Нулевой обозначена прямолинейная траектория, на рисунке показана пунктиром.

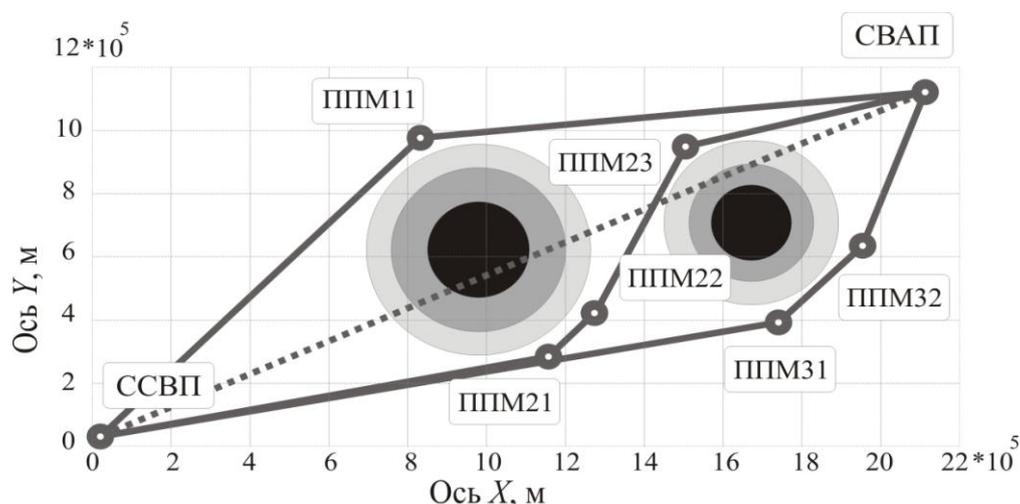


Рис. 4. Варианты безопасных траекторий

Проведем сравнительный анализ этих траекторий. Пусть полет происходит в следующих условиях: высота – 11 км, крейсерская скорость – $M=0,77$, начальная масса самолета – 95 т. За время прохождения ППМа принято время завершения маневра. В таблице приведена сравнительная характеристика тестируемых траекторий. Для наглядности значения величин прямолинейной траектории приняты равными 100 %.

Номер траектории	Время полета		Пройденный путь		Расход топлива	
	с	%	км	%	кг	%
0	10648	100	2408	100	19039	100
1	11282	105,95	2552	105,98	20164	105,9
2	11388	106,94	2576	106,97	20368	106,98
3	11620	109,13	2629	109,18	20777	109,13

Таблица. Сравнительные характеристики траекторий

Проанализировав таблицу, можно сделать вывод, что наименьшая длина безопасной траектории ССВП–СВАП составляет 2552 км, 105,89 % от прямолинейной, следовательно, самой экономически выгодной оказалась траектория 1. Также заметим, что выполнение маневров (виражей) требует большего расхода топлива, чем прямолинейный полет, поэтому при сравнении траекторий 1 и 2 разница во времени составляет 0,99 %, а по расходу – 1,01 %. В итоге при возникновении ситуации, подобной показанной на рисунке, на основе результатов, выданных «Компарой», можно сформулировать следующие рекомендации:

- сначала обогнуть большую по площади опасность и затем проложить прямолинейный курс к пункту назначения (траектория 1);
- попытка «проскочить» между опасными участками не имеет смысла – выигрыш по времени и расходу отсутствует (траектория 2);
- не следует двигаться по траектории, все дальше отклоняющейся от первоначального курса (траектория 3).

Заключение

Разработанный программный комплекс позволяет проводить сравнительную оценку топливно-временных характеристик семейства опорных траекторий и решать следующие задачи:

- проводить анализ траекторий, проложенных на различных высотах;
- проводить анализ траекторий, проложенных на одной высоте, содержащих различное количество несовпадающих ППМов.

При этом программный комплекс «Компара» предоставляет пользователю следующие возможности:

- проводить анализ траекторий для широкого парка современных самолетов в диапазоне скоростей $M < 1$;
- осуществлять оценку любых маршрутов полета – как загруженных из специальных баз данных, так и заданных пользователем;
- обеспечивать наглядность и удобство представления результатов – в виде графиков или текстовых файлов.

Таким образом, программный комплекс «Компара» обеспечивает информационную поддержку принятия решения об оперативном изменении маршрута полета, предоставляя для каждой из анализируемых опорных траекторий количественные оценки их топливно-временных параметров. В дальнейшем планируется расширение функциональных возможностей разработанного программного комплекса с целью обеспечения анализа пространственных трехмерных траекторий, а также последующая его интеграция с программным модулем оптимизации траектории полета по критерию минимума риска.

Исследования выполнялись в рамках совместных работ с корпорацией «Аэрокосмическое оборудование» по созданию комплекса авионики пятого поколения.

Литература

1. Скрипниченко С.Ю. Оптимизация режимов полета по экономическим критериям. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 152 с.
2. Неугодникова Л.М. Интеллектуальная система планирования полета летательного аппарата по критерию минимума риска // Третья Всероссийская зимняя школа-семинар аспирантов и молодых ученых (20–23 февраля 2008 г.): Сборник статей Том 2. – Уфа: УГАТУ, 2008. – С. 61–68.
3. Аэромеханика полета. Динамика самолета: Учебник для авиационных вузов / Бочкарев А.С., Андреевский В.В., Белоконов В.М. и др.; Под ред. Бочкарева А.С. и Андреевского В.В. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 360 с.
4. Ригмант В.В. ТУ-204 – пПрошлое, настоящее, будущее // Аэрокосмическое обозрение. – 2006. – № 2. – С. 88–93.
5. ОАО «Авиадвигатель» – ОАО «Пермский моторный завод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.avid.ru/products>, свободный
6. Ефанов В.Н. Бортовые системы управления полетом: путь к свободному воздушному пространству // Мир авионики. – 2000. – № 1. – С. 11–21.

- Ефанов Владимир Николаевич* – Уфимский государственный авиационный технический университет, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, efanov@mail.rb.ru
- Неугодникова Любовь Михайловна* – Уфимский государственный авиационный технический университет, магистр, соискатель, Grifon_love@mail.ru

УДК 621.315.592; 621.315.51.6; 621.3.049.77.14

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ YLP-ЛАЗЕРА НА ВОЛЬТ-ФАРАДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ КРЕМНИЙ-ДВУОКИСЬ КРЕМНИЯ

Р.А. Халецкий, Фам Куанг Тунг

Приводятся результаты эксперимента, связанного с облучением термически окисленной кремниевой пластины импульсным волоконным YLP-лазером с длиной волны 1,06 мкм с различной плотностью мощности излучения. Показано, что при плотности мощности лазерного излучения ниже плотности мощности, необходимой для расплавления кремния, в окисле появляются структурные дефекты, которые приводят к увеличению отрицательного заряда в объеме диэлектрика и увеличению проводимости SiO₂ при определенных значениях напряжения смещения на затворе.

Ключевые слова: структурный дефект, лазерное облучение, вольт-фарадная характеристика, система Si-SiO₂.

Введение

Лазерная обработка различных материалов электронной техники является интересным и перспективным научно-технологическим направлением, что обусловлено возможностью разнообразно изменять свойства материалов благодаря широкому диапазону изменения энергетических и временных режимов лазерного облучения. Кремний как один из основных полупроводниковых материалов современной микроэлектроники представляет особый интерес для изучения влияния лазерного излучения на свойства структур на его основе. К настоящему времени имеется большое количество работ, посвященных воздействию различных видов лазера на кремний [1, 2]. Однако не сообщается об исследованиях, связанных с воздействием лазерного излучения на структуру Si-SiO₂, имеющем огромное значение в кремниевой планарной технологии.

В настоящей работе рассматривается взаимодействие лазерного излучения с термически окисленной пластиной монокристаллического кремния. Целью работы являлось исследование влияния лазерного излучения на электрофизические свойства системы кремний-окисел.

Условия эксперимента

В качестве подложки экспериментальной структуры использовалась кремниевая пластина КЭФ-4,5 с кристаллографической ориентацией (100), на поверхности которой была термически выращена пленка двуокси кремния толщиной 100 нм. С обратной стороны кремниевой пластины окисел стравливался для создания омического контакта к полупроводнику.

Часть поверхности окисленной пластины подвергалась сканированию волоконным YLP-лазером с длиной волны 1,06 мкм. Частота следования лазерных импульсов составляла 200 Гц. На рис. 1 упрощенно показана схема сканирования лазерным пучком поверхности образца. Из рисунка видно, что распределение плотности мощности излучения по площади обрабатываемой поверхности не является постоянной величиной вследствие расфокусировки лазерного пучка при его отклонении от оси оптической системы. При этом очевидно, что плотность мощности достигает максимального значения P_{\max} в области облучения, нормаль к которой совпадает с осью пучка, и минимального значения P_{\min} на периферийных участках облучения.

В результате эффекта расфокусировки различные участки облученной области были подвергнуты воздействию лазера с различной плотностью мощности и, следовательно, с различным характером структурных нарушений. Зоны, подвергнутые облучению с плотностью мощности, соответствующей энергии, необходимой для расплавления кремния, наблюдались невооруженным глазом в виде сильно разработанных («вспаханных») участков поверхности. На периферийных участках облученной области видимых структурных нарушений не наблюдалось.

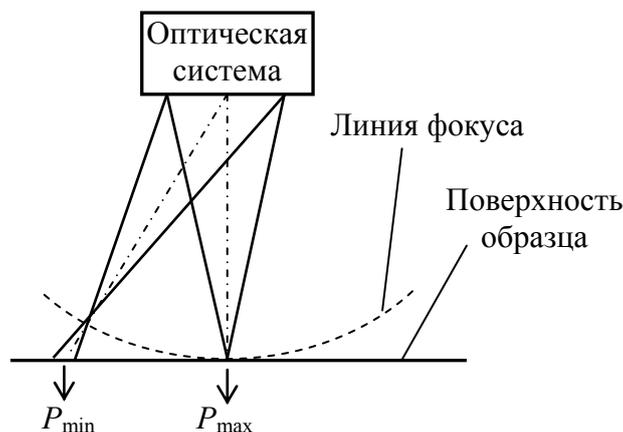


Рис. 1. Упрощенная схема эксперимента

После лазерного облучения производились измерения высокочастотных вольт-фарадных характеристик (ВФХ) необлученных участков поверхности экспериментальной структуры и участков, подвергнутых воздействию лазера с мощностью P_{\max} и P_{\min} . В качестве материала затвора на поверхности пленки двуокиси кремния использовался InGa. Для определения исходной плотности фиксированного заряда в окисле Q_f , который появляется непосредственно после термического окисления кремния, был произведен расчет теоретической ВФХ идеальной МОП-структуры с параметрами, соответствующими параметрам экспериментальной структуры. Исходный фиксированный заряд рассчитывался по сдвигу ΔU_{MG} ВФХ реальной структуры относительно расчетно-теоретической ВФХ с помощью формулы

$$Q_f = C_0 \Delta U_{MG},$$

где C_0 – удельная емкость окисла; ΔU_{MG} – сдвиг по оси напряжений на уровне емкости, соответствующем такому энергетическому состоянию поверхности кремния, при котором происходит пересечение уровня Ферми с серединой запрещенной зоны кремниевой подложки. Исходная плотность фиксированного заряда в окисле образца составила около $+140 \text{ нКл/см}^2$. Под фиксированным зарядом понимается заряд, величина которого не зависит от значения поверхностного потенциала кремниевой подложки. Природа фиксированного заряда связывается с наличием структурных дефектов в пленке SiO_2 [3].

Результаты и обсуждение

На рис. 2 показаны типичные ВФХ, измеренные на необлученных участках поверхности образца и участках, подвергнутых воздействию лазера с минимальной плотностью мощности. На участках, облученных с максимальной плотностью мощности, ВФХ не регистрируются из-за отсутствия диэлектрической пленки SiO_2 , которая разрушалась при расплавлении кремния в момент воздействия лазерного импульса. Из рисунка видно, что в результате воздействия лазерного излучения с плотностью мощно-

сти P_{\min} (рис. 1) происходит изменение ВФХ, что свидетельствует об изменении заряда в окисле экспериментальной структуры. Параллельный сдвиг ВФХ по оси напряжений связан с изменением плотности фиксированного заряда в окисле ΔQ_f .

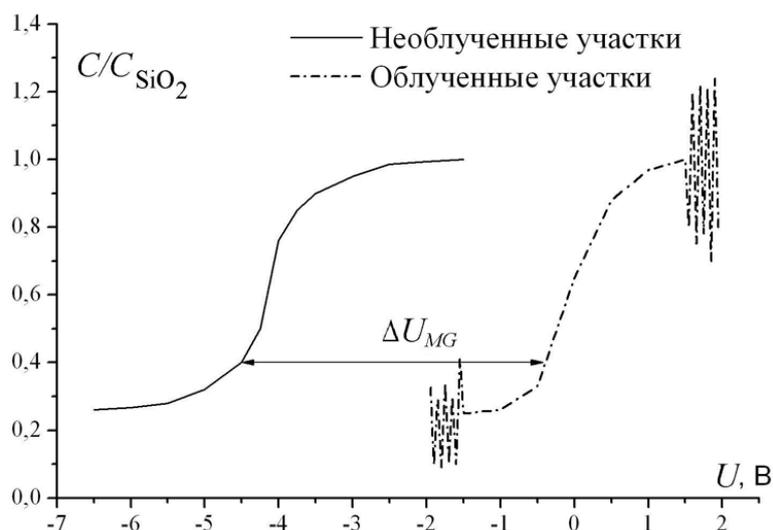


Рис. 2. Типичные вольт-фарадные характеристики для облученных с минимальной плотностью мощности P_{\min} и необлученных участков образца

Сдвиг ВФХ происходит без изменения наклона графика в диапазоне напряжений, соответствующем переходу МОП-структуры из режима инверсии (нижнее плато) в режим обогащения (верхнее плато). Этот факт свидетельствует о том, что на границе раздела Si–SiO₂ не происходит генерации электрически активных поверхностных дефектов, характерных для воздействия ионизирующих излучений [4].

Сдвиг ВФХ вправо, вызванный лазерным воздействием, соответствует уменьшению исходного положительного заряда в окисле на величину 150 нКл/см². При этом изменение заряда может быть вызвано как уменьшением исходных структурных дефектов, обуславливающих этот заряд, так и появлением новых дефектов, способных заряжаться отрицательно. Из представленного на рис. 2 графика видно, что на облученных участках при напряжениях $U > +1,5$ В и $U < -1,5$ В наблюдаются резкие флуктуации емкости. Такое поведение характеристики объясняется появлением утечки в пленке SiO₂. Увеличение проводимости связано с появлением новых структурных дефектов, обуславливающих увеличение отрицательного заряда в пленке.

Возможным механизмом протекания тока через диэлектрическую пленку окисла является «прыжковый» механизм [5], при котором дефекты, индуцированные лазером, играют роль ловушек, способных обмениваться носителями заряда между собой. Вследствие такого обмена под действием электрического поля носители, инжектированные в диэлектрик из кремниевой подложки, перемещаются в направлении верхнего электрода.

Заключение

Показано, что при воздействии импульсного волоконного YLP-лазера в окисле индуцируются дефекты, которые приводят к существенному изменению плотности фиксированного заряда отрицательной полярности. Этот эффект сопровождается появлением при определенных условиях проводимости диэлектрической пленки окисла. При этом механизм протекания тока через SiO₂ имеет выраженный активационный ха-

рактически. Для выяснения структуры дефектов, индуцированных лазером, и их локализации в окисле требуется проведение дополнительных структурных исследований.

Литература

1. Metev S.M., Veiko V.P. Laser assisted microtechnology. – Springer–Verlag, Heidelberg, 1994 (first edition), 1998 (second edition). – P. 295–329.
2. Magaya J., Sklyarov A., Mikaylichenko K., Yakovlev V. Silicon dioxide thin film removal using high–power nanosecond lasers // Applied Surface Science. – 2003. – V. 207. – P. 306–313.
3. Барабан А.П., Булавинов В.В., Коноров П.П. Электроника слоев SiO₂ на кремнии. – Л.: ЛГУ, 1988. – 304 с.
4. Гуртов В.А. Радиационные процессы в структурах металл–диэлектрик–полупроводник: Учебное пособие. – Петрозаводск, 1988. – 96 с.
5. Сорокин Л.М., Григорьев Л.В., Калмыков А.Е., Соколов В.И. Исследование структурных свойств и токового транспорта в нанокompозите, сформированном на поверхности кремния посредством окисления пористого кремния // ФТТ. – 2005. – Т. 47. – Вып. 7. – С. 1316–1322.

Халецкий Роман Александрович – Санкт–Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, halecky@yandex.ru
Фам Куанг Тунг – Санкт–Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, quang_tung@yahoo.com

УДК 621.383.51

МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ ПРИЕМНИКИ НА ОСНОВЕ СЕЛЕНИДА СВИНЦА ДЛЯ ОБЛАСТИ СПЕКТРА 2–5 МКМ

Н.Э. Тропина

В работе представлены результаты исследования фотоэлектрических характеристик впервые полученных и разработанных в ОАО НИИ «Гириконд» многоэлементных фотогальванических приемников на основе поликристаллических пленок PbSe и твердых растворов на его основе. Рассмотрена возможность использования таких приемников с узкополосными клиновыми интерференционными фильтрами в качестве фоточувствительного элемента в спектрально-аналитической аппаратуре нового поколения. Приведен расчет оптимального размера чувствительного элемента многоэлементного приемника для восстановления без искажений спектра анализируемого излучения.

Ключевые слова: селенид свинца, многоэлементный приемник, спектральный анализ, клиновый интерференционный фильтр.

Введение

Обнаружение и измерение параметров инфракрасного излучения имеют большое практическое значение в различных областях – в военной сфере, системах пожарной безопасности, системах контроля над технологическими операциями, в прикладных и научных исследованиях, медицине, строительстве и других сферах. Поэтому работы, направленные на совершенствование и разработку новых приемников с непрерывно расширяющимися оптическими и электрическими характеристиками, продолжают и в настоящее время.

Диапазон длин волн от 2 до 5 мкм является наиболее информативным с точки зрения задач обнаружения очагов пламени и взрыва, мониторинга таких опасных газообразных веществ, как NO, NO₂, CO, CO₂, аммиак, пропан, метан и др., а применение методов спектрального анализа позволяет с наибольшей достоверностью решать не только указанные задачи, но и многие другие.

Для оперативной обработки информации требуется значительное увеличение скорости сканирования исследуемого объекта, что может быть достигнуто за счет использования многоэлементных фотоприемников. Применение многоэлементных фотоприемников обеспечивает высокие технические и эксплуатационные характеристики оптических приборов, в которых они применяются, поскольку для их создания не нужны дорогостоящие оптические системы и громоздкие механические системы развертки, без которых не обойтись в случае с одноэлементными приемниками. Под разверткой здесь понимается как сканирование по спектру в спектрально-аналитических приборах, так и пространственное сканирование в пеленгационных приборах, например, в тепловизорах.

Многоэлементный приемник излучения определяет совокупность технических характеристик оптического прибора, в котором он используется. В случае приборов, предназначенных для решения задач пеленгации и обнаружения, от размера чувствительного элемента в конечном итоге зависит качество изображения. Получаемое изображение тем качественнее, чем больше массив дискретных элементов приемника. Применительно к многоэлементным линейным приемникам, используемым в спектральных и спектрально-аналитических приборах, необходимо согласование размера чувствительного элемента и аппаратной функции прибора.

В настоящей работе представлены результаты исследования фотоэлектрических характеристик многоэлементных приемников на основе поликристаллических слоев селенида свинца и его твердых растворов. Описаны принципы построения и функционирования клиновых узкополосных интерференционных фильтров, а также приведен расчет оптимального размера чувствительного элемента многоэлементного приемника для теоретически полного восстановления спектра анализируемого излучения в зависимости от аппаратной функции спектрального прибора.

Многоэлементные приемники на основе пленок селенида свинца

Из всего многообразия инфракрасных приемников излучения особый интерес представляют многоэлементные приемники излучения, в которых фоточувствительный элемент работает в фотогальваническом режиме. Представленные сегодня на рынке фотоприемные устройства, работающие по этому принципу в спектральном диапазоне от 2 до 5 мкм, практически не доступны широкому кругу потребителей из-за своих эксплуатационных характеристик (требуют охлаждения до криогенных температур) и высокой стоимости (несколько тысяч долларов за штуку) [1]. Поэтому актуальность решения задач, связанных с созданием дешевых и простых в использовании многоэлементных фотоприемных устройств, не оставляет никаких сомнений.

Перспективными полупроводниковыми материалами для изготовления ИК-приемников, чувствительных в диапазоне от 2 до 5 мкм, являются селенид свинца и твердые растворы на его основе. Разработанная ранее технология позволила получать материалы с проводимостью, близкой к собственной, и реализовать фотогальванический эффект.

В данной работе формирование многоэлементных приемников осуществлялось на поликристаллических слоях селенида свинца и твердых растворов Pb_{1-x}Cd_xSe, полученных вакуумным осаждением на стеклянные подложки размером 18×18 мм и толщиной

150 мкм. После напыления слои подвергались высокотемпературной обработке в атмосфере воздуха. Структурные особенности таких поликристаллических пленок отражены в работе [2].

Спектральное распределение чувствительности полученных слоев исследовалось при комнатной температуре на измерительной установке, собранной на базе спектрометра ИКС-21. В качестве калиброванного фотоприемника использовался висмутовый болометр, а в качестве осветителя – силитовый стержень (глобар). Результаты измерений представлены на рис. 1.

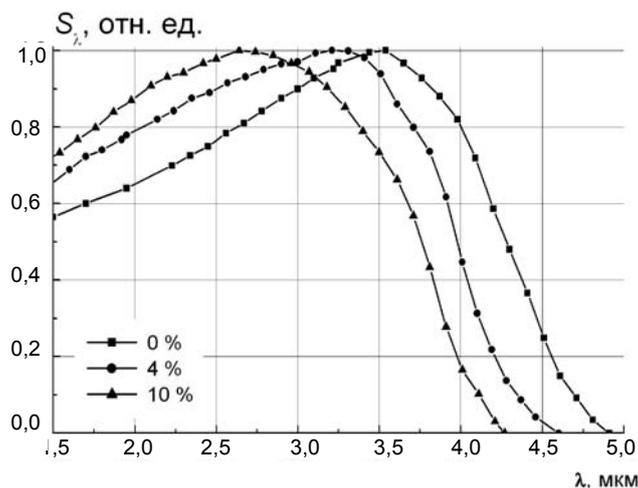


Рис. 1. Спектральное распределение чувствительности фотоприемников в зависимости от концентрации CdSe в твердом растворе $Pb_{1-x}Cd_xSe$

Введение селенида кадмия в селенид свинца в пределах области растворимости (не более 20 % мол.) позволяет изменять ширину запрещенной зоны материалов от 0,2 эВ до 0,6 эВ, а, значит, дает возможность управлять спектральными характеристиками приемников.

Поликристаллические слои, получаемые по указанной технологии, имеют ограниченные размеры, и формирование на них многоэлементной структуры с большим количеством элементов с существующими на данный момент размерами 1000×1000 мкм² и 2000×2000 мкм² становится проблематичным. В статье [3] представлены результаты работы по миниатюризации дискретного фотогоальванического элемента до размеров 250×250 мкм². На базе таких элементов созданы и успешно прошли испытания макетные образцы приемников для обнаружения перегрева букс железнодорожных вагонов.

Для реализации 48-элементного приемника и исследования его фотоэлектрических параметров разработана топология с двурядным расположением элементов (рис. 2, в), где учтены все особенности формирования планарной барьерной структуры с высокой квантовой эффективностью: линейный размер базы элемента имел тот же порядок, что и диффузионная длина основных носителей заряда (~30–50 мкм). При такой величине базы реализуется линейная зависимость тока короткого замыкания от светового потока (рис. 3). Линейность нарушается при увеличении размера базы, сопротивление которой будет играть роль дополнительного нагрузочного сопротивления. Такая топология линейной структуры позволяет получить среднее значение удельной обнаружительной способности при комнатной температуре $D^* \approx 1,23 \cdot 10^{10}$ смГц^{1/2}Вт⁻¹. Топограмма удельной обнаружительной способности линейной 48-элементной структуры представлена на рис. 4.

Многоэлементные фотоприемники предназначены для использования в качестве функционального элемента в системах тепловидения, автоматического контроля высо-

котемпературных технологических процессов, в спектрально-аналитической аппаратуре, в том числе и для идентификации анализируемого вещества.

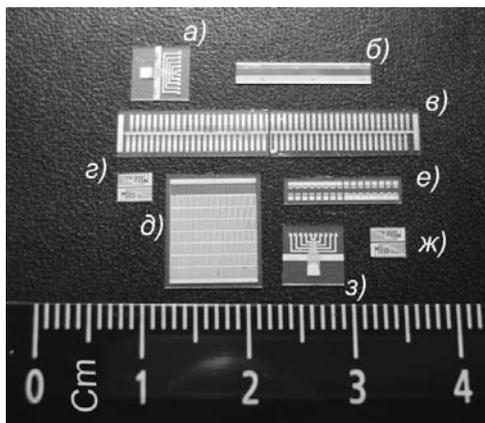


Рис. 2. Различные топологии многоэлементных приемников

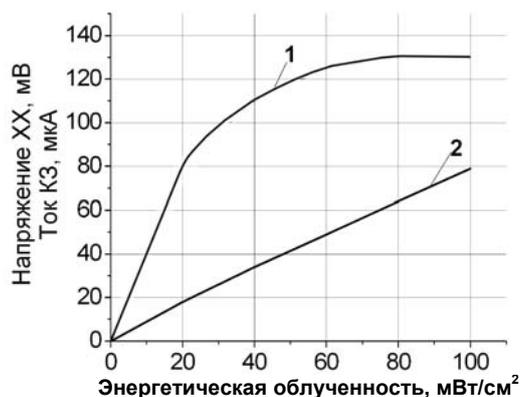


Рис. 3. Вольт- (1) и ампер-ваттная (2) характеристика фотогальванического приемника

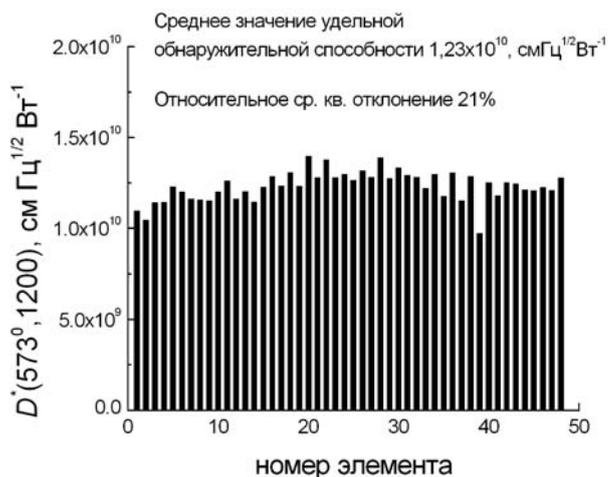


Рис. 4. Топограмма удельной обнаружительной способности линейной 48-элементной структуры

Для получения четкой картины требуется достаточно большое количество элементов. Увеличения числа элементов может быть реализовано конструктивными методами: либо за счет дальнейшего уменьшения размеров одиночного элемента, либо с помощью объединения нескольких многоэлементных структур в одну. На данном этапе

успешно опробован второй конструктивный метод увеличения числа элементов. Группирование структур происходит по близким значениям параметров. Такими параметрами служит среднее значение обнаружительной способности и ее относительное среднее квадратичное отклонение.

Оптимизация размера чувствительного элемента многоэлементного приемника спектрального прибора

При обработке данных спектрального анализа необходимо определить амплитуду измеряемой спектральной линии либо ее интегральное значение. Это обуславливает необходимость восстановления в каком-то приближении контура линии, который складывается из физического и аппаратного контуров [2]. Для большинства применяемых источников излучения основной вклад в уширение линии вносит аппаратный контур. Этот контур может быть вычислен при расчете оптической системы прибора. В некоторых случаях он симметричен и может быть описан функцией Гаусса:

$$F(x) = Ae^{-4\ln \frac{x^2}{\Delta^2}}, \quad (1)$$

где Δ – полуширина аппаратной функции спектрального прибора, A – амплитуда спектральной линии, x – расстояние вдоль оси, расположенной в направлении дисперсии.

Выражение, связывающее полуширину гауссовской аппаратной функции спектрального прибора с шириной чувствительного элемента, для теоретически полного восстановления контура спектральной линии в соответствии с теоремой Котельникова имеет вид [3]

$$\operatorname{erf}\left(\sqrt{2\ln \frac{A}{B}}\right) - \left(\frac{B}{A}\right)^2 \sqrt{\frac{8}{\pi}} \ln \frac{A}{B} = \operatorname{erf}\left(\frac{\Delta\pi}{2a\sqrt{2\ln 2}}\right), \quad (2)$$

где $A = 2Da\sqrt{\ln 2}$, $B = \Delta\sqrt{\pi}\operatorname{erf}\left(\frac{a\sqrt{\ln 2}}{\Delta}\right)$, a – ширина элемента, D – динамический диа-

пазон фотоприемника. Спектральная полуширина аппаратного контура L связана с полушириной Δ соотношением

$$L = \frac{1}{D_l}\Delta, \quad (3)$$

где $\frac{1}{D_l}$ – обратная линейная дисперсия спектрального прибора.

Таким образом, по выражениям (2) и (3) и заранее известной спектральной полуширине аппаратной функции спектрального прибора можно вычислить оптимальный размер чувствительного элемента многоэлементного приемника, позволяющий восстановить без искажений контур спектральной линии.

Клиновые интерференционные фильтры

При конструировании и использовании линейных многоэлементных приемников определенный практический интерес представляют клиновые интерференционные фильтры с изменяющимися по поверхности фильтра оптическими характеристиками. В первую очередь это относится к линейным узкополосным фильтрам, длина волны максимума пропускания которых зависит от координаты на поверхности фильтра. Изменение положение λ_{\max} по заданному закону достигается за счет соответствующего изменения оптических толщин слоев, входящих в структуру многослойного клиновидного

интерференционного покрытия (рис. 5, а). Обычно при реализации на практике предпочтение отдается диэлектрическим интерференционным фильтрам типа Фабри–Перо первого порядка. Однако для увеличения крутизны фронтов контура пропускания фильтра возможно применение фильтров высших порядков или структур с неравнотолщинными слоями. Побочные полосы пропускания блокируются отрезающим клиновым покрытием, наносимым на обратную сторону подложки.

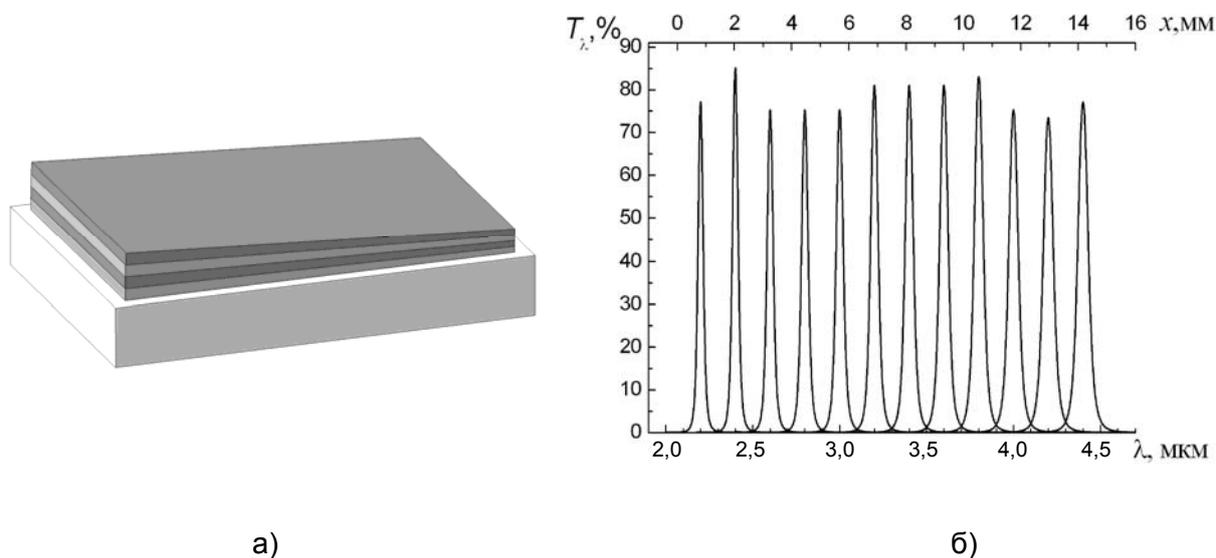


Рис. 5. Клиновидное многослойное покрытие (а) и спектры пропускания фильтра (б) (x – расстояние от края фильтра)

Например, нами разрабатываются линейные клиновые фильтры на диапазон 1,5–5 мкм с линейной дисперсией 100–150 нм/мм. При этом спектральный интервал, выделяемый фильтром, определяется как $\Delta\lambda = \delta\lambda + s(d\lambda/ds)$, где $\delta\lambda$ – полуширина контура пропускания фильтра, s – размер пикселя многоэлементного приемника в направлении дисперсии, $(d\lambda/ds)$ – линейная дисперсия фильтра. Для изготавливаемых фильтров полуширина в указанном диапазоне составляет порядка 1,5 % (рис. 5, б). При указанных линейной дисперсии, полуширине фильтра $\delta\lambda = 50$ нм и размере пикселя 100 мкм спектральная ширина линии составляет 60 нм. В этом случае спектральное разрешение существенно уступает разрешению, получаемому при помощи приборов с дифракционной решеткой, однако в тех задачах, где требуется анализ спектров, свободных от узких линий или «тонкой» структуры, такого разрешения вполне достаточно. В частности, малогабаритные спектрометры с клиновидным фильтром и многоэлементными приемниками могут найти применение в пирометрии спектрального отношения, а также, например, при анализе спектров диффузного отражения различных объектов органического происхождения, например, в приборах для определения влажности и содержания клетчатки в зерне или для контроля качества и сорта древесины.

Заключение

Исследованы фотоэлектрические параметры многоэлементных приемников на основе поликристаллических слоев твердых растворов селенид свинца – селенид кадмия. Введением CdSe в твердый раствор удастся варьировать ширину запрещенной зоны полупроводникового материала, изменяя тем самым область спектральной чувстви-

ности фотоприемника. Получены 48-элементные фотогальванические приемники со средним значением удельной обнаружительной способности $D^* \approx 1,23 \cdot 10^{10} \text{ см Гц}^{1/2} \text{ Вт}^{-1}$ и относительным средним квадратичным отклонением 21%.

Линейные многоэлементные приемники на основе поликристаллических слоев $\text{Pb}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Se}$ в совокупности с клиновыми узкополосными фильтрами, оснащенные соответствующей схемой обработки и усиления сигналов, представляют собой перспективные оптоэлектронные компоненты для создания малогабаритных быстродействующих спектрометрических модулей и спектрально-аналитических приборов на их основе.

Литература

1. Певцов Е., Чернокожин В. Матричные ИК приемники для малогабаритных тепловизионных камер // Электронные компоненты. – 2001. – № 1. – С. 32–37.
2. Тропина Н.Э., Петровская З.Н., Черноглазова И.О. Влияние диэлектрической фазы на спектр фотолюминесценции фрактально структурированных нанокompозитных пленок селенида свинца // ФТП. – 2009. – № 43. – С. 1477–1480.
3. Варфоломеев С.П., Мазина Н.Э. Иммерсионный фотогальванический приемник ИК излучения с малоразмерным фоточувствительным элементом для датчика перегрева букс // Датчики и системы. – 2006. – № 6. – С. 22–25.
4. Зайдель А.Н., Островская Г.В., Островский Ю.И. Техника и практика спектроскопии. – М.: Наука, 1976.
5. Демин А.П., Нагулин Ю.С. Выбор ширины элемента многоэлементного линейного фотоприемника для регистрации линейчатых спектров // ОМП. – 1990. – № 9.

Тропина Наталья Эдуардовна

– Научно-исследовательский институт «ГИРИКОНД», магистр техники и технологий, соискатель, Mazina_ne@mail.ru.

УДК 535.551

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ
НА ОСНОВЕ ГИДРОГЕНИЗИРОВАННОГО УГЛЕРОДА,
МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ****Ю.Т. Нагибин, Г.А. Николайчук, В.А. Трофимов, К.Г. Секарин**

Рассмотрена возможность установления корреляции между оптическими и радиоволновыми свойствами тонкопленочных покрытий на основе гидрогенизированного углерода с ферромагнитными наночастицами.

Ключевые слова: радиопоглощение, напыление, наночастицы.

Введение

Возрастающая потребность в средствах, обеспечивающих защиту биологических объектов, электронных и т.п. устройств от нежелательного воздействия радиоизлучения, предопределяет разработку соответствующих радиопоглощающих материалов (РПМ). Используемые в настоящее время РПМ на основе резины с ферромагнитными наполнителями, синтезированными по традиционной керамической технологии, имеют малую механическую прочность, низкую термостойкость и большую приведенную удельную массу ($10\text{--}12 \text{ кг/м}^2$). В отличие от них, разработаны РПМ нового поколения, обладающие высокоэффективным поглощением электромагнитного излучения в широком диапазоне частот. При малой удельной массе ($<1,5 \text{ кг/м}^2$), высокой прочности и термостойкости они устойчивы к климатическим воздействиям и агрессивным средам. Совершенствование такого рода материалов и технологии их производства представляется своевременной и важной задачей.

Механизмы возбуждения и релаксации в РПМ

Аморфный гидрогенизированный углерод отличается химической стойкостью и высокой твердостью и в связи с этим является привлекательным материалом для широкого круга практических применений и физических исследований. Свойства материала, содержащего разные фазы (графитоподобные, алмазоподобные, полимерные кластеры), сильно зависят от технологических условий его получения. Изучение оптических параметров слоев $\alpha\text{-C:H}$ аморфного гидрогенизированного углерода, получаемых методом ионно-плазменного магнетронного напыления на различных подложках, позволяет совершенствовать свойства РПМ [1].

Установлено [2], что спектр спиновых возбуждений и релаксации в гранулированных структурах, содержащих металлические ферромагнитные наночастицы в изолирующей аморфной матрице, состоит из спин-волновых и спин-поляризационных возбуждений гранул. При спин-поляризационных возбуждениях изменение направления спина гранулы сопровождается переходом электрона между двумя подуровнями расщепленного локализованного состояния в матрице. Релаксация спинов гранулы, осуществляемая через спин-поляризационные возбуждения, является наиболее эффективной, и ее вклад в затухание спинов гранулы значительно превышает вклады других взаимодействий. Процесс спин-поляризационной релаксации является разрешенным в широкой полосе частот. Так, для структур с гранулами кобальта показано, что ширина диапазона, где может наблюдаться спин-поляризационная релаксация, лежит в диапазоне сантиметровых, миллиметровых и субмиллиметровых длин волн.

Технология изготовления образцов

Пленки гидрогенизированного углерода с наночастицами металлов (Co, Ni) были получены методом реактивного ионно-плазменного магнетронного напыления. По сравнению с другими вакуумными методами метод магнетронного напыления обладает рядом достоинств, такими как высокая скорость роста пленок и их хорошая адгезия, незначительное загрязнение посторонними газовыми включениями, низкая температура нагрева подложек, возможность распыления как проводников, так и диэлектриков, получение сверхтонких пленок с малыми радиационными дефектами, безынерционность процесса.

Синтез исследуемых материалов проводился на вакуумной установке непрерывного действия шлюзового типа [3]. Управление установкой осуществляется микропроцессорной системой. Рабочая камера оснащена четырьмя парами вертикально расположенных магнетронов, способных работать одновременно, и подложкодержателем, совершающим осциллирующие движения со скоростью от 1 до 50 мм/сек.

В распылительной камере предварительно создается базовый вакуум. На катодах-мишенях создается неоднородное электрическое поле. В скрещенных электрическом и магнитном полях формируется тлеющий разряд, под действием которого образуется плазма и происходит ионная бомбардировка катодов-мишеней. Под действием ионной бомбардировки электроны совершают сложные движения вблизи поверхности катодов-мишеней, пока не произойдет их столкновение с атомами аргона и молекулами водорода. В результате таких столкновений усиливается ионная бомбардировка, что приводит к резкому увеличению степени ионизации плазмы и возрастанию плотности ионного тока и скорости распыления материалов катодов (графита и металла).

Осаждение пленок производилось в потоке рабочего газа (аргоно-водородная смесь), подаваемого в распылительную камеру с заданной скоростью. Изменение концентраций вводимых в пленки углерода и металлов (Co, Ni) осуществлялось изменением мощности, подаваемой на катоды-мишени. Скорость роста пленок зависела от концентраций вводимых элементов и составляла в наших экспериментах 12–20 нм/мин.

Контроль технологического процесса напыления осуществлялся с помощью образцов-свидетелей, напыленных в тех же условиях на подложки из ситалла и монокристаллического кремния.

Результаты экспериментальных исследований

Образцы пленок составов α -CH:(Co) и α -CH:(Ni) на гибкой тканевой подложке из арамидных волокон (кевлар), обладающей высокой механической и термической прочностью, больших размеров (620×750 мм), представляли собой эластичные покрытия с хорошей адгезией. Исследование микроструктуры, химического состава и толщины полученных пленок проводилось на электронном микроскопе VEGA/LMU с энергодисперсионным микроанализатором JNCA Energy 350DC. На рис. 1 представлена микроструктура пленки состава α -CH:(Ni) на подложке из кевлара, полученная при увеличении 2000×.

Качество покрытия определяется концентрацией металла, толщиной пленки, характером подложки и т.п. Оперативный контроль этих параметров при промышленном производстве в радиодиапазоне трудоемок и отличается низкой производительностью. В связи с этим представляет интерес исследование оптических свойств радиопоглощающих пленочных покрытий (РПП) с возможностью установления корреляции этих свойств со свойствами радиопоглощающих пленочных покрытий в радиодиапазоне.

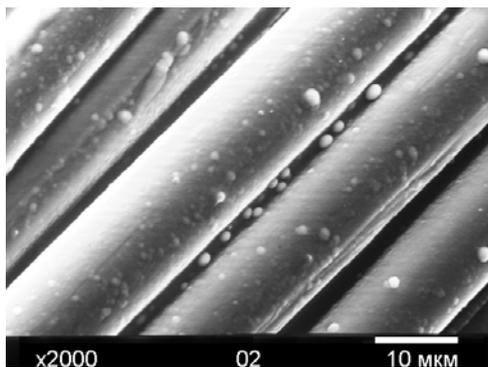


Рис. 1. Микроструктура пленки α -CH:(Ni), полученная при помощи электронного микроскопа VEGA/LMU при увеличении 2000 \times

Исследованы спектры отражения и пропускания радиопоглощающих пленочных покрытий, выполненных на кевларе в диапазоне 0,35–0,7 мкм. Типичные результаты при использовании измерительного комплекса «ФЛЮОРАТ-02-ПАНОРАМА» представлены на рис. 2. Рис. 2, а, позволяет отметить заметную разницу спектрального распределения световой энергии для различных образцов, отличающихся концентрацией никеля и толщиной пленки.

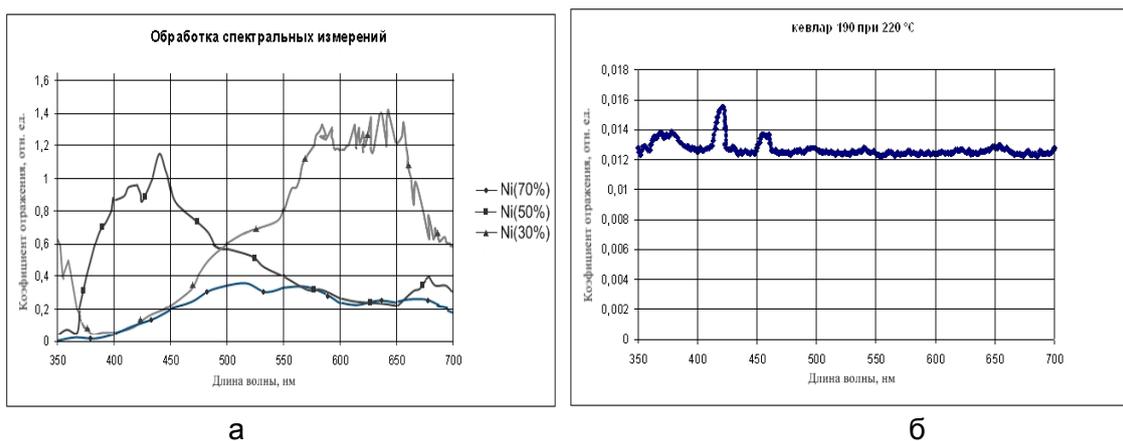


Рис. 2. Спектры отражения при $t = 20^\circ\text{C}$ (а) и спектр пропускания при $t = 220^\circ\text{C}$ (б)

В предположении возможного нарушения углерод–водородной связи в матрице при повышении температуры выполнены измерения зависимости спектров отражения РПП на кевларе от температуры в пределах 20–220 $^\circ\text{C}$. Анализ спектров отражения не выявил существенных отличий при изменении температуры. Спектры пропускания этих образцов показали их зависимость от характера плетения ткани подложки. При плотном плетении пропускание не наблюдалось.

Одновременно с напылением радиопоглощающего пленочного покрытия на кевлар при тех же технологических условиях производилось напыление пленки на образцах-свидетелях из ситалла. Зеркальная поверхность подложки, в отличие от кевлара, позволяет проводить поляризационные исследования поверхности. Учитывая это, выполнено исследование зависимости азимута поляризации отраженного от исследуемого образца света от значений угла падения. В качестве образцов использованы вышеуказанные покрытия на образцах-свидетелях. Измерения выполнены с помощью эллипсометра, реализующего схему нулевого метода измерения [4].

Для анализа отраженного от исследуемого образца излучения используется гониометр с установленными на алидаде анализатором, четвертьволновой пластинкой и поляризационно-нечувствительным фотоприемником. Нулевое положение элементов схемы устанавливается с помощью модулятора Фарадея и резонансного усилителя по известной методике наблюдения в составе регистрируемого фототока наличия или отсутствия первой гармоники.

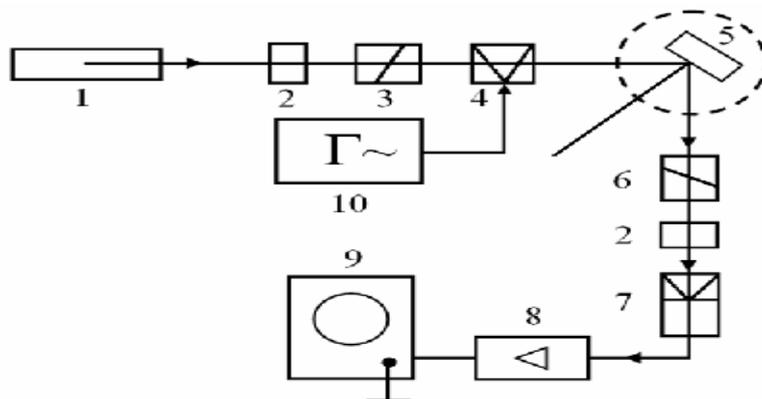


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 – лазер, 2 – четвертьволновая пластинка, 3 – поляризатор, 4 – модулятор Фарадея, 5 – образец, 6 – анализатор, 7 – фотоприемник ФЭУ-62, 8 – узкополосный усилитель У 2-8, 9 – осциллограф, 10 – звуковой генератор

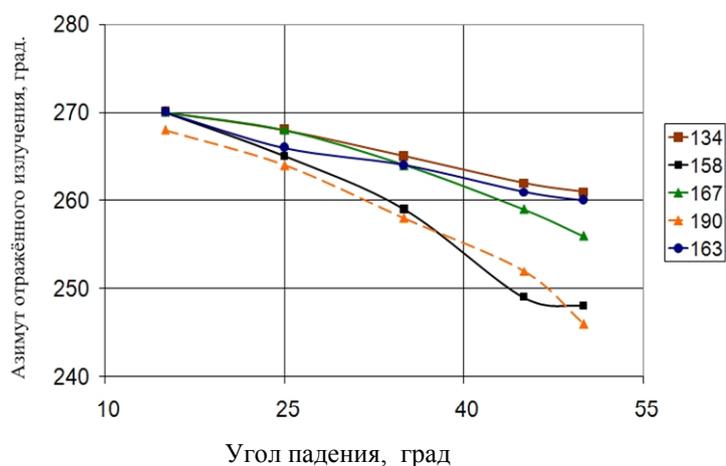


Рис. 4. Зависимость азимута отраженного излучения от угла падения света на образец

№ образца	Массовая концентрация, %	
	Ni	C
134	92,15	7,85
158	68,67	31,33
163	86,71	13,29
167	70,05	29,95
190	87,5	12,5

Таблица. Массовая концентрация Ni и C в образцах

Результаты, представленные на рис. 4, демонстрируют явные различия измеряемых значений азимута поляризации отраженной волны для образцов с различной концентрацией ферромагнитных наночастиц, отличающихся своим химическим составом (см. таблицу). Этот факт может быть использован при разработке приборного обеспечения контроля технологического процесса напыления радиопоглощающих пленочных покрытий.

Заключение

Предварительные исследования оптических свойств тонкопленочных покрытий гидрогенизированных сред с наночастицами металлов показывают целесообразность продолжения исследований в этом направлении с более глубоким рассмотрением вопросов отражения поляризованного излучения.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы», государственный контракт № 02.513.11.3390 от 19.08.2008 по теме «Разработка новых поколений наноструктурированных ферромагнитных материалов для СВЧ техники».

Литература

1. Звонарева Т.К., Шаронова Л.В. Влияние материала подложки на скорость роста и оптические параметры слоев α -C:H // Физика и техника полупроводников. – 1999. – Т. 33. – № 6. – С. 742–746.
2. Lutsev L.V., Yakovlev S.V., Zvonareva T.K., Alexeyev A.G., Starostin A.P., Kozyrev S.V. Microwave Properties of Granular Amorphous Carbon Films with Cobalt Nanoparticles // Journal of Applied Physics. – 2005. – V. 97. – № 10. – P. 327.
3. Петров В.В., Николайчук Г.А., Яковлев С.В., Луцев Л.В. Многоцелевые радиопоглощающие материалы на основе магнитных наноструктур: получение, свойства и применение // Компоненты и технологии. – 2008. – № 10. – С. 60–63.
4. Шутов А.М. Методы оптической астрополяриметрии. – М.: КомКнига, 2006. – 256 с.

Нагибин Юрий Тихонович

– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, nagibin@77mail.ru

Николайчук Галина Александровна

– ОАО «НИИ Феррит-домен», ведущий научный сотрудник, niko@domen.ru

Трофимов Владимир Анатольевич

– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, troftu@mail.ru

Секарин Константин Геннадьевич

– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, Sekarius@mail.ru

УДК 539.22

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИОННОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНА

Е.Е. Фомичева, Д.Э. Темнов, А.В. Смирнов, Б.А. Федоров

Проведено исследование влияния дисперсного наполнителя на основе алюминия на электретные свойства полипропилена. Исследования проводились методами термостимулированной и изотермической релаксации потенциала и методом рентгеноструктурного анализа. Выявлено улучшение электретной стабильности исходного полимера при добавлении в него наполнителя, рассчитаны параметры электрически активных дефектов для материалов с различным содержанием алюминиевой пудры. Методом рентгеновского малоуглового рассеяния показано, что поверхность алюминия, входящего в композитный комплекс с полипропиленом, обладает ярко выраженными фрактальными свойствами, причем величины фрактальных размерностей свидетельствуют о значительной «шероховатости» поверхности алюминия.

Ключевые слова: электрет, полипропилен, композитные материалы, релаксация потенциала, оксид алюминия, малоугловое рентгеновское рассеяние, фракталы, фрактальные свойства поверхностей.

Введение

Широкое применение полимерных материалов в различных областях человеческой деятельности обуславливает интерес к получению полимеров с определенным сочетанием свойств, присущих тому или иному материалу. Достаточно большой интерес вызывает возможность регулирования электретных свойств полимеров путем добавления в исходную полимерную матрицу дисперсных наполнителей. Варьируя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, ориентацию наполнителя, получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств [1].

Композитные полимерные материалы изучаются уже давно, и в литературе имеется достаточно много сведений об их механических, оптических и других свойствах. Однако изучению электретных свойств полимерных пленок с твердыми дисперсными наполнителями уделяется мало внимания. При этом электреты на основе наполненных полимерных пленок достаточно широко производятся и используются в совершенно разных отраслях промышленности.

Исследуемые материалы

В работе исследовались свойства композитных материалов, изготовленных на основе полипропилена (ПП) путем введения в полимерную матрицу дисперсного наполнителя на основе алюминия. ПП – синтетический неполярный полимер, принадлежащий к классу полиолефинов. Химическая формула: $[-CH_2 - CH-]_n$.

ПП может быть получен в изо-, синдио- и атактической конфигурации. В зависимости от молекулярного веса и содержания изотактической части свойства ПП могут изменяться в широких пределах [2]. Наибольшее промышленное значение имеет изотактический ПП.

Механические свойства ПП зависят от степени его кристалличности. ПП, подобно большинству синтетических полимеров, является хорошим диэлектриком [2]. Максимальная температура эксплуатации ПП 120–140°C.

В композитных материалах, результаты исследования которых приведены в данной работе, в качестве наполнителя использовалась алюминиевая пудра. Частицы алюминия в пудре имеют пластинчатую форму и покрыты тонкой оксидной пленкой.

Оксид алюминия (Al_2O_3) является хорошим электретом и широко применяется в качестве высокотемпературного электроизоляционного материала.

Методика эксперимента

Исследование электретного состояния полипропилена проводилось методами термостимулированной и изотермической релаксации потенциала. Метод термостимулированной релаксации потенциала (ТСРП) обладает некоторыми преимуществами перед другими методами термоактивационной спектроскопии, так как исследование ТСРП проводится бесконтактным способом, исключая влияние верхнего электрода, что особенно важно при исследовании электретных пленок, так как соответствует режиму эксплуатации пленок.

Термическая стимуляция релаксационных процессов позволяет разделить их во времени и оценить вклад каждого процесса в релаксацию поверхностного потенциала. Метод изотермической релаксации потенциала (ИТРП) позволяет более детально изучить конкретный релаксационный процесс, протекающий при определенной температуре.

В ходе эксперимента образец заряжался в поле коронного разряда до поверхностного потенциала порядка нескольких сотен вольт, затем помещался под бесконтактный измеритель потенциала и при необходимости нагревался. Величина поверхностного потенциала измерялась динамическим электрометром, описанным в [3].

При исследовании ТСРП поляризация производилась при комнатной температуре. Затем снималась температурная зависимость поверхностного потенциала при линейном режиме нагревания. При исследовании электретного состояния методом ИТРП снимались временные зависимости поверхностного потенциала при температуре поляризации образца.

Для структурных исследований ПП с наполнителем в работе использован метод малоуглового рентгеновского рассеяния (МУР), который широко применяется в мировой практике для изучения природных и синтетических материалов [4, 5]. Являясь продолжением рентгеноструктурного анализа на область неупорядоченных объектов и, следовательно, используя хорошо развитый аппарат теории дифракции, этот метод дает прямую структурную информацию о природе исследуемых образцов. Нами была применена одна из методик МУР – возможность оценки фрактальных свойств поверхностей рассеивающих объектов. Для математического описания этих свойств поверхность исследуемых частиц мысленно покрывают одним слоем плотно упакованных шаров радиуса r . Если число таких шаров $N(r)$, то в случае

$$N(r) \sim r^{-D_s} \quad (1)$$

в достаточно широком интервале изменения r поверхность таких частиц называют фрактальной, а величину D_s – фрактальной размерностью этой поверхности. Для гладких поверхностей (например, для трехмерных геометрических тел) $D_s = 2$. В случае неклассической геометрии фрактальная размерность D_s принимает значения в пределах $2 < D_s < 3$, причем с ростом D_s поверхность становится все более шероховатой.

Согласно теории МУР, развитой в работе Бейла и Шмидта [6], интенсивность рентгеновского рассеяния на однородных частицах, обладающих фрактальной поверхностью, подчиняется закономерности

$$I(q) \sim q^{-(6-D_s)}, \quad (2)$$

причем применимость формулы (2) ограничена случаем, когда $qL \gg 1$, где L – максимальный размер частиц. Таким образом, из формулы (2) следует, что если интенсивность рассеяния достаточно крупными частицами имеет вид прямой и если падение интенсивности составляет не менее 1,5–2 порядков, то поверхность рассеивающего объ-

екта можно считать фрактальной. Наклон $k = \frac{\Delta(\lg I)}{\Delta(\lg q)}$ линейного участка указанной зависимости непосредственно определяет фрактальную размерность:

$$D_s = 6 - k. \quad (3)$$

Если принять, что наблюдаемая фрактальность относится к свойствам поверхности раздела фаз в исследуемом образце, то можно оценить степень ее «шероховатости» (масштаб рельефа поверхности), которая определяется величиной фрактальной размерности D_s .

Малоугловые измерения проводились с помощью блочной камеры «Kratky». Использовалась рентгеновская трубка с медным катодом (линия излучения $\text{CuK}\alpha$, длина волны $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$). Детектором служил фотоэлектронный умножитель. Процесс получения кривых рассеяния был автоматизирован с помощью устройства сопряжения и программного обеспечения [7]. Юстировку рентгеновской камеры и первичную обработку результатов эксперимента проводили по методике, развитой в работе [8]. Коэффициент поглощения образца определяли с помощью приставки с движущейся щелью (Moving Slit Device) [9]. Во все представленные ниже экспериментальные индикатрисы рассеяния внесены коллимационные поправки на длину первичной щели и щели детектора. При этом была использована программа, основанная на применении сплайн-интерполяции при решении обратной коллимационной задачи [10–12].

Результаты эксперимента

В ходе работы были проведены исследования электретного состояния пленок полипропилена без наполнителя и с содержанием 2 и 4 об. % алюминиевой пудры. Толщина пленок – порядка 200 мкм. Частицы наполнителя имеют пластинчатую форму с линейным размером около 30 мкм.

Образцы заряжались в поле коронного разряда в течение 1 мин. При исследовании методом ТСРП проводилась поляризация при комнатной температуре, затем снималась зависимость поверхностного потенциала от температуры в режиме линейного нагревания со скоростями 0,08 К/с и 0,03 К/с. При проведении измерений методом ИТРП поляризация проводилась при температурах 100°C и 120°C, затем снималась температурная зависимость поверхностного потенциала при температуре поляризации образца.

На рис. 1 приведены экспериментальные результаты, полученные при помощи метода ТСРП при скорости нагревания образца 0,08 К/с. Из графиков видно, что введение наполнителя улучшает электретную стабильность исходного полимера. При этом большей стабильностью обладает материал, содержащий 2 об. % алюминиевой пудры, что подтверждается и при проведении исследований методом ИТРП. Результаты измерений, полученные при температуре 120°C, приведены на рис. 2.

Обработка результатов проводилась численными методами при помощи регулирующих алгоритмов Тихонова [13]. При определении параметров электрически активных дефектов (ЭАД) этим способом восстанавливаются функции распределения ЭАД по энергиям для различных значений частотного фактора. Критерием правильности выбора значения частотного фактора является совпадение максимумов функций распределения, восстановленных для зависимостей поверхностного потенциала от температуры, полученных для разных скоростей нагревания. Рассчитанные таким образом значения параметров ЭАД приведены в таблице.

Из полученных данных видно, что при добавлении в исходную полимерную матрицу 2 об.% алюминиевой пудры в полученном композитном материале появляются

более глубокие ловушки: $E_{\text{акт}} = 1,03 \pm 0,05$ эВ против $0,81 \pm 0,05$ эВ в ненаполненном ПП и $0,83 \pm 0,05$ эВ в ПП, содержащем 4 об. % наполнителя.

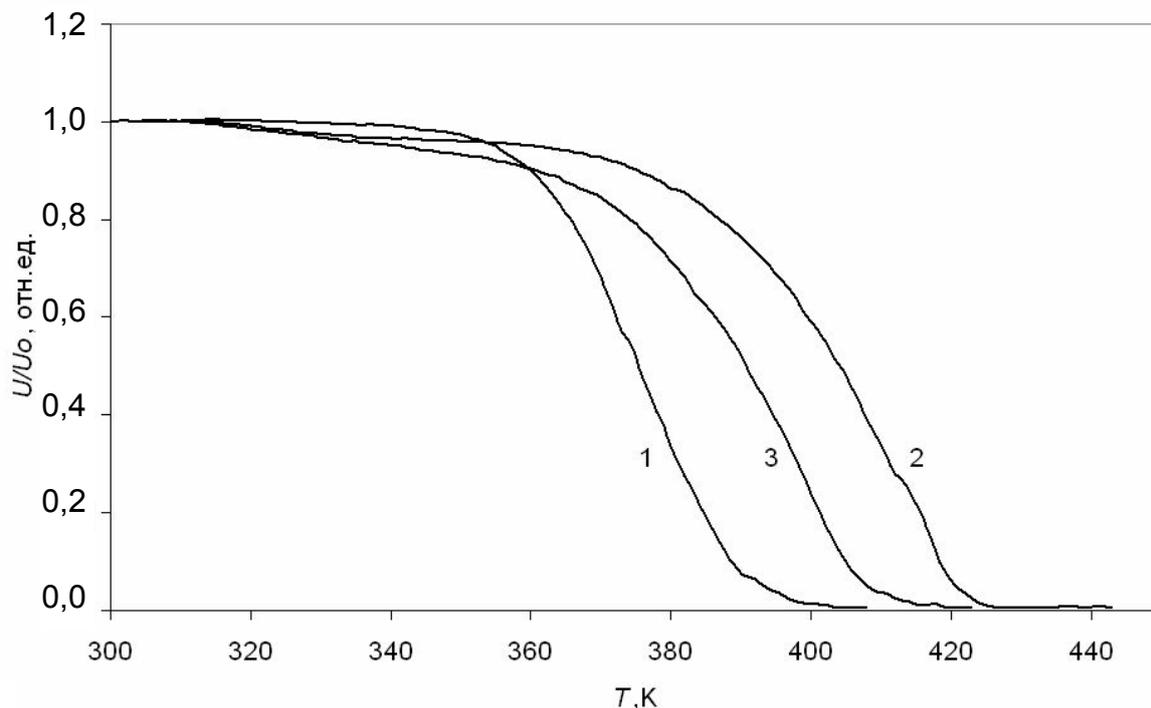


Рис. 1. Зависимость поверхностного потенциала от температуры для образцов, заряженных в поле отрицательного коронного разряда. Скорость нагревания $\beta = 0,08$ К/с. 1 – ПП; 2 – ПП + Al 2%; 3 – ПП + Al 4%

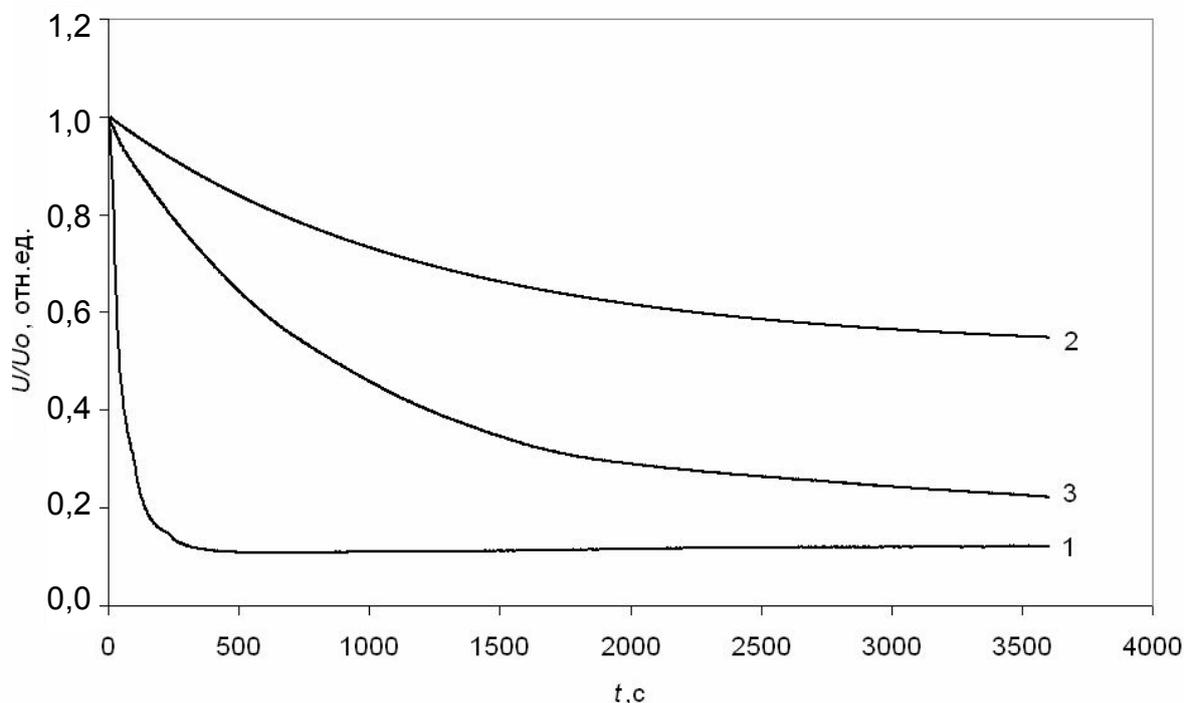


Рис. 2. Зависимость поверхностного потенциала от времени для образцов, заряженных в поле отрицательного коронного разряда. $T = 120^\circ\text{C}$. 1 – ПП; 2 – ПП + 2% Al; 3 – ПП + 4% Al

	ω , Гц	$E_{акт}$, эВ
ПП	$5 \cdot 10^8$	$0,81 \pm 0,05$
ПП + 2% Al	10^{11}	$1,03 \pm 0,05$
ПП + 4% Al	10^8	$0,83 \pm 0,05$

Таблица. Частотный фактор и энергия активации, полученные для образцов, заряженных в поле отрицательного коронного разряда

Предположения по объяснению этих результатов можно сделать на основе данных МУР. Были получены кривые рентгеновского малоуглового рассеяния как самим ПП, так и ПП с наполнителем на основе алюминия при концентрации последнего 2 % и 4 %. На рис. 3 представлены коллимационно пересчитанные индикатрисы рассеяния указанных образцов.

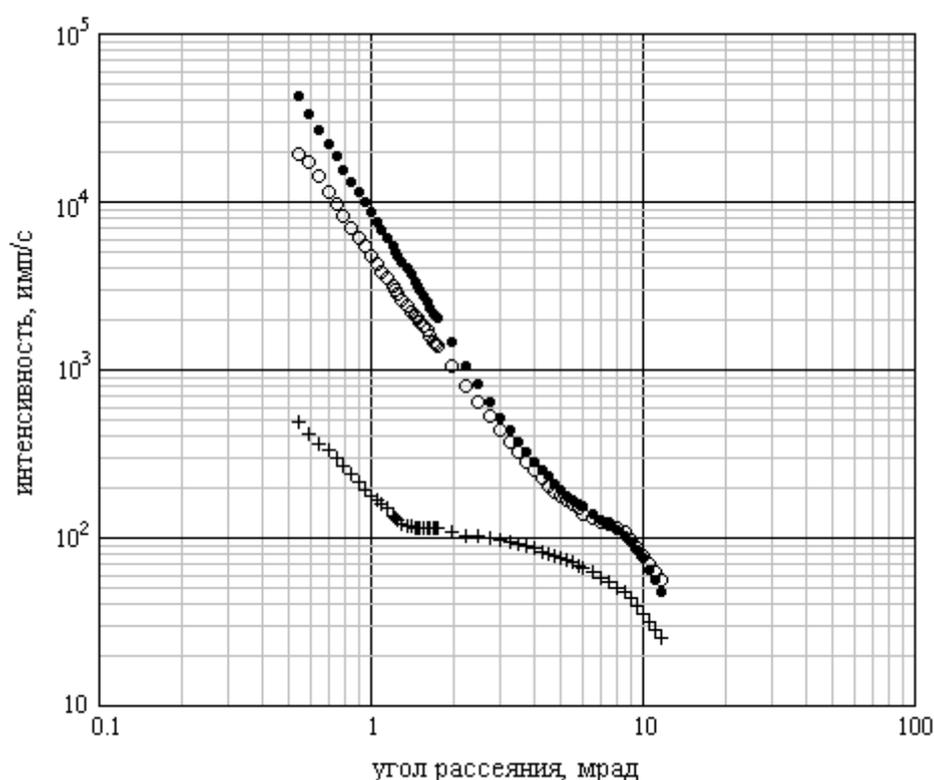


Рис. 3. Экспериментальные индикатрисы малоуглового рентгеновского рассеяния: +++ «чистый» ПП; ○○○ ПП + 2 об. % Al ; ●●● ПП + 4 об. % Al

Как видно, наличие алюминиевого наполнителя существенно меняет профиль кривой рассеяния ПП. Более того, именно рассеяние от алюминия становится определяющим, особенно в области малых углов, в которой (в двойном логарифмическом масштабе) наблюдается ярко выраженная прямолинейная зависимость интенсивности от угла рассеяния. Допуская, что интерференционный вклад ПП–алюминий в общую индикатрису рассеяния незначителен, мы вычли из кривых рассеяния ПП+алюминий кривую рассеяния ПП, получив таким образом индикатрисы рассеяния «чистым» алюминием в составе композита (рис. 4).

Из сравнения рис. 4 с рис. 3 видно, что область прямолинейного спада интенсивности обеих кривых рассеяния заметно расширилась и составила 4 порядка. Согласно изложенной выше теории, указанный ход кривых, несомненно, свидетельствует о фрактальном характере поверхности алюминия. По формуле (3) была оценена их фракталь-

ная размерность. Эта поверхность оказалась весьма изрезанной («шероховатой»), сильно отличающейся от классически гладких (геометрических) поверхностей.

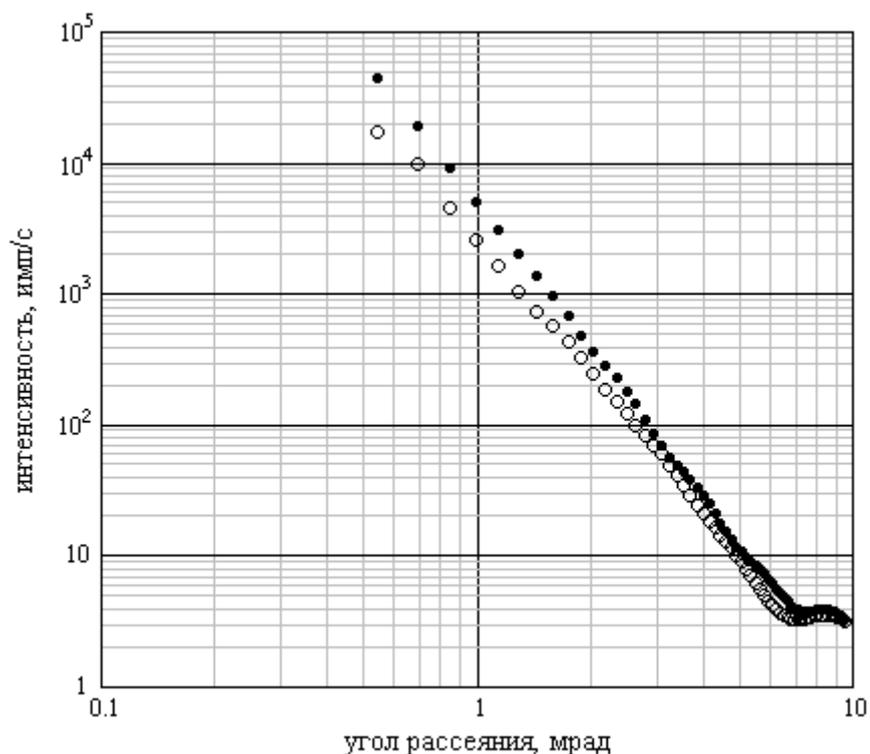


Рис. 4. Индикатрисы малоуглового рентгеновского рассеяния от композитных образцов после устранения коллимационных искажений и вычитания индикатрисы «чистого» полипропилена: ○○○ ПП + 2 об. % Al ; ●●● ПП + 4 об. % Al

Как следует из рис. 4, 2% алюминий в составе композита обладает более высокой фрактальной размерностью $D_s = 2,490 \pm 0,025$ (большей «шероховатостью» поверхности) по сравнению с 4% алюминием в составе того же композита ($D_s = 2,250 \pm 0,016$). Можно выдвинуть предположение, что частицы алюминия имеют участки разной «шероховатости», и при переходе от 2 % к 4 % происходит слипание этих частиц по более «шероховатым» участкам их поверхности, в результате чего фрактальная размерность слипшихся частиц уменьшается.

Увеличение стабильности электретоного состояния композитных пленок с 2 % содержанием алюминиевой пудры может быть объяснено, таким образом, наибольшей удельной поверхностью наполнителя, на границе раздела с которым происходит накопление объемного заряда.

Выводы

В ходе исследований было показано, что добавление в полипропилен дисперсного наполнителя в виде алюминиевой пудры приводит к улучшению электретоных свойств исходного полимера. При этом максимальная стабильность электретоного состояния наблюдается при содержании 2 об. % наполнителя в полимерной матрице. Можно предположить, что этот результат объясняется наибольшим значением удельной поверхности наполнителя при добавлении 2 об. % алюминиевой пудры. Дальнейшее увеличение процентного содержания наполнителя приводит к слипанию его частиц, что, в свою очередь, уменьшает удельную поверхность наполнителя, на границе раздела с которым происходит накопление заряда.

Литература

1. Основы создания полимерных композиционных материалов: Учеб. пособие / А.Е. Заикин, М.Ф. Галиханов. – Казань: Казан. гос. технол. ун-т, 2001. – 140 с.
2. Полипропилен / Пер. со словацкого под ред. Пилиповского В.И., Ярцева И.К. – Л.: Химия, 1967. – 316 с.
3. Тазенков Б.А., Бойцов В.Г., Сандалов Г.Н., Шнейдман И.Б. Процессы и аппараты электрографии. – Л.: Машиностроение, 1972.
4. Kratky O. Instrumentation, Experimental Technique, Slit Collimation // in: Small-angle X-ray scattering. – London: Academic Press, 1983. – P. 53–84.
5. Porod G. General Theory // in: Small-angle X-ray scattering. – London: Academic Press, 1983. – P. 17–52.
6. Bale H.D., Schmidt P.W. The theory of small-angle X-ray scattering by the fractal surfaces // Phys. Rev. Lett. – 1984. – V. 53. – P. 596–603.
7. Мельничук А.П., Прищепенко О.Б., Смирнов А.В., Федоров Б.А. Прецизионная юстировка камеры Краткого и программа первичной обработки данных рентгеновского малоуглового рассеяния // Изв. вузов. Приборостроение. – 2002. – Т. 45. – С. 48–54.
8. Мельничук А.П., Волков С.А., Смирнов А.В., Поживилко К.С., Зинчик А.А., Стафеев С.К., Федоров Б.А. Современные возможности компьютеризации малоуглового рентгеновского дифрактометра // Изв. вузов. Приборостроение. – 1998. – Т. 41. – С. 50–53.
9. Stabinger H., Kratky O. A new technique for the measurement of the absolute intensity of X-ray small angle scattering. The moving slit method // Makromol. Chem. – 1978. – V. 179. – № 6. – S. 1655–1659.
10. Смирнов А.В., Сизиков В.С., Федоров Б.А. Решение обратной коллимационной задачи для рентгеновского малоуглового изотропного рассеяния с помощью сплайновых функций // Изв. вузов. Приборостроение. – 2006. – Т. 49. – С. 41–47.
11. Greville T.N.E. Theory and Applications of Spline Functions. – London: Acad. Press, 1969.
12. Schelten J., Hossfeld F. Application of spline functions to the correction of resolution errors in small angle scattering // J. Appl. Cryst. – 1971. – V. 4. – № 3. – P. 210–223.
13. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986.

Фомичева Елена Егоровна	–	Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, fee83@yandex.ru
Темнов Дмитрий Эдуардович	–	Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат физ.-мат. наук, доцент, detem@yandex.ru
Смирнов Александр Витальевич	–	Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат физ.-мат. наук, доцент, smirnav@phd.ifmo.ru
Федоров Борис Александрович	–	Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор физ.-мат. наук, профессор, borisfedorov@phd.ifmo.ru

УДК 004.4'242

**ВЕРИФИКАЦИЯ АВТОМАТНЫХ МОДЕЛЕЙ
МЕТОДОМ РЕДУЦИРОВАННОГО ГРАФА ПЕРЕХОДОВ**

С.Э. Вельдер, А.А. Шалыто

В статье рассматриваются способы преобразования программ, разработанных на основе автоматного подхода, в модели Крипке, предназначенные для проверки свойств, относящихся к поведению системы. Эти свойства задаются формулами темпоральной логики. Предложен эффективный метод такого преобразования и формулировки указанных свойств, который позволяет строить небольшие модели Крипке и достаточно быстро проводить их проверку.

Ключевые слова: верификация моделей, темпоральные логики, Model checking, автоматное программирование.

Введение

В данной работе предлагается метод верификации моделей (*Model checking*) применительно к автоматным программам. В этом контексте исследуются особенности структуры (модели) Крипке. Причина, по которой этим вопросам уделяется внимание, заключается в преимуществах автоматных программ перед остальными в смысле верификации, так как алгоритмы верификации автоматных программ могут оперировать с моделью Крипке, заданной в явном виде, в то время как для традиционных программ процесс построения модели требует дополнительного исследования. Можно выделить следующие ключевые этапы верификации автоматных программ: преобразование автоматной модели в модель Крипке и построение требований к модели (свойства модели); собственно процесс верификации (отработки алгоритмов на полученных моделях); построение подтверждающих трасс (контрпримеров) в модели Крипке, а также представление контрпримеров, записанных в терминах модели Крипке, в виде путей в исходной автоматной модели. Алгоритмы верификации и построения контрпримеров в модели Крипке изложены в работах [1–5]. Генерация модели Крипке основана на построении редуцированного графа переходов, структура которого рассматривается в данной работе.

Общие положения

В этом разделе описывается метод генерации множества атомарных предложений автоматной программы и преобразования автомата с булевыми входными переменными в модель Крипке. Метод состоит в редукции полного графа переходов с внесением тесных отрицаний внутрь атомарной формулы. Приводится пример записи требований к программе. Требования выражаются в темпоральной логике *CTL*.

Моделью Крипке (также *CTL*-моделью) для данного множества атомарных предложений *AP* будем считать тройку $\mathcal{M} = (S, R, Label)$, где:

- S – непустое множество состояний;
- $\subseteq S \times S$ – тотальное отношение на S , называемое отношением переходов. Для него должна выполняться формула $\forall s \in S \exists s' \in S \mid (s, s') \in \rightarrow$ (свойство тотальности). Оно сопоставляет каждому элементу (состоянию) $s \in S$ непустое множество его состояний-последователей.

– $Label \subseteq S \times AP$ – помечающее отношение, сопоставляющее каждому состоянию $s \in S$ множество атомарных предложений, истинных в s .

Иногда можно потребовать, чтобы в модели Крипке было задано непустое множество начальных состояний $S_0 \subseteq S$ или даже одно начальное состояние $s \in S$.

Построение модели Крипке по автоматной модели

Рассмотрим программу, модель которой задается системой автоматов, взаимодействующих по вложенности. Необходимо преобразовать эту модель в единую модель Крипке, целиком описывающую поведение данной системы.

Прежде всего для множества автоматов выполняется топологическая сортировка по отношению вложенности. Данное отношение не должно содержать циклов, иначе полученная модель имела бы бесконечный размер. Модель Крипке строится индуктивно для каждого автомата системы, причем автоматы обрабатываются в порядке, который был сформирован топологической сортировкой. Такой порядок означает, что перед обработкой внешних автоматов вложенные в них уже будут обработаны (для них будет подготовлена модель Крипке).

Итак, опишем алгоритм построения модели Крипке для одиночного автомата в предположении, что модели Крипке для всех его вложенных автоматов уже построены. Будем пользоваться терминологией, введенной в разд. 2.2.1.1 отчета по III этапу темы [6].

В методе редукции графа переходов множество AP задается следующим образом: $\{Y_1, Y_2, \dots\} \cup \{e_1, e_2, \dots\} \cup \{x_1, x_2, \dots\} \cup \{\!|x_1, |x_2, \dots\} \cup \{z_1, z_2, \dots\} \cup \{\text{InState}, \text{InEvent}, \text{InAction}\} \cup \text{Names}$.

Здесь $\{Y_1, Y_2, \dots\}$ – множество наименований всех состояний автоматов, $\{e_1, e_2, \dots\}$ – событий, $\{x_1, x_2, \dots\}$ – входных воздействий, а $\{z_1, z_2, \dots\}$ – выходных воздействий. Names – множество наименований самих автоматов, а InState , InEvent и InAction – управляющие атомарные предложения, предназначенные для того, чтобы было удобно различать позиции, построенные из состояний, событий и выходных воздействий.

Модель Крипке будем строить по частям: вначале построим те ее части, которые соответствуют состояниям автомата (при этом потребуется обработать выходные воздействия и автоматы, вложенные в эти состояния), а потом добавим туда информацию о переходах. На первом шаге положим множество S равным множеству состояний исходного автомата, и для каждого состояния s добавим в отношение $Label$ две пометки: (s, s) и $(s, \text{InState})$.

После этого для каждого состояния s необходимо выполнить следующую операцию. Пусть s содержит выходные воздействия $z_{s[1]}, \dots, z_{s[u]}$, которые выполняются при входе в s . Добавим в модель u состояний $\{r_1, \dots, r_u\}$ и u переходов $r_1 \rightarrow r_2, \dots, r_{u-1} \rightarrow r_u, r_u \rightarrow s$, в отношении $Label$ добавим пометки $(r_k, z_{s[k]})$, $(r_k, \text{InAction})$ для всех k от 1 до u . При добавлении ребер в модель на следующих этапах каждую дугу, направленную в s , будем перенаправлять в r_1 .

Пример такого преобразования приведен на рис. 1.

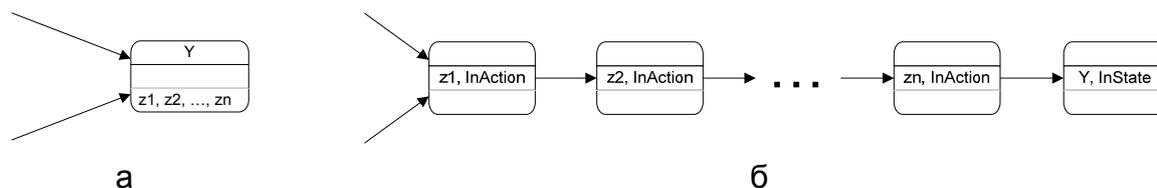


Рис. 1. Состояние с выходными воздействиями до преобразования (а) и после него (б)

Назовем эту операцию разделением выходных переменных и состояний. Теперь следует отделить состояния от вложенных в них автоматов.

Пусть в состояние γ внешнего автомата вложены автоматы $A_{\gamma,1}, A_{\gamma,2}, \dots, A_{\gamma,v}$ (для них модели Крипке уже построены по индуктивному предположению). В модели Крипке для внешнего автомата (которая еще строится) уже присутствует позиция, соответствующая состоянию γ . Для каждого из автоматов $A_{\gamma,1}, A_{\gamma,2}, \dots, A_{\gamma,v}$ добавим его модель Крипке к строящейся модели Крипке внешнего автомата. При добавлении требуется скопировать во внешнюю модель Крипке все состояния, переходы и пометки внутренней модели Крипке. Для каждого состояния внутренней модели Крипке создадим уникальное, соответствующее только ему, состояние внешней модели Крипке. Во внешнее отношение переходов \rightarrow добавим переходы между теми состояниями, которые соответствовали всем переходам между состояниями внутренней модели. Аналогично поступим и с помечающим отношением *Label*.

После того, как внутренние модели Крипке будут скопированы во внешнюю, добавим в нее также v переходов: для каждого i от 1 до $v - 1$ добавим в отношение \rightarrow переход из терминальной позиции модели Крипке для автомата $A_{\gamma,i}$ в стартовую позицию модели Крипке для автомата $A_{\gamma,i+1}$, а также один переход из терминальной позиции модели Крипке для автомата $A_{\gamma,v}$ в позицию, соответствующую состоянию γ . Если до этого в позицию γ вели какие-либо дуги, то все они перенаправляются в стартовую позицию модели Крипке для автомата $A_{\gamma,1}$.

Пример такого преобразования приведен на рис. 2.

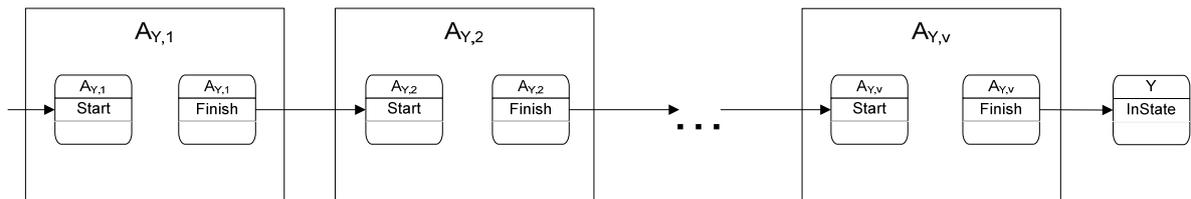


Рис. 2. Обработка автоматов, вложенных в состояние

Обратим внимание, что в различные состояния автомата A могут быть вложены различные «копии» одного и того же автомата B . В этом случае для каждой копии автомата создается своя модель Крипке (все эти модели изоморфны друг другу), и перенаправление дуг выполняется для нее. Размер полученной модели Крипке (число ее состояний) будет ограничен сверху произведением размеров моделей Крипке для каждого автомата в отдельности (без учета вложенных).

На данном этапе закончивается обработка состояний автомата. Поэтому перейдем к описанию того, как обрабатываются переходы.

Рассмотрим множество следующих символов: $\{x_1, !x_1; x_2, !x_2; x_3, !x_3; \dots\}$. Можно сказать, что это множество всех литералов, составленных из входных переменных. Следует различать смысл знаков \neg и $!$. Первый из них означает выполнение операции логического отрицания, а второй интерпретируется просто как символ (часть строки $!x_i$).

Тогда для каждого ребра r исходного автомата, ведущего из состояния p в состояние q с пометкой $e_i \& h_{j[1]} \& h_{j[2]} \& h_{j[3]} \& \dots h_{j[m]} / z_{i[1]}, \dots, z_{i[n]}$, где либо $h_{j[j^*]} = x_{j[j^*]}$, либо $h_{j[j^*]} = !x_{j[j^*]}$ (это значит, что $h_{j[j^*]}$ есть либо входная переменная, либо ее отрицание), добавим в модель $n + 1$ состояние $\{r_e, r_1, \dots, r_n\}$, $n + 2$ перехода: $p \rightarrow r_e, r_e \rightarrow r_1, r_1 \rightarrow r_2, \dots, r_{n-1} \rightarrow r_n, r_n \rightarrow q$, а в отношении *Label* добавим пометки (r_e, e_i) ,

$(r_e, InEvent)$, $(r_k, z_{i[k]})$, $(r_k, InAction)$ для всех k от 1 до n , а также пометки $(r_e, h_{j[1]})$, $(r_e, h_{j[2]})$, ..., $(r_e, h_{j[m]})$.

Пример такого преобразования отражен на рис. 3.

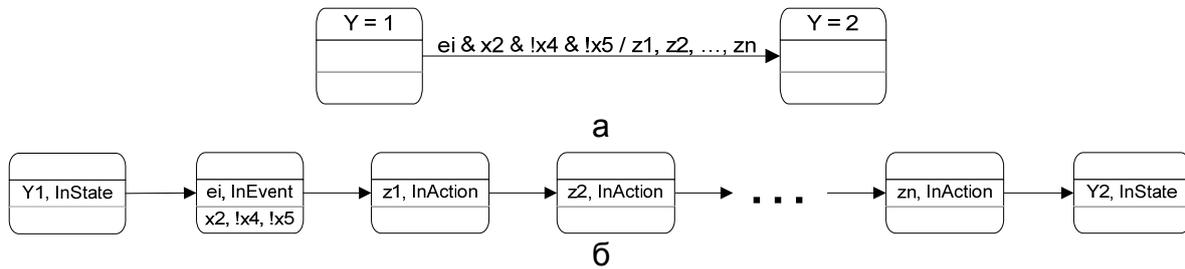


Рис. 3. Переход между состояниями до преобразования по методу редукции (а) и после него (б)

Из этого рисунка видно, что для тех состояний, которые были построены из событий, в множество атомарных предложений были добавлены входные переменные в том виде, в котором они записаны на переходах автомата (вместе с отрицаниями, если имеются).

Далее для каждой внешней позиции полученной модели (внешней будем называть любую позицию, за исключением тех, которые были скопированы при обработке вложенных автоматов) добавим в отношении *Label* пометку с атомарным предложением (элементом множества *Names*), соответствующим имени обрабатываемого автомата (того, для которого строится модель и которому это состояние принадлежит). Эти действия предназначены для того, чтобы в формулах темпоральной логики можно было различать какой именно из автоматов системы выполняется на данном участке пути.

Если на переходах каких-либо автоматов указаны условия на состояния других автоматов, то эти переходы следует добавлять в модель Крипке только в случае, если данные условия соблюдаются. Так как автоматы вложены друг в друга, то следует проверять условия на переходах внутренних автоматов, описывающие поведение внешних автоматов. Пример построения модели Крипке по системе взаимодействующих автоматов приведен на рис. 4.

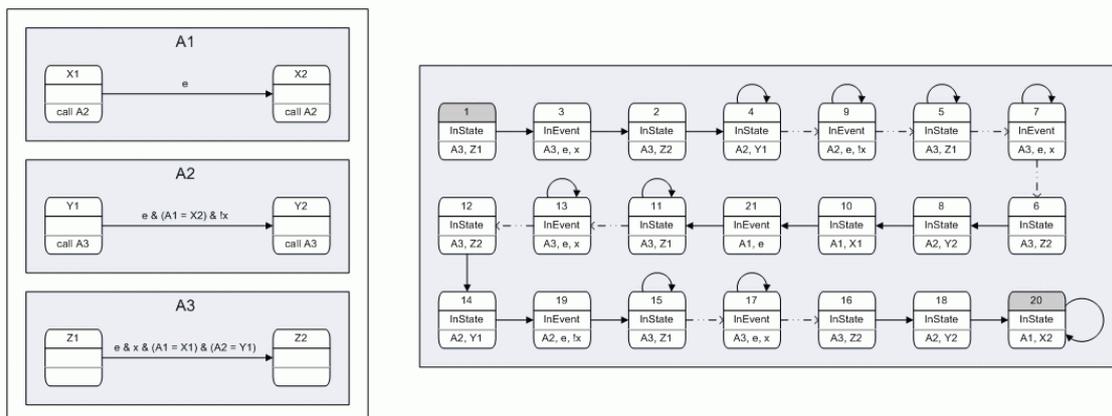


Рис. 4. Система автоматов, взаимодействующих по вложенности, с условиями на состояниях внешних автоматов и модель Крипке для этой системы

Рассмотрим пример работы этого алгоритма для системы, эмулирующей работу банкомата [6, 7]. Система состоит из двух автоматов AClient и AServer, причем AServ-

er вложен в AClient. Схема связей для соответствующей автоматной модели изображена на рис. 5, а графы переходов автоматов AServer и AClient – соответственно на рис. 6 и 7.

Для этой системы модель Крипке имеет большой размер. Поэтому она отображена на рис. 8 в упрощенном виде: позиции модели Крипке не выделяются каждая в свой блок, но видны особенности обработки вложенных автоматов.

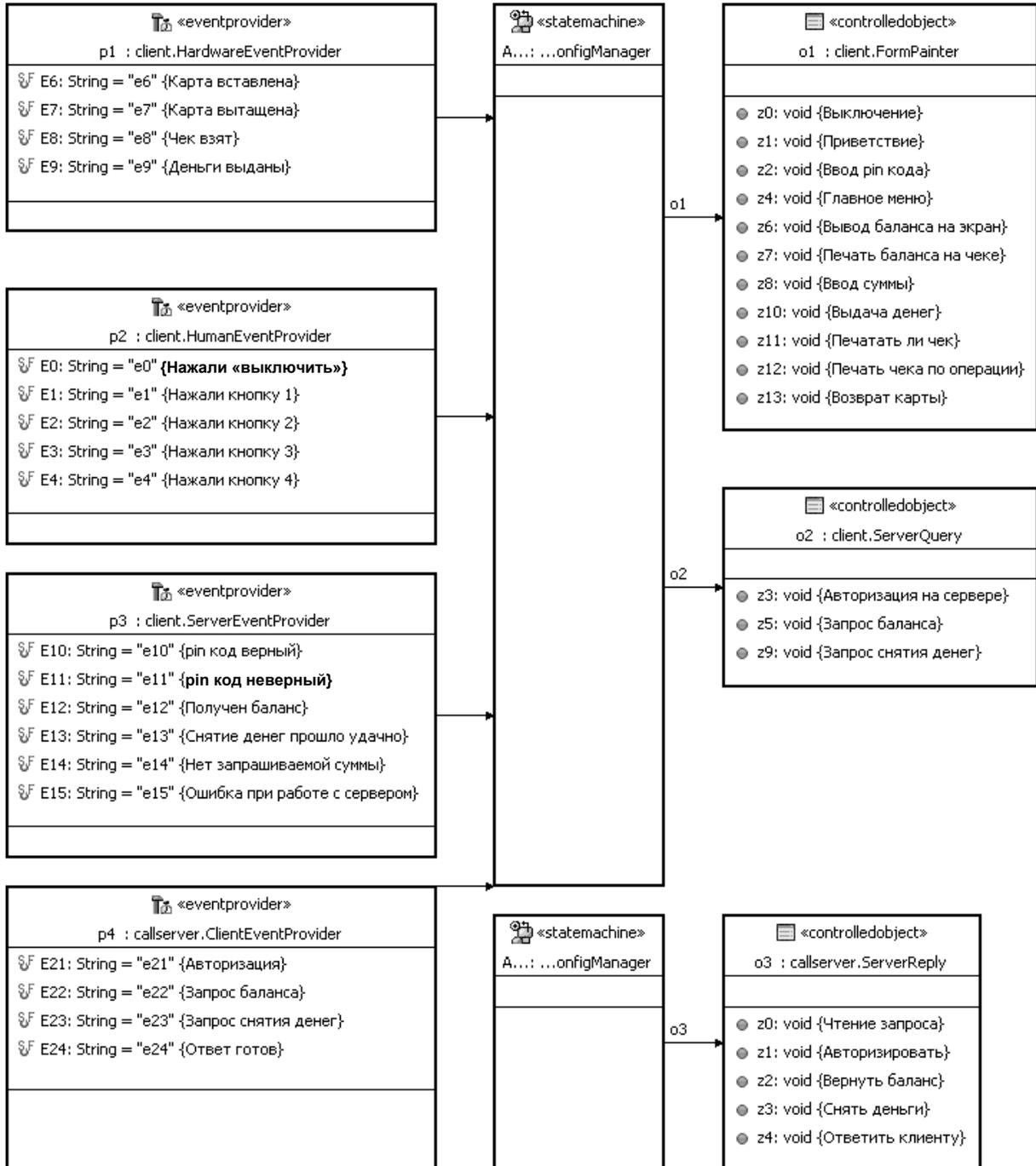


Рис. 5. Схема связей автоматной модели

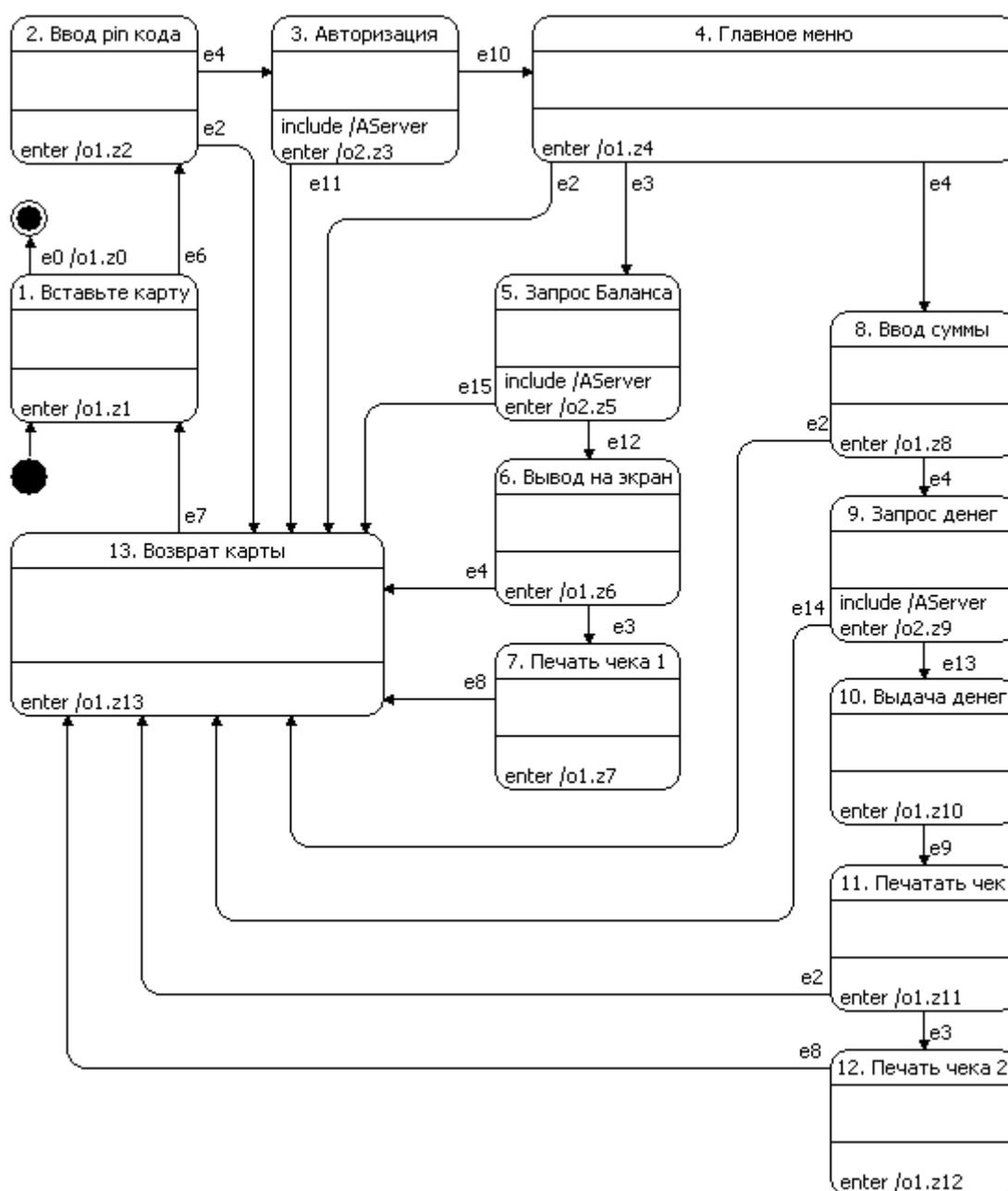


Рис. 6. Граф переходов автомата AClient

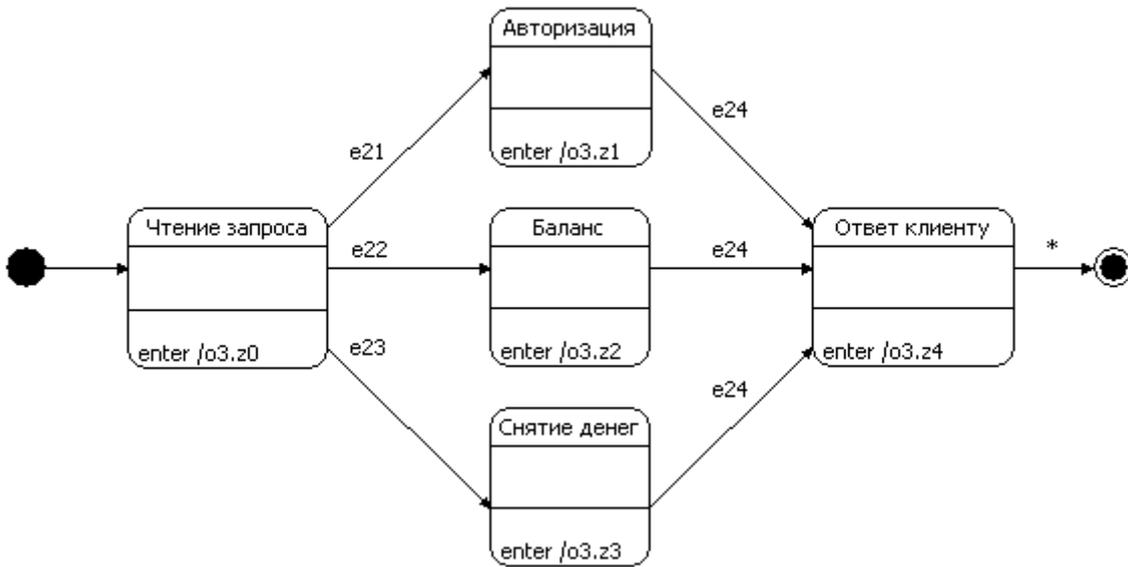


Рис. 7. Граф переходов автомата AServer

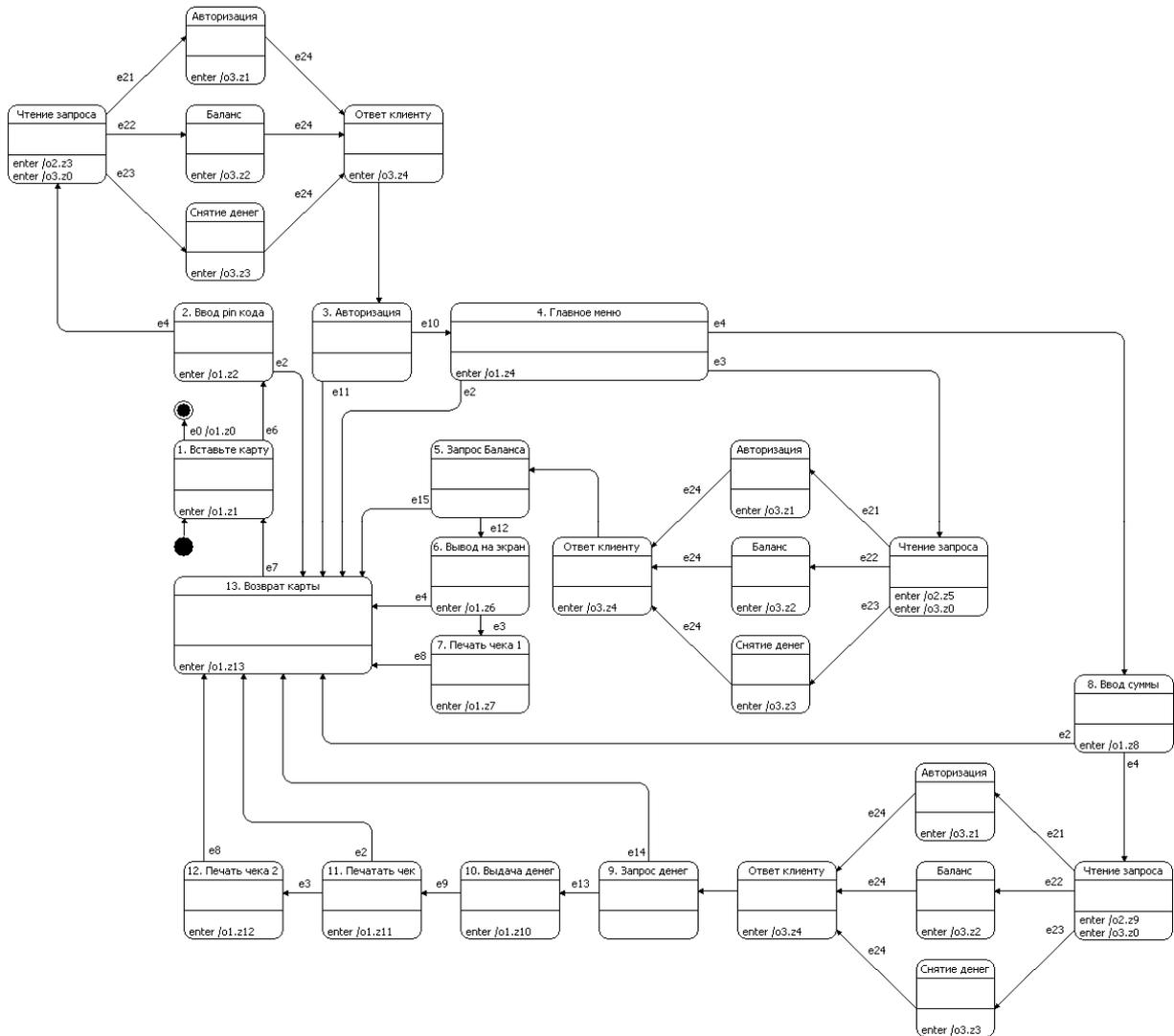


Рис. 8. Редукция графа переходов для модели банкомата

Проверка *CTL*-формулы

Разберем построение и интерпретацию *CTL*-формул для редуцированных моделей.

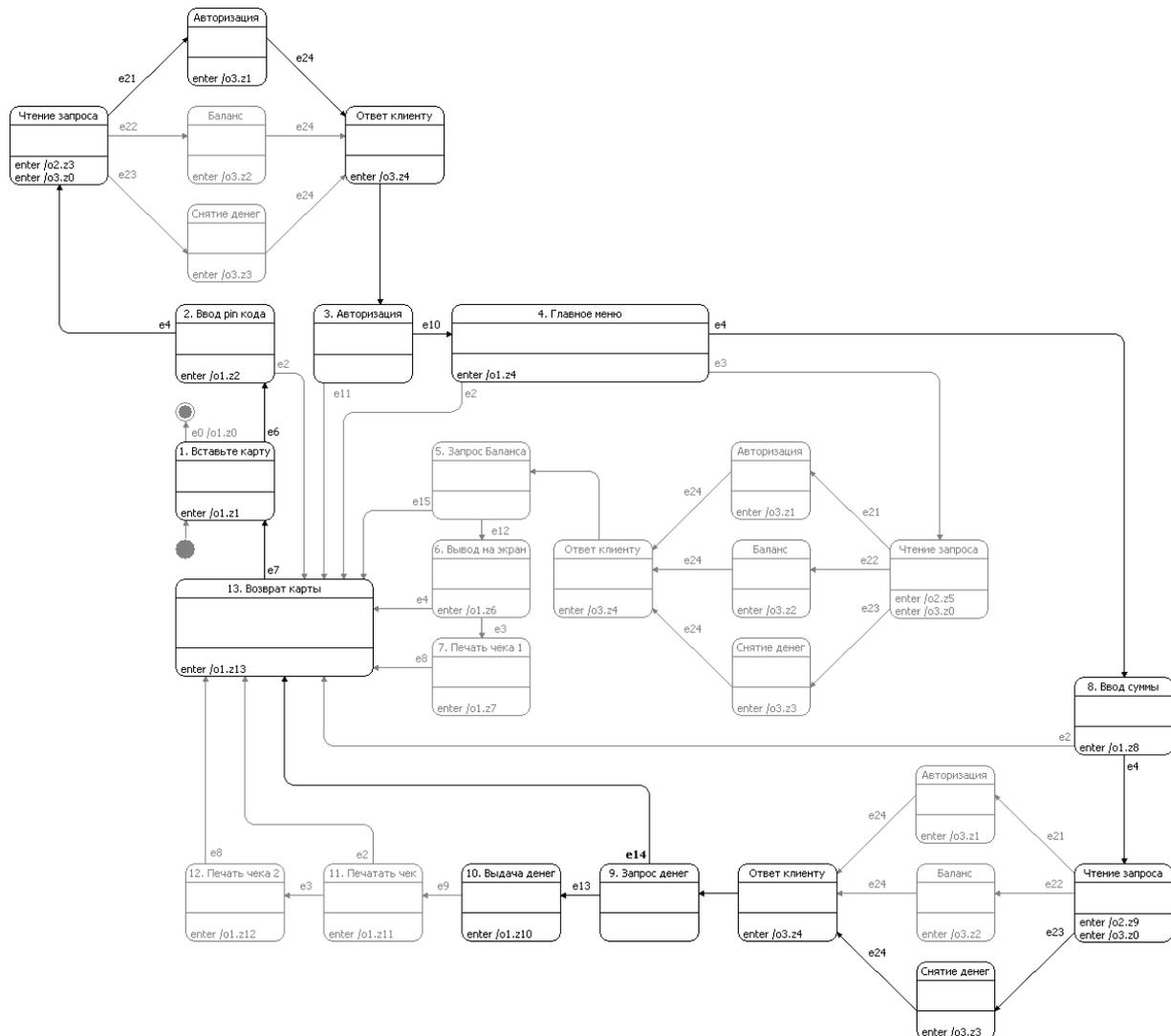


Рис. 9. Пример пути в модели Крипке для банкомата

CTL-семантика в данном методе будет немного отличаться от общепринятой: перед тем, как выполнять верификацию *CTL*-формулы, ее следует привести к определенному («каноническому») виду. Вначале в ней необходимо удалить все парные отрицания (путем замены подформулы вида $\neg\neg f$ на f). После этого все входные воздействия, которые присутствуют в формуле без отрицания, требуется предварить двумя отрицаниями: одно из них – синтаксическое, другое – логическое (это значит, что необходимо заменить литералы вида x_i на формулы $\neg!x_i$). Только после этих модификаций результирующую формулу можно верифицировать методами, предназначенными для языка *CTL*. Причина такого обращения с литералами заключается в следующем: требуется обеспечить, чтобы любая ссылка на несущественную переменную, которая упомянута в *CTL*-формуле, давала истинный результат (несущественными переменными на данном переходе называются те входные переменные исходного автомата, значение которых не проверяется на этом переходе).

Рассмотрим пример для модели банкомата. Проверим *CTL*-формулу: $e_{14} \rightarrow \neg E[\neg o_{3.z0} \cup y_{10}]$. Она означает: если произошло событие e_{14} , то невозможно попасть в состояние 10, минуя позицию $o_{3.z0}$. Эта формула верна во всех позициях модели. Все пути из позиции e_{14} в состояние 10 дважды «проходят» через автомат *AServer*: в первый раз – попав в состояние 3, а второй – попав в состояние 9 автомата *ASClient*. Пример такого пути (не проходящего дважды через одно состояние одного и того же экземпляра автомата) выделен на рис. 9. Позиция e_{14} , являющаяся стартовой для данного пути, выделена на рисунке жирным шрифтом.

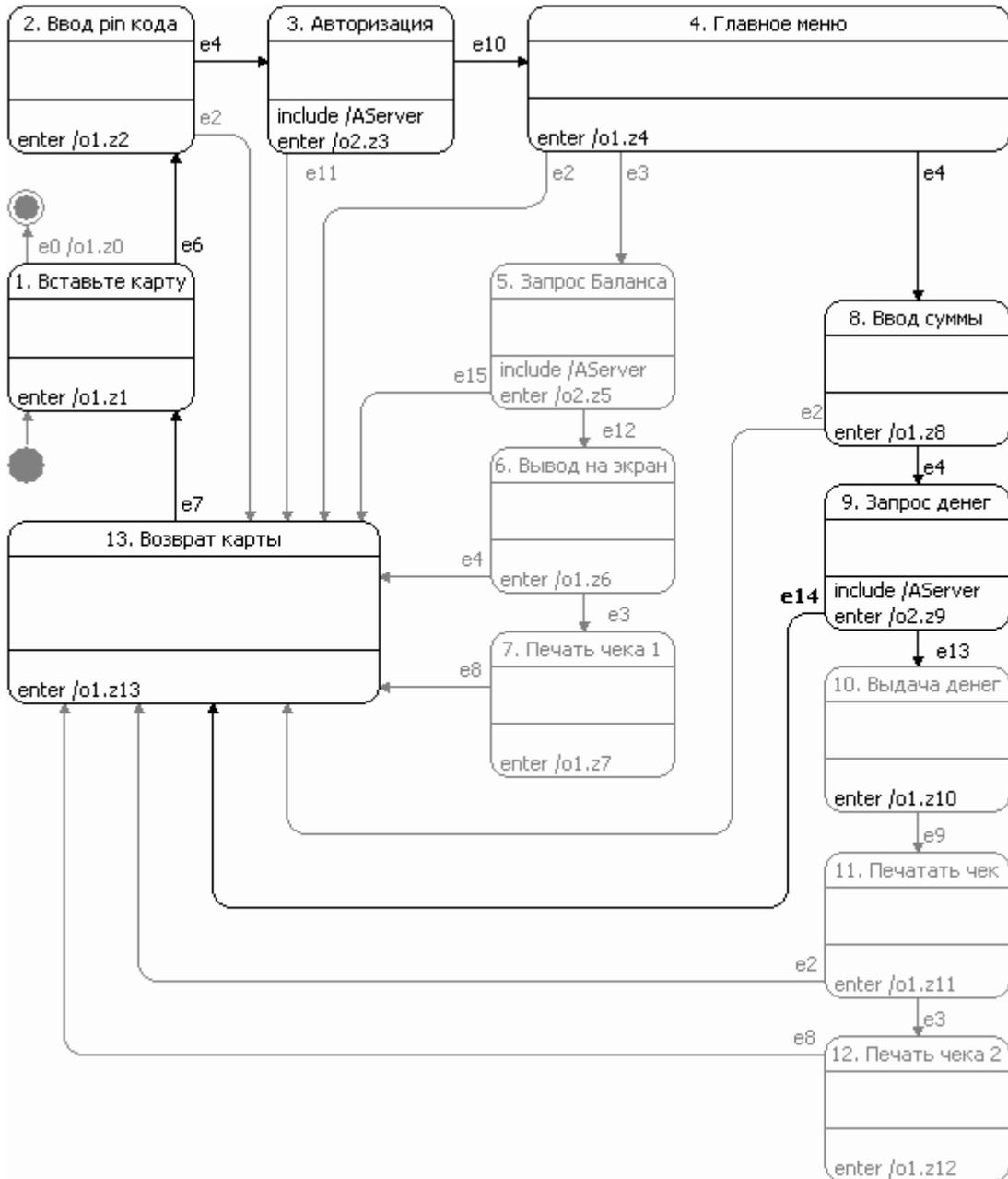


Рис. 10. Участок пути в автомате *ASClient*

Таким образом, в методе редукции графа переходов была видоизменена семантика *CTL*. Рассмотренная схема преобразовывала исходную формулу, построенную для но-

вой семантики *CTL*, в новую формулу, для которой применима общепринятая семантика языка *CTL*. Использование такой схемы подходит для многих формул.

Путь в модели Крипке для банкомата, отображенный на рис. 9, можно показать и в терминах исходной системы автоматов (рис. 10, 11).

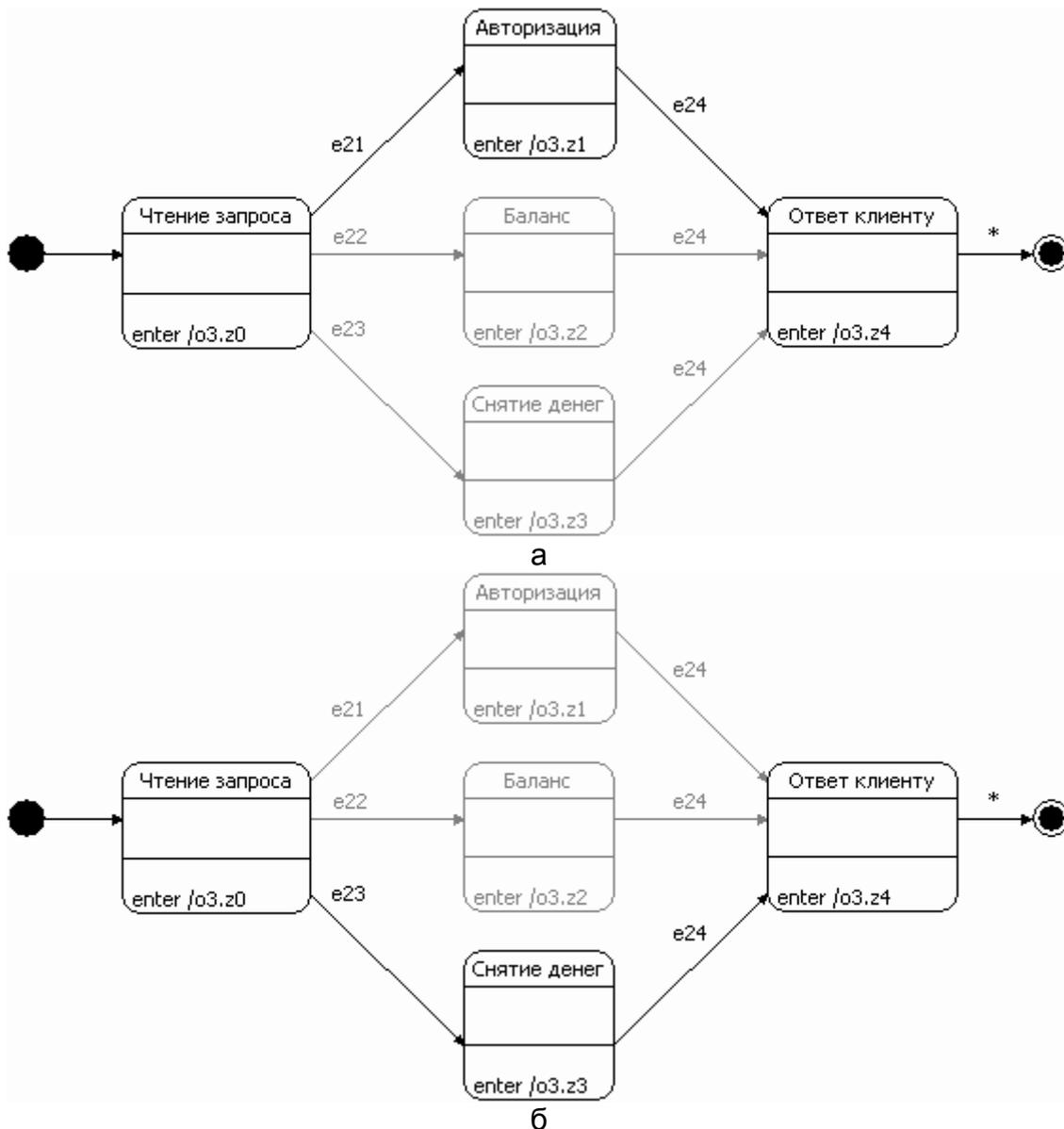


Рис. 11. Участок пути в автомате *AServer* при первом прохождении (а) и при втором прохождении (б)

Преобразование сценария для модели Крипке в сценарий для автомата

После моделирования и верификации требуется обработать результаты проверки модели. Программы, написанные с помощью традиционных методов, имеют достаточно сложные модели, и проводить анализ путей прямо на модели Крипке неэффективно.

При интерактивном моделировании совместно с исполнением и визуализацией автомата [8, 9] желательно автоматизировать процесс представления путей в модели Крипке путями в автомате.

После того, как отработала программа-верификатор, необходимо определить выполнимость формул, которые формируют спецификацию на заданных участках автомата. Среди этих участков могут быть состояния, события, выходные воздействия.

Сценарий для любой подформулы спецификации представляет собой путь в модели Крипке, иллюстрирующий справедливость или ошибочность данной подформулы. Задача состоит в том, чтобы сценарий, представленный программой для модели Крипке, был представлен в исходном автомате.

Для описанного в настоящей работе метода операция переноса путей из модели Крипке в автомат выполняется однозначно. Действительно, состояния модели, содержащие атомарное предложение $Y = \dots$ или вспомогательное атомарное предложение *InState*, однозначно преобразуются в соответствующие им состояния автомата. Путь между любыми двумя соседними состояниями всегда представляет собой «змейку» из события и выходных воздействий. Любая из этих промежуточных позиций однозначно определяет то главное состояние автомата, из которого эта «змейка» исходит. Из атомарных предложений, которыми помечены состояния «змейки», однозначно восстанавливаются события. Значения существенных входных переменных (тех, которые записаны на переходе) и список несущественных переменных определяется оттуда же (методом редукции). Последовательным проходом по полученному пути восстанавливается информация о выполнимости литералов, соответствующих выходным воздействиям, об очередности этих литералов и о том, как попасть в данное состояние.

Заключение

В работе предложен метод редукции графа переходов для представления системы автоматов структурами Крипке. Этот метод реализован программно. Программа позволяет строить трассы, которые подтверждают заданные формулы, начинающиеся с квантора существования пути (или опровергают отрицания этих формул). Рассмотренные примеры показывают, что предложенный метод позволяет убеждаться в корректности модели, находить ошибки в случае некорректных формул и ошибки в неверной модели. Ряд тестов проводился для намеренно измененной модели, чтобы продемонстрировать эффективность метода.

Литература

1. Emerson E.A., Clarke E.M. Using branching time temporal logic to synthesize synchronization skeletons // *Science of Computer Programming*. – 1982. – № 2. – P. 241–266.
2. Clarke E.M., Emerson E.A. Design and Synthesis of Synchronization Skeletons Using Branching-Time Temporal Logic // *Logics of Programs, Workshop*. – Yorktown Heights, New York, May 1981. – LNC, 131. – Springer, 1982. – P. 52–71.
3. Лифшиц Ю. Верификация программ и темпоральной логики. Лекция №3 курса «Современные задачи теоретической информатики». – СПбГУ ИТМО, 2005 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://logic.pdmi.ras.ru/~yura/modern/03modernnote.pdf>, свободный.
4. Лифшиц Ю. Символьная верификация программ. Лекция № 4 курса «Современные задачи теоретической информатики». – СПбГУ ИТМО, 2005 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://logic.pdmi.ras.ru/~yura/modern/04modernnote.pdf>, свободный
5. Вельдер С.Э., Шалыто А.А. О верификации автоматных программ на основе метода Model Checking // *Информационно-управляющие системы*. – 2007. – № 3. – С. 27–38.

6. Разработка технологии верификации управляющих программ со сложным поведением, построенным на основе автоматного подхода. Отчеты по НИР, выполняемая по государственному контракту № 02.514.11.4048 от 18.05.2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://is.ifmo.ru/verification/>, свободный.
7. Козлов В.А., Комалева О.А. Моделирование работы банкомата. – СПбГУ ИТМО, 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://is.ifmo.ru/unimod-projects/bankomat/>, свободный.
8. Сайт проекта UniMod [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unimod.sf.net>, свободный.
9. Сайт eVeloopers Corporation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.evelopers.com>, свободный.

- Вельдер Сергей Эдуардович* – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, магистр прикладной математики и информатики, аспирант, velder@rain.ifmo.ru
- Шалыто Анатолий Абрамович* – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, shalyto@mail.ifmo.ru

УДК 004.89

СЕМАНТИЧЕСКАЯ ПАУТИНА И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

И.А. Бессмертный

В статье рассматривается проблема создания искусственного интеллекта, моделирующего человеческое мышление. Предлагается способ количественной оценки естественного и искусственного интеллекта и оценивается необходимый объем базы знаний. Рассматривается возможность создания глобального искусственного интеллекта путем использования в качестве базы знаний Семантической паутины – Всемирной паутины нового поколения. Анализируются проблемы практической реализации данной идеи и возможные пути решения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, Семантическая паутина, интеллектуальный агент.

Введение

Появление машин и механизмов привело к тому, что физическая сила и выносливость перестали быть основными свойствами человека как работника. Уместно также вспомнить «Великий уравнитель» – колыт. В настоящее время мы наблюдаем, как благодаря Интернету утрачивается ценность эрудиция человека, поскольку практически любая информация может быть доставлена пользователю в считанные секунды. Однако Интернет дает только доступ к документам, оставляя человеку извлечение и интерпретацию данных. Логичным развитием Интернета является объявленный в концепции Семантической паутины (Semantic Web, СП) переход от извлечения документов к извлечению знаний, а также к их автоматической обработке [1]. База знаний, образуемая множеством семантических документов СП, вместе с интеллектуальным агентом (ИА) для извлечения знаний образуют структуру, напоминающую искусственный интеллект [2]. В статье рассматривается вопрос, может ли СП стать средой для создания глобального искусственного интеллекта (ИИ), позволяющего не только предоставлять пользователю факты, но и выполнять умозаключения и порождать новые знания.

Состояние проблемы и текущие исследования

Работы по практическому созданию ИИ велись до появления Интернета. Наиболее масштабная разработка принадлежит Дагласу Ленату, основателю компании Сусогр (www.cyc.com), который, начиная с 1984 г., формализовал и тщательно классифицировал несколько миллионов единиц знаний на бытовые темы. Однако, как замечает известный футуролог и эксперт в области ИИ Марвин Мински, этого все еще недостаточно для того, чтобы отвечать на вопросы, доступные трехлетнему ребенку [3]. В рамках концепции СП в настоящее время ведется активная работа по созданию онтологий в качестве первого этапа масштабной формализации знаний. В частности, в Стенфордском университете разработана программная платформа – редактор онтологий Protégé (protege.stanford.edu), а также организовано сообщество энтузиастов, насчитывающее несколько тысяч участников, которые пополняют базу онтологий для самых разных предметных областей. Заслуживает внимания также проект Estrella (www.estrellaproject.org/lkif-core), в рамках которого разработана онтология LKIF (Legal Knowledge Interchange Format) – язык для представления юридических знаний и обмена между правовыми информационными базами. Среди отечественных разработок следует отметить онторедактор InTez, создаваемый в СПбГУ [4].

По мнению Г. Осипова [5], основным препятствием на пути создания ИИ является отсутствие алгоритмов и начальной компетентности. Поскольку ИА решает классическую задачу поиска на дереве решений, основная проблема заключается в ее размерности, так как по мере увеличения числа правил задача поиска очень быстро приобретает астрономические масштабы. Отсутствие начальной компетентности хорошо иллюстрируется опытом вышеупомянутого Д. Лената, у которого компьютер все еще нуждается, чтобы ему объясняли, что родители старше детей, а люди перестают выписывать газеты, если умирают. Современный Интернет также страдает от недостатка информации начального уровня. Убедиться в этом легко, вооружившись компьютером во время просмотра телепрограммы «Кто хочет стать миллионером». Интернет позволяет легко найти ответы на сложные вопросы, в то время как самые простые вопросы, скорее всего, останутся без ответа. Следует отметить, что формализация знаний является сложным творческим процессом, темп которого соизмерим со скоростью приобретением знаний.

В этой связи целесообразно оценить, какой объем знаний должна содержать база знаний ИИ и в каких единицах этот объем оценивать.

Количественная оценка интеллекта

Проблема оценки ИИ была поднята задолго до появления возможностей его реализации. Классическим примером является тест Тьюринга [2], который предполагает качественную оценку ИИ в сравнении с естественным интеллектом (ЕИ). Между тем хотелось бы располагать количественной мерой объема базы знаний, которыми владеет человек и которыми должен оперировать ИИ.

В первую очередь следует определить единицы измерения знаний, одинаково пригодные для оценки как ЕИ, так и ИИ. Универсальной и широко используемой единицей оценки объема приобретенных знаний человеком является время, затраченное на обучение. Другой подход – символичный, исходящий из количества бит данных, находящихся в учебниках и других источниках, используемых для обучения. И первый, и второй способы отражают лишь потенциал для приобретения знаний, но не результат обучения. Очевидно также, что эти меры не могут применяться к оценке ИИ. По нашему мнению, заслуживает внимания методика, предложенная И.В. Богдановым [6], в которой в качестве единицы измерения количества теоретических знаний принято ис-

пользовать понятие как отражение в сознании человека общих и существенных свойств предметов и явлений в мыслеобразе определенного объема. За единицу измерения количества практических навыков и умений принимается умение, определяемое как законченное действие, состоящее из некоторых операций. Объем умения определяется числом действий, из которых оно состоит. Данная методика хорошо накладывается на элементы ИИ: понятие соответствует сущности (классу или экземпляру класса), а умение – правилу в базе знаний.

Применяя описанную выше методику, можно попытаться приблизительно оценить объем ЕИ. Для этого можно использовать несколько способов.

Первый способ – это преобразование времени обучения в объем знаний. В работе [8] приводятся результаты исследований, согласно которым за один академический час студенты усваивают от 30 до 50 понятий, каждое из которых в среднем содержит три связи. Если применить это значение темпа усвоения знаний к суммарному фонду времени обучения в средней школе и вузе, то получим 500–900 тыс. понятий или умений. По результатам исследований [7], в активной памяти остается 3–10% усвоенных знаний. Следовательно, эти цифры следует уменьшить по меньшей мере на порядок. С другой стороны, человек приобретает знания и опыт непрерывно, за исключением времени сна. Если применить и к этому процессу вышеуказанный темп усвоения знаний, 30–50 понятий в час (маловероятно, что стихийное усвоение знаний более эффективно, чем занятия с педагогами), то можно получить верхнюю оценку совокупных знаний 20-летнего индивидуума в пределах 4–6 миллионов понятий. Реалистичная оценка активных знаний с учетом фактора усвоения должна лежать в пределах 500 000 понятий и умений, из которых превалирующую часть составляют вовсе не научные, а элементарные бытовые знания и умения.

Статья	Предложений	Статья	Предложений
Alaska Route 10	3	Six Degrees	46
BSFOCS (Black Sea Fibre Optic Cable System)	3	Incubation: Time Is Running Out	18
Ces Gens-Là (song)	7	House Finch	46
D. V. Gundappa	30	Calends	19
es (operating system)	4	Henry William Bristow	5
F. E. Compton	5	Craig Clark	3
Catalan Sheepdog	20	Bekka Bramlett	5
Drug Enforcement Administration	101	Archibald Higgins	2
Phong Nha-Ke Bang National Park	285	Federal Water Power Act of 1920	4
Sé (Funchal)	4	Huron	3
Recognizance	5	The Mall at Tuttle Crossing	10
Franz Rosenthal	20	Jeffersonville, Kentucky	18
Short Admiralty Type 74	11	Battle of Cape Spartel	33
Henry P. Deucher House (Ohio)	1	Jasem Yacob	2
Hibiscadelphus hualalaiensis	3	Avex Group	26
Среднее число предложений		25	

Таблица. Количество предложений в статьях Википедии

Второй способ – оценка объема знаний через энциклопедии и словари. Последняя англоязычная редакция энциклопедии «Британника» содержит 120 000 статей, «Большая Советская Энциклопедия» – около 100 000 статей, «Толковый словарь живого великорусского языка» В. Даля – 44 694 статьи, «Русский орфографический словарь» – около 180 000 слов. Самым богатым языком считается английский, который насчитывает 490 000 слов и еще 300 000 технических терминов [9]. В словарях, в частности, в

Русском орфографическом словаре, отсутствуют понятия, описываемые более чем одним словом, зато однословные понятия дублируются за счет синонимов. Особого внимания заслуживает Википедия как плод коллективного творчества многих тысяч авторов. В данный момент англоязычная версия Википедии насчитывает свыше 3 млн. статей, что существенно больше, чем в традиционных энциклопедиях, и объясняется ее гипертекстовой организацией, позволяющей выделять в отдельные статьи частные понятия, не удостоенные отдельных статей в печатных изданиях. Приблизительно оценить количество знаний в энциклопедиях можно, подсчитав количество предложений в одной статье в предположении, что одно предложение соответствует одному понятию. Случайная выборка 30 статей из англоязычной версии Википедии (см. таблицу) показала, что в среднем одна статья содержит около 25 предложений. Таким образом, вся Википедия хранит около 70 млн. понятий, причем это количество соответствует не индивидуальному интеллекту, а интеллекту всего человечества, и эта величина приблизительно в 140 раз больше объема знаний индивидуума.

Семантическая паутина как база знаний искусственного интеллекта

Полученная выше оценка объема знаний ИИ в значительной степени объясняет более чем скромные успехи в соревновании ИИ и ЕИ [3]. Создание ИИ требует миллионов часов времени специалистов как в области инженерии знаний, так и в каждой предметной области. Это под силу лишь многотысячному высокоорганизованному коллективу, а финансирование такой разработки потребует сотен миллионов долларов; при этом практическая отдача может заключаться всего лишь в успешном прохождении теста Тьюринга. В таких условиях концепция СП появилась как нельзя кстати. Во-первых, это среда, изначально предназначенная для хранения знаний. Во-вторых, идеология СП предусматривает возможность участия в пополнении базы знаний неограниченного множества авторов. Опыт Википедии показывает, что такое сотрудничество возможно, причем на добровольных началах и с минимальным вмешательством координаторов проекта. В-третьих, кроме большого числа авторов, возможно привлечение множества тестировщиков баз знаний. В-четвертых, распределенное хранение знаний позволяет обойтись без мощных серверов.

Таким образом, концептуально СП может рассматриваться в качестве носителя базы знаний для ИИ. Попытаемся оценить, насколько эта идея реализуема на практике. Для извлечения и логической обработки знаний (reasoning) требуется специальная программа – интеллектуальный агент. Концепция СП, помимо методов представления знаний, предусматривает также и моделирование рассуждений с помощью ИА. Попытки создания ИАСП на данный момент представлены, в основном, немногочисленными экспериментальными разработками. В качестве примера можно привести винный агент, созданный в лаборатории ИИ Стенфордского университета (<http://onto.stanford.edu:8080/wino/index.jsp>). Создание универсального ИА, на первый взгляд, не представляет проблем. Машина вывода (inference engine), используемая в экспертных системах, а также в интерпретаторе языка Prolog, может унифицировать цель с фактами и правилами в базе знаний, т.е. реализовать механизм обратного логического вывода. Столь же просто может быть реализован прямой логический вывод от известных фактов. Проще говоря, ИИ в среде СП можно представить как большую ЭС, оперирующую распределенной базой знаний.

Семантическая паутина и экспертные системы

В принципах построения ЭС и СП много общего. Как ЭС, так и СП используют базу знаний, состоящую из фактов и правил. Эквивалентом машины логического выво-

да ЭС в СП выступает интеллектуальный агент (ИАСП). Используя исходные данные пользователя, машина вывода ЭС и ИАСП решают поставленную задачу (резольвцию цели). Однако на этом сходство заканчивается. Главное отличие СП от ЭС заключается в том, что это инструменты для решения разных задач. Если целью СП является нахождение знаний, то ЭС предназначены для извлечения навыков, т.е. решения практических задач, основными из которых являются задачи классификации и конструирования. Иными словами, база знаний ЭС в основном содержит алгоритмы, овеществляющие опыт экспертов и позволяющие находить кратчайшие пути к цели. Назначение ЭС определяет их свойства – узкую специализацию каждой базы знаний и, следовательно, сильную зависимость от контекста.

База знаний СП может содержать знания, достаточные для нахождения решения, аналогичного результатам работы ЭС, но размерность задачи поиска может оказаться неоправданно большой. К сожалению, увеличение вычислительной мощности здесь не даст результата, поскольку поиск на дереве решений неизбежно потребует выявления дополнительных фактов в диалоге с пользователем. Например, попытка решить задачу медицинской диагностики приведет к запросу большого числа анализов, не относящихся к диагнозу, но лежащих на дереве решения, обход которого осуществляется в произвольном порядке. По этой причине большинство людей не лечатся по медицинской энциклопедии, а идут к врачу. База знаний ЭС обычно хранит отдельное дерево решений для каждой проверяемой гипотезы, чем и обуславливается высокая скорость нахождения решений при наличии сотен и тысяч правил.

Основное достоинство ЭС – способность быстро находить известные решения – одновременно является их недостатком. ЭС не могут найти решение, ранее не описанное экспертом. Базы знаний ЭС содержат большое количество фактов и правил предметной области, но в них обычно отсутствуют общие знания, объем которых на порядки превышает объемы специальных знаний [10]. Отсутствие таких знаний не дает машине вывода ЭС возможности установить необходимые причинно-следственные связи. Обширная база знаний СП дает теоретическую возможность находить ранее неизвестные решения, но даже известные решения каждый раз должны отыскиваться с нуля.

Проблема комбинаторной сложности и пути ее решения

Резольвция правил является обычной задачей неинформированного поиска, и в случае решения такой задачи методом простого перебора («наивный» поиск) количество разворачиваемых вершин дерева решений при поиске «сначала в ширину» $N = b^d$, где b – коэффициент ветвления, d – глубина самого поверхностного решения [2]. Пусть база знаний содержит n фактов и r правил, в теле каждого из которых имеется c условий. Тогда коэффициент ветвления (число попыток применения правил ко всем фактам) равен

$$b = r n^c.$$

Уже эта величина является достаточно большой: для базы знаний из 100 фактов и 10 правил по 3 условия в каждом $b = 10 \times 100^3 = 10^7$, что потребует нескольких часов вычислений. Если же решение должно получиться путем вывода из цепочки правил длиной d , то время, затрачиваемое на разворачивание N вершин, станет совершенно неприемлемым.

Сокращение размерности задачи поиска возможно путем декомпозиции базы знаний, как, например, в проекте Сус, развиваемом вышеупомянутой компанией Suscorp, Inc., где знания отдельных предметных областей группируются в микротеоории. Иерархия микротеоорий теоретически позволяет ограничиваться предметными областями, лежащими на одной ветви дерева. Однако, как показано выше, даже маленькие базы знаний могут породить очень разветвленное дерево поиска.

Существенное ускорение резолюции правил обеспечивает алгоритм Rete [11], суть которого заключается в том, что для каждого правила строится префиксное дерево, узлы которого хранят факты, соответствующие условиям. Скорость здесь достигается за счет памяти (многократного дублирования фактов в вершинах деревьев). Уязвимым местом алгоритма Rete является необходимость обновления всего префиксного дерева при каждом добавлении или изменении факта.

Другой подход к ускорению извлечения знаний – это вывод на основе прецедентов (CBR, case-based reasoning) [6]. Применительно к базам знаний СП это означает применение к фактам всех возможных правил и добавление новых фактов к уже существующим.

Автор разработал и опробовал еще один подход к ускорению вывода – индексацию фактов. При чтении из базы знаний фактов в виде субъект–предикат–объект к ним добавляется уникальный номер в пределах данной базы, после чего строится индекс в виде «терм, роль, список номеров фактов», где терм – идентификатор, используемый в фактах, роль – место его использования (в качестве субъекта, предиката или объекта). Когда возникает необходимость применения правила, с помощью индекса выполняется отбор только тех фактов, которые содержат термы, используемые в условиях. После этого с помощью операций пересечения и объединения множеств фактов находится релевантное подмножество, которое и используется в резолюции правила. В результате достигается ускорение вывода не менее чем на два порядка. Основное преимущество данного метода перед алгоритмом Rete заключается в том, что не требуется построение громоздкого префиксного дерева, а индекс формируется во время чтения базы знаний и практически не отнимает дополнительного времени.

Для исследования методов построения баз знаний на основе семантических сетей и интеллектуальных агентов автор разработал программу Semantic [12], которая поддерживает создание баз знаний с фактами и правилами, аналогичными СП, но легко читаемыми человеком, графическую визуализацию и извлечение знаний путем развертывания графов либо с использованием примитивного подмножества естественного языка. Последняя версия программы написана на языке Visual Prolog 7.2 и поддерживает прямой вывод с индексацией фактов, а также создание и сохранение прецедентов.

Заключение

Концепция СП может служить основой для создания глобального искусственного интеллекта. Основным препятствием для реализации интеллектуального агента СП является комбинаторная сложность задачи поиска. В настоящее время на кафедре вычислительной техники СПбГУ ИТМО проходит апробацию программная среда для изучения основ и исследования способов организации баз знаний на принципах СП с использованием индексации фактов и механизма прецедентов.

Литература

1. Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. The Semantic Web // Scientific American Magazine. – May, 2001.
2. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: Современный подход. – 2-е изд. / пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2006.
3. 2001's Computer as Dream and Reality. The Discover Interview: Marvin Minsky [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://discovermagazine.com/2007/jan/interview-minsky/>, свободный.

4. Рубашкин В., Пивоварова Л. Онторедактор как комплексный инструмент онтологической инженерии // Материалы межд. конф. «Диалог-2008», 2008.
5. Осипов Г. Искусственный интеллект: Состояние исследований и взгляд в будущее [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.raai.org/about/persons/osipov/pages/ai/ai.html>, свободный.
6. Богданов И.В. Учебная информация и единицы ее измерения // Труды СГУ. – Вып.44. Гуманитарные науки. Психология и социология образования. – М.: СГУ, 2002.
7. Чмыхова Е.В., Богданов И.В. Особенности формирования объема знаний в виртуально-тренинговой технологии модульного обучения // Труды СГУ. – Вып.44. Гуманитарные науки. Психология и социология образования. – М.: СГУ, 2002.
8. Книга рекордов Гиннеса. – М.: Прогресс, 1991.
9. Wood L. Cyscorp: The Cost of Common Sense // Technology Review. – March, 2005.
10. Forgy C.L. RETE: A fast algorithm for the many pattern / many object pattern match problem // Artificial Intelligence. – 1982. – V. 19. – P. 17–37.
11. Bessmertny I., Kulagin V. Semantic Network as a Knowledge Base in Training Systems // Proceedings of 11th IACEE World Conference on Continuing Engineering Education. Atlanta, GE, USA, 2008. – P. 95–99.

Бессмертный Игорь Александрович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, igor_bessmertny@hotmail.com

УДК 004.8:004.9

**МУЛЬТИАГЕНТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ВИРТУАЛЬНЫХ БИЗНЕС-ПЛОЩАДОК В ЕДИНОМ
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ
РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИЙ**

А.В. Маслобоев

Для повышения эффективности информационного обеспечения регионального инновационного развития разработана мультиагентная технология информационной поддержки инновационной деятельности. Предложен метод формирования проблемно-ориентированных инновационных структур, основанный на генерализации бизнес-предложений субъектов инновационной деятельности. Метод предполагает кластеризацию программных агентов в семантическом пространстве, представленном в виде концептуальной модели предметной области, и обеспечивает формирование виртуальных бизнес-площадок в единой информационной среде взаимодействия субъектов проблемно-ориентированной деятельности. Разработана мультиагентная информационная технология формирования бизнес-площадок в виртуальной среде развития инноваций.

Ключевые слова: мультиагентная технология, информационная система, инновационная деятельность, имитационное моделирование, виртуальная бизнес-среда.

Введение

На сегодняшний день актуальной является задача создания полностью децентрализованных одноранговых систем информационной поддержки инноваций, позволяющих гибко интегрировать в логически единое целое существующие и вновь появляющиеся информационные ресурсы по инновационной тематике, создавая тем самым единое информационное пространство для эффективного взаимодействия субъектов инновационной деятельности. Эффективной технологией реализации распределенных информационных систем данного класса является технология мобильных программных

агентов [1]. Такие системы должны обеспечивать не только распределенный доступ к информации, но и децентрализованное хранение и обработку данных, решать проблемы технологической и семантической разнородности информационных ресурсов. В качестве одного из подобных решений можно рассматривать разработанный научным коллективом Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского НЦ РАН прототип системы информационной поддержки инновационной деятельности в регионе – мультиагентную систему интеграции распределенных информационных ресурсов инноваций [2] и соответствующую информационную технологию [1]. Разработанная мультиагентная система реализует виртуальную бизнес-среду развития инноваций (ВБС), в рамках которой реальные бизнес-процессы, связанные с зарождением, развитием и реализацией инновационных идей, отображаются на соответствующие информационные процессы поиска и обработки информации. Субъекты инновационной деятельности представляются в виде программных агентов, взаимодействующих друг с другом в едином информационном пространстве в интересах своих владельцев, образуя открытую мультиагентную систему с децентрализованной архитектурой.

В работе описывается мультиагентная информационная технология, которая обеспечивает создание единого информационно-коммуникационного пространства как виртуальной среды формирования и развития инновационных процессов.

Постановка задачи и методы решения

При межузловом взаимодействии программных агентов в виртуальной среде возникает ряд проблем, связанных с возрастанием нагрузки на сеть, уменьшением интенсивности информационного обмена между агентами, зависящей от скорости и пропускной способности каналов связи сети, и т.д. Для решения этих проблем в работе предлагается метод, основанный на разбиении единого информационного пространства, в котором функционируют агенты, на виртуальные площадки (площадка представляет собой некоторый отдельный узел сети) и перемещении интенсивно взаимодействующих агентов на эти площадки с целью объединения субъектов проблемно-ориентированной деятельности и их агентов в группы по интересам. Предлагаемое решение реализовано в виде двух взаимодополняющих механизмов (алгоритмов) взаимодействия программных агентов: механизма локализации межагентных взаимодействий (преобразование межузлового взаимодействия агентов во взаимодействие на одном общем узле) и механизма динамического распределения агентов (распределение нагрузки между узлами системы).

Метод формирования инновационных структур

Инновационная структура, согласно [3], представляет собой группу субъектов инновационной деятельности (ученых, технологов, производственников, инвесторов и т.д.), задействованную в реализации конкретного бизнес-проекта по созданию инновационного продукта (инновационного проекта) или совершенствованию уже существующего. Метод формирования инновационных структур [3] состоит из следующих четырех основных этапов:

1. Разбиение инновационного поля на виртуальные площадки на основе генерализации бизнес-предложений субъектов инноваций и кластеризации программных агентов в семантическом пространстве, представленном в виде концептуальной модели предметной области.

2. Анализ параметров, описывающих бизнес-предложения субъектов инновационной деятельности, подбор подходящих партнеров, оценка их надежности и формирование всех возможных альтернативных вариантов инновационных структур.

3. Оценка экономической эффективности сформированных инновационных структур и выделение из них множества эффективных.

4. Имитационное моделирование выделенного множества эффективных инновационных структур и выбор наиболее подходящей структуры для реализации бизнес-предложения конкретного субъекта инноваций.

Реализация метода формирования инновационных структур схематично показана на рис. 1.

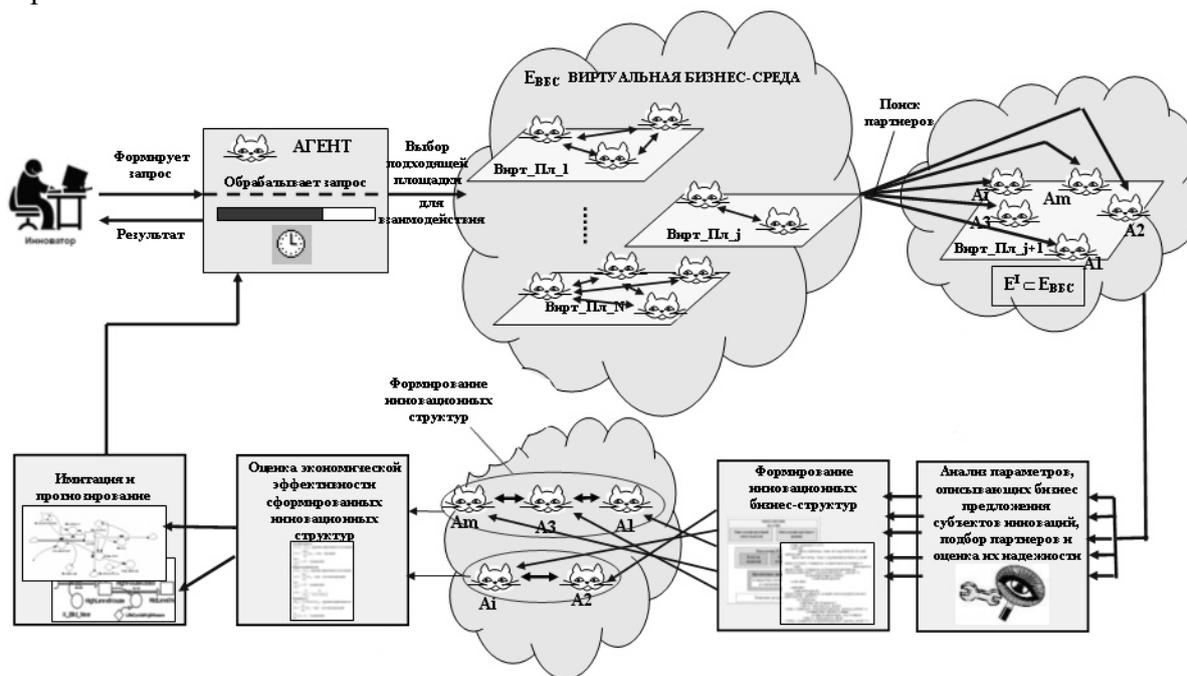


Рис. 1. Метод формирования проблемно-ориентированных инновационных структур

Технология формирования виртуальных бизнес-площадок в ВБС

В функционировании системы [2] можно выделить три основные фазы: создание и предварительное группирование агентов, представляющих бизнес-предложения, автоматическое формирование виртуальных бизнес-площадок (самоорганизация агентов), создание и оценка потенциально эффективных бизнес-структур, ориентированных на реализацию инновационной идеи (рис. 2).

Мультиагентная технология формирования бизнес-площадок в виртуальной среде развития инноваций реализуется в шесть этапов.

Этап 1. Генерация агентов для зарегистрированных бизнес-предложений субъектов инноваций в адресных пространствах инновационных порталов (узлов) виртуальной бизнес-среды.

Этап 2. Предварительное объединение сгенерированных агентов в группы по областям интересов.

Этап 3. Локальное формирование бизнес-площадок на основе генерализации бизнес-предложений внутри портала.

Этап 4. Оценка нагрузки на узлы системы и определение интенсивностей межагентных коммуникаций.

Этап 5. Миграция групп агентов на узлы системы, содержащие близкие по интересам бизнес-площадки.

Этап 6. Перегруппирование агентов на принимающих узлах на основе генерализации бизнес-предложений. Переход к третьему этапу.

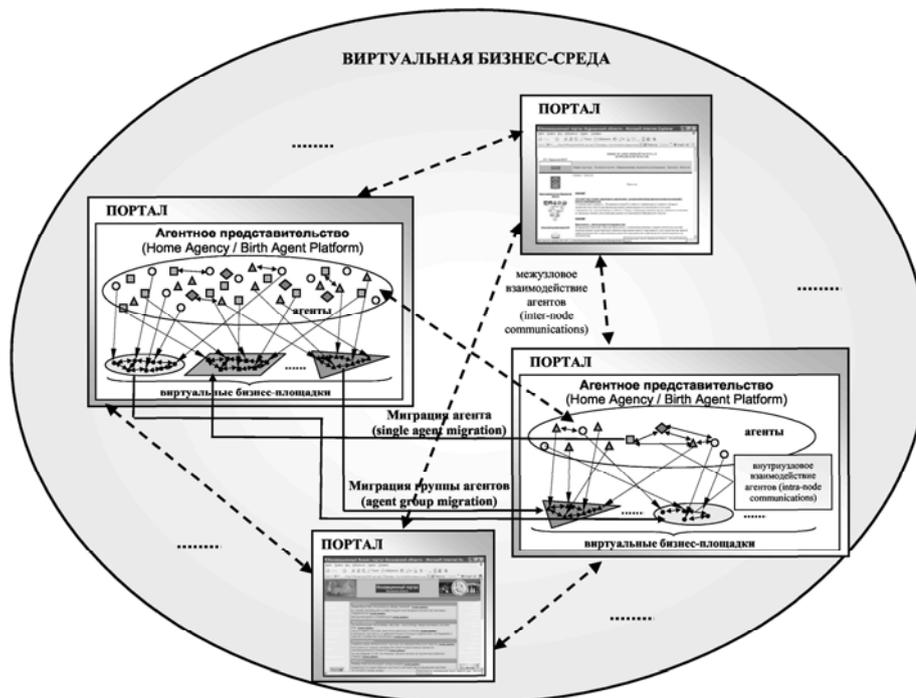


Рис. 2. Принципы функционирования мультиагентной виртуальной бизнес-среды

На стороне портала сгенерированные агенты с максимально близкими целями объединяются в группы по областям интересов, информация о которых регистрируется в специальном реестре – «доске объявлений». На основе механизма генерализации бизнес-предложений, предполагающего преобразование детализированных бизнес-предложений в генерализованные, конкретизацию целей агентов и их отображение на древовидные концептуальные модели предметной области, который подробно описан в работе [4], в пределах портала осуществляется локальное формирование бизнес-площадок, объединяющих агентов с близкими интересами и целями, и генерация агента-координатора для каждой площадки. Анализ информации, представленной на «доске объявлений», позволяет оценить нагрузку на узлах системы и определить интенсивности межагентных и межгрупповых коммуникаций на междузловом и внутриузловом уровнях, что, в свою очередь, позволяет выделить загруженные и незагруженные узлы в системе, а также осуществить динамическое перераспределение агентов и групп агентов между узлами системы, т.е. перемещение агентов или групп агентов с заданными характеристиками с сильно загруженных узлов на менее загруженные узлы системы, содержащие близкие по интересам бизнес-площадки с потенциальными агентами «совместной деятельности». Организацией переговоров между агентами внутри группы управляют агенты-координаторы на каждой созданной виртуальной бизнес-площадке соответственно. Информация о вновь сформированных бизнес-площадках регистрируется на «доске объявлений». В рамках созданных бизнес-площадок на основе межагентного взаимодействия осуществляется подбор подходящих бизнес-партнеров и формирование инновационных структур.

Агентные механизмы формирования виртуальных бизнес-площадок

Эффект, получаемый от использования виртуальной бизнес-среды, тем выше, чем больше ее внутренний объем – количество зарегистрированных инновационных предложений, агентов, представляющих интересы субъектов инноваций, узлов размещения информационных баз. Однако рост объема системы естественным образом приводит к возрастанию сложности задач поиска информационных элементов и подбора вариантов инновационных структур из-за полиномиального роста количества альтернатив. Чтобы система не теряла работоспособность в условиях собственного неограниченного роста, необходимы некоторые механизмы самоорганизации, позволяющие динамично перестраивать ее внутреннюю структуру с целью сокращения объемов обрабатываемых и передаваемых по коммуникационным линиям данных в ходе размещения и поиска инновационных предложений на информационных узлах, формирования потенциально эффективных инновационных структур.

Самоорганизация заключается в автоматическом формировании в рамках ВБС виртуальных бизнес-площадок (ВБП), объединяющих сходные по интересам группы агентов. Формирование ВБП основано на методе поддержки распределенного реестра одноранговых узлов с неявной древовидной организацией [4], в котором в качестве организующей древовидной структуры используется иерархическая модель предметной области инноваций. Формирование бизнес-площадок осуществляется посредством отображения целей агентов на древовидные концептуальные модели предметной области, последующей локализации основной части поисковых и иных запросов агентов внутри группы и дальнейшего анализа активности их коммуникаций друг с другом. Сходство интересов приводит к тому, что наиболее активные и информационно насыщенные коммуникации агентов сосредоточены внутри бизнес-площадки, тогда как за ее пределами информационный обмен менее активен, при этом объектом обмена являются генерализованные (меньшие по объему) бизнес-предложения агентов.

Такой подход позволяет не только сократить суммарный объем межагентных коммуникаций, но и преобразовывать межузловые коммуникации во внутриузловые за счет использования мобильных агентов. Это, в свою очередь, снижает нагрузку на сеть в случае распределенной реализации системы. Основными агентными механизмами, обеспечивающими повышение эффективности работы системы, согласно [5], являются локализация агентных взаимодействий в пределах узлов путем формирования групп активно коммуницирующих агентов (виртуальных бизнес-площадок) и динамическое перераспределение нагрузки за счет реализации механизмов групповой миграции агентов. Данные механизмы обеспечивают, в конечном итоге, преобразование межузловых агентных взаимодействий во внутриузловые.

В разработанной мультиагентной системе [2] каждый узел снабжен агентной платформой (агентным представительством), представляющей собой среду локального исполнения агентов, в которой программные агенты функционируют и взаимодействуют друг с другом. Реализованные механизмы коммуникации агентов состоят из последовательности похожих рабочих фаз: фазы мониторинга, фазы группирования агентов, фазы распределения групп агентов, фазы взаимодействия (переговоров) между агентами и фазы перемещения (миграции) агентов и групп агентов.

Для организации взаимодействия агентов в системе используются общие компоненты, которые присутствуют на каждой агентной платформе:

- *Менеджер сообщений (Message Manager)*, координирующий процесс обмена сообщениями между агентами системы;
- *Системный монитор (System Monitor)*, периодически проверяющий нагрузку на текущем узле компьютерной сети;

- *Менеджер распределения агентов (Agent Allocation Manager)*, ответственный за динамическое распределение агентов и анализ моделей поведения и характера взаимодействия агентов;
- *Менеджер миграции агентов (Agent Migration Manager)*, перемещающий агенты на другие платформы (узлы) и управляющий миграцией агентов между узлами сети.

Для решения проблем, связанных с определением местоположения динамически распределенных мобильных агентов, перемещающихся между узлами сети с течением времени, а также с потерей информации и временными задержками при передаче сообщений, в разработанной системе используются модификации общеизвестных механизмов информационного обмена между мобильными агентами, описанные в работе [5]: FMP (forwarding-based message passing), FLAMP (forwarding and location address-based message passing), FLCMP (forwarding and location cache-based message passing), ALMP (agent locating-based message passing), ALLCMP (agent locating and location cache-based message passing). Модифицированные механизмы основаны на расширении адресной структуры агента информацией о его текущем месторасположении в сети и локальном кэшировании этой информации на узлах системы, что позволит передавать сообщения напрямую от агента-отправителя к агенту-получателю, а также обеспечит возможность поиска агентов «совместной деятельности» через агентов-посредников, используя их брокерские (brokering services) и антрепренерские (matchmaking services) функции. Алгоритмы поиска агентов-инициаторов исполняются в адресном пространстве агентов-посредников.

Заключение

В ходе проведенных исследований были получены следующие результаты.

1. Разработан метод формирования проблемно-ориентированных инновационных структур из территориально распределенных компонентов, основанный на анализе структуры и элементов концептуальной модели виртуальной бизнес-среды развития инноваций, описанной в работе [1], и генерализации бизнес-предложений субъектов инноваций.
2. Предложен метод минимизации межузловых взаимодействий в одноранговых проблемно-ориентированных распределенных системах. Метод основан на кластеризации программных агентов в семантическом пространстве, представленном в виде концептуальной модели предметной области, и преобразовании межузловых взаимодействий агентов во внутриузловые. Реализация метода обеспечивает сокращение нагрузки на коммуникационную инфраструктуру и повышение коэффициента доступности прикладных служб программных агентов.
3. Разработана мультиагентная технология формирования виртуальных бизнес-площадок в едином информационно-коммуникационном пространстве развития инноваций, основанная на предложенных методах самоорганизации агентов в ВБС.

Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) № 08-07-00301-а «Разработка информационной технологии и распределенной информационно-аналитической среды поддержки инновационной деятельности».

Литература

1. Маслобоев А.В. Мультиагентная технология информационной поддержки инновационной деятельности в регионе // Труды Института системного анализа РАН: Прикладные проблемы управления макросистемами. – Т. 39. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – С. 232–256.

2. Маслобоев А.В., Шишаев М.Г. Мультиагентная система интеграции распределенных информационных ресурсов инноваций // Программные продукты и системы. – 2007. – № 4 (92). – С. 30–32.
3. Маслобоев А.В. Метод совмещенного формирования и оценки эффективности региональных инновационных структур // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. – 2008. – Т. 11. – № 2. – С. 222–230.
4. Маслобоев А.В., Бирюкова А.А. Генерализация бизнес-предложений субъектов инновационной деятельности на базе древовидных концептуальных моделей предметной области // Материалы IX Межд. научно-методич. конф. «Информатика: проблемы, методология, технологии». – Воронеж: ВГУ, 2009. – Т. 2. – С. 491–495.
5. Маслобоев А.В., Шишаев М.Г. Механизмы коммуникации программных агентов в виртуальной бизнес-среде на основе локализации межагентных взаимодействий и распределения нагрузки // Информационные технологии в региональном развитии: Сб. науч. тр. ИИММ КНЦ РАН. – Апатиты: КНЦ РАН, 2008. – Вып. VIII. – С. 10–15.

Маслобоев Андрей Владимирович

– Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, кандидат технических наук, доцент, докторант, masloboev@iimm.kolasc.net.ru

УДК 330.101.54

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ
И САМООРГАНИЗАЦИИ**

В.И. Подлесных, Н.В. Кузнецов

В статье представлен современный подход к организации и менеджменту, который значительно отличается от традиционных представлений о процессах организации и управления. Освещается широкий круг вопросов современной теории и практики организации и управления: дается понятие категорий функционирования и развития предпринимательских структур, механизмов управления и самоорганизации, показано влияние творческой составляющей труда на организованность и эффективность работы предприятия. Раскрыта роль организационного фактора и необходимость подхода к любому явлению, процессу со стороны его организованности. Рассмотрены содержание взаимодействия механизма управления и самоорганизации, эффективность их совместного влияния на адаптацию и развитие предпринимательских структур. Рассмотрены направления достижения правильного баланса соотношения между управлением и самоорганизацией и его влияния на эффективность.

Ключевые слова: устойчивое развитие, предпринимательская структура, организация, самоорганизация, управление, самоуправление, механизм управления, механизм самоорганизации, взаимосвязь механизма управления и самоорганизации.

Введение

В условиях системного кризиса управления предпринимательскими структурами (ПС) важнейшими задачами с точки зрения повышения эффективности их работы являются:

- создание эффективных концептуальных и методологических основ организации и управления;
- формирование и формализация новых задач;
- разработка и реализация научных методов и аппарата решения новых задач повышения эффективности организации и управления.

Необходимость применения принципиально новых подходов к повышению эффективности организации и управления, острая потребность ПС в профессионалах новой генерации, обладающих способностью и умением обеспечивать прорыв в динамике их развития, требуют смены традиционной парадигмы организации и управления.

Основные категории и взаимосвязь организации и управления ПС

Процесс динамического развития ПС обеспечивается следующими взаимосвязанными понятиями: организация, самоорганизация, управление, самоуправление.

Мы исходим из того, что организация как процесс является первичной. Ее первичность определяется тем, что нельзя хорошо управлять плохо организованным объектом. В дальнейшем, в условиях хорошо организованного объекта, процессы могут протекать в режиме самоорганизации, т.е. в режиме самостоятельной работы сотрудников. На рис. 1 представлена цикличность организации и самоорганизации по внутренней орбите и управления и самоуправления по внешней орбите [1].

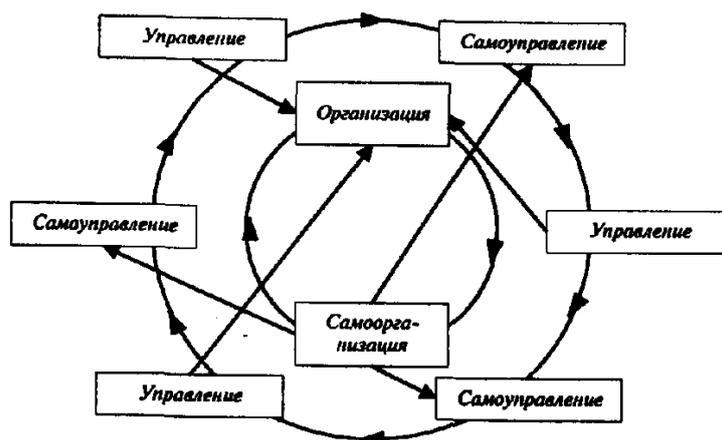


Рис. 1. Схема цикличности организации, самоорганизации управления и самоуправления

В современной теории и практике организации предпринимательскими структурами повышенный интерес проявляется к идеям самоорганизации, самообучения. В передовых странах наступает эра постоянной самоорганизации. В предпринимательских структурах упор делается на команды, а не на иерархию. Именно команды выступают в роли механизма реализации любых процессов самоорганизации. Вот почему через обучение, самообучение и ротацию в эффективных ПС создаются условия для полного включения механизмов групповой самоорганизации благодаря взаимодействию между составляющими ПС элементами.

Социальная самоорганизация может быть личной и коллективной. Личная самоорганизация в большей мере рассматривается в психологии и только частично – в рамках теории организации в плане информационного обеспечения и форм самоорганизации. Коллективная самоорганизация может происходить в среде:

- внутренних коммуникаций (при выполнении работ в отделе, цехе, лаборатории и т.д.);
- внешних коммуникаций (при проведении региональных собраний, конференций, объединенных работ, при виртуальных контактах);
- рискованных (венчурных) операций (при работе в условиях стрессов, неожиданностей, опасностей).

Основным системообразующим фактором ПС являются люди, вступающие в процессе трудовой деятельности в организационные, управленческие и межличностные отношения. «Все хозяйственные операции, – пишет Ли Якокка, – можно в конечном счете свести к обозначению тремя словами: люди, продукт, прибыль. На первом месте стоят люди. Если у вас нет надежной команды, то и из остальных факторов мало что удастся сделать» [2]. Объединение работников нижних уровней в команды преследует цель привлечения их к процессу принятия решений, в том числе и относительно выполнения собственных рабочих заданий, что позволяет добиться существенного повышения производительности труда.

Деятельность ПС должна быть направлена на повышение ее эффективности и снижение энтропийности человеческой деятельности. В этой связи труд как главный источник благ человека следует представить в виде выражения:

$$T = P + T_v,$$

где T – труд, P – работа, T_v – творчество. В представленном соотношении работа не отождествляется с трудом, а является собой только один из его компонентов. Другая сторона, причем ведущая – это творчество. Работа как компонент труда представляет со-

бой проявление сил, действующих в природе. Работа сил в замкнутой системе сопровождается ростом энтропии, т.е. уменьшением организованности системы. Процессом, направленным против разрушения, является творчество. Творчество – это как раз тот компонент труда, с помощью которого организованность может не только не уменьшаться, но и значительно возрастать.

Таким образом, работа и творчество имеют общий эквивалент – организованность, разнонаправленный в своих проявлениях. Преобладание действий одной из сторон определяет характер труда – от разрушительного (когда преобладает работа) до созидательного (когда преобладает творчество). Именно в условиях самоорганизации в наибольшей степени проявляется творческая составляющая труда.

Адаптация и развитие ПС на основе взаимодействия управления и самоорганизации

Изначально самоорганизация возникает спонтанно, а затем постепенно формируется самоуправление. Самоуправление – автономное функционирование какой-либо социальной системы: коллективов, организаций, объединений и даже одного человека. Однако цивилизация в результате эволюции поставила самоорганизацию и самоуправление в подчинение формализованным иерархическим процессам на уровне государственного и любого корпоративного управления.

Самоорганизация и самоуправление играют две важные роли:

- компенсируют неохваченные области управления в случае недостаточно профессионального управления;
- инициируют развитие искусственного (формального) управления и организации.

В условиях самоуправления решается широкий круг вопросов, вплоть до наделения властью сотрудников всех организационных уровней. Такое решение – единственный способ существования организации в высокотурбулентной внешней среде. Самоуправляемые команды наделены большими полномочиями по принятию решений, ориентированных на выполнение крупных организационных задач, координацию, обеспечение качества продукции (услуг), расходование выделенных средств, ротацию лидеров, прием новых членов, контроль результатов, составление планов и т.п. Однако следует иметь в виду, что, несмотря на высокую эффективность самоуправляемых команд, весьма важным моментом развития предпринимательской структуры является постоянное взаимодействие самоорганизации и организации. Абсолютизация самоорганизации или организации приводит к снижению эффективности предпринимательской структуры.

Таким образом, не противопоставление самоорганизации и организации, а тесное и непрерывное их взаимодействие является залогом устойчивого и динамического развития предпринимательской структуры. Первичность той или иной категории (организации, самоорганизации) обусловлена состоянием предпринимательской структуры на данный момент и ее целями.

На предпринимательскую структуру постоянно оказывают влияние внешние и внутренние воздействия. Эти воздействия приводят к нарушению принятого порядка протекания процессов и установленной гармонии. Вследствие этого возникают процессы, помимо воли и сознания людей стремящиеся сформировать новые пропорции, ввести новые элементы в деятельность организации или вывести из нее устаревшие. Люди являются проводниками (осознанными или неосознанными) этих процессов. При этом восстановление гармонического развития может быть достигнуто за счет как самоорганизации, так и управления. Взаимодействие этих двух механизмов управления и самоорганизации, эффективность их совместного влияния на адаптацию и развитие предпринимательских структур является актуальной, принципиально важной и слабо изу-

ченной проблемой. Вот почему в условиях кризиса очень важно найти правильный баланс соотношения между управлением и самоорганизацией.

Развитие гармонического взаимодействия механизмов управления и самоорганизации достигается за счет:

- правильных пропорций разнообразных связей между работниками, видами работы и менеджером;
- четко дозированной экспансии менеджера в область самоорганизации, самообучения.

Таким образом, «...если в неживой природе все процессы подчинены законам самоорганизации, в живом природном мире – законам самоорганизации и саморегулирования, то в социальной жизни процессы самоорганизации сопровождаются управлением, а в управлении всегда участвует самоорганизация» (В. Романов).

«Время «организованных организаций» прошло..., основная компетенция менеджера заключается в осознании важности самоорганизации и всемерном стимулировании ее» [1]. В этой фразе выражена одна из сложнейших проблем современности – взаимодействие двух механизмов, управления и самоорганизации, соотношения целенаправленного организующего воздействия и самоорганизации.

И тут возникает ряд вопросов. Как сделать самоорганизацию полезной для самоуправления? Как учесть самоорганизующие тенденции и не нарушать естественных процессов самоорганизации социальных систем? Какова эволюция взаимоотношений менеджмента и самоорганизации? Каковы пределы управления?

Структура распределения полномочий, ответственности и подчиненности в организациях может быть представлена двумя полярными способами построения структур:

- иерархия, когда все действия структурного подразделения и исполнителей регламентированы инструкциями в иерархии подчинения;
- гетерархия, когда все члены команды руководствуются лишь правилами игры и ситуацией.

Таким образом, любую ПС можно представить как систему, содержащую два механизма – самоорганизации и управления, в совокупности образующие единый механизм ее адаптации и развития. В этом случае любая социально-экономическая организация представляет собой самоуправляемую, самоорганизующуюся систему. Как же происходит взаимодействие двух механизмов адаптации и развития систем?

Управление может становиться неэффективным как из-за собственно ошибок управления, так и вследствие рассогласования в его взаимодействии с механизмом самоорганизации. Первая группа причин – ошибки в управлении – часто подвергаются анализу и критике. Мы же остановимся на второй группе – рассогласовании взаимодействия механизмов управления и самоорганизации.

Рассогласование механизмов взаимодействия управления и самоорганизации возможно по многим причинам. Например, нарушение закона необходимого разнообразия может выступать в качестве ограничения на возможности управления. Применительно к управлению, понимаемому как субъект-объектное взаимодействие, принцип необходимого разнообразия может быть сформулирован следующим образом: для достижения целей управления разнообразие управляющей подсистемы должно быть большим, чем разнообразие, которым располагает управляемая подсистема.

Если такое соотношение нарушается, то управляющая подсистема не в состоянии обеспечить эффективное управление, т.е. здесь соотношение разнообразий влияет на возможности управления и выступает в качестве критерия рассогласования механизмов взаимодействия управления и самоуправления. В этом случае обеспечить системе возможность стабилизации и развития может только самоорганизация.

Здесь должна происходить как бы передача функций управления с уровня организационной структуры (иерархии) на уровень самоорганизации элементов самой системы (гетерархии), например, на уровень самоуправляемых команд, работники которых сами планируют, организуют, координируют, стимулируют и контролируют деловые процессы и взаимодействие с внешней средой.

Любая искусственная организационная структура беднее природных и социальных объектов, возникающих эволюционно. В организационных системах всегда существуют сферы, по своему разнообразию превосходящие искусственные организационные структуры. Эти сферы принадлежат механизму самоорганизации, и распространение на них отношений управления нежелательно и может иметь неблагоприятные, как правило, отдаленные последствия.

Разнообразие образовательного, культурного, морального, психологического и физического развития обеспечивает людям способность взять на себя все более широкие сферы общественного регулирования, переместить их в область общественной самоорганизации. «Возникающий при этом конфликт между стремящимся к экспансии своего влияния субъектом управления и все более склонным к самоорганизации социальным объектом, конфликт между управлением и самоорганизацией, является одним из фундаментальных конфликтов современной эпохи. В нем – одна из причин и залог неизбежности крушения авторитарных систем. Многие признаки свидетельствуют о том, что современные западные демократии тоже не нашли гармоничного разрешения этой проблемы» [3].

Отсюда возникает ряд вопросов. Какова целевая ориентация механизма взаимодействия между управлением и самоорганизацией? Каким образом они должны быть взаимосвязаны, взаимообусловлены и взаимотрансформированы? Каким должен быть механизм взаимодействия между управлением и самоорганизацией? Что выступает в качестве критерия согласованного взаимодействия между управлением и самоорганизацией?

Чтобы ответить на поставленные вопросы, необходимо, в первую очередь, определить целевую ориентацию этого взаимодействия. Совершенно очевидно, что целевой ориентацией взаимодействия управления и самоорганизации является адаптация, сохранение и развитие системы. Управление и самоорганизация выступают в роли механизма, способствующего развитию управляющих, самого управления и системы в целом.

Развитие как категория представляет собой вечную смену хаоса и порядка. Порядок, самопроизвольно возникающий из хаоса, неустойчив и обретает стабильность только благодаря управлению. Именно такое соединение самоорганизации и управления дает возможность соединить стабильность и развитие.

Управление предназначено прежде всего для придания устойчивости порядку, возникающему из хаоса в результате самоорганизации. Цель управления в том, в конечном счете, и состоит, чтобы во взаимодействии с механизмом самоорганизации выполнять функции механизма адаптации системы.

Выше отмечалось, что в качестве объективного показателя рационального взаимодействия управления и самоорганизации может выступать соотношение разнообразий субъекта управления и управляемого объекта. Существуют два способа восстановления нарушенного баланса разнообразий между субъектом и объектом:

- повышение степени разнообразия субъекта управления;
- снижение степени разнообразия управляемого объекта.

Существуют два пути повышения степени разнообразия субъекта управления – экстенсивный и интенсивный. Экстенсивный путь – это увеличение численности работников аппарата управления, проявляющееся в расширении объема функций и соответствующем усложнении организационной структуры управления. Интенсивный путь

повышения степени разнообразия субъекта – это децентрализация, рассредоточение центров управления, перераспределение власти и ресурсов.

Следует иметь в виду, что на властное, прямое воздействие субъекта объект всегда реагирует обратным воздействием. Именно обратная связь определяет границы возможностей власти. Управление будет эффективно лишь в той мере, в которой управляемые признают претензии субъекта на экспансию власти правомерными.

Степень экспансии управления в область самоорганизации зависит от конкретной ситуации и устанавливается как результат определенного компромисса между претензиями субъекта и ожиданиями объекта. Здесь не существует раз и навсегда установленного оптимального соотношения. Мобилизационный характер управления востребуется там, где социальный объект считает его оправданным. При этом оказывается востребованным и определенный тип руководителя.

Основным мобилизующим фактором является ощущение угрозы для предприятия (например, в условиях кризиса). В критических, кризисных ситуациях личные интересы отодвигаются на второй план ради стабилизации работы фирмы даже в условиях неадекватной оплаты труда.

Заключение

Отличительными особенностями многих ПС и процессов, радикально затрудняющих применение методов существующей теории организации и управления, являются нелинейность, многомерность, многосвязность. Эта динамическая триада имеет принципиальное значение для разработки новых концептуальных подходов в современной теории организации и управления.

Анализ многочисленных публикаций в направлении выбора стратегии динамического развития предпринимательских структур свидетельствует о появлении контуров новой управленческой парадигмы. Ее научным базисом является нелинейная социальная динамика, а на ее основе формируется новая концепция социальной самоорганизации.

Литература

1. Шрайэгг Г., Носс К. Изжила ли себя организационная структура? // Проблемы теории и практики управления. – 1994. – № 4.
2. Якокка Ли. Карьера менеджера – М.: Прогресс. – 1991. – 384 с.
3. Латфуллин Г.Р., Райченко А.В. Теория организации. – СПб: Питер, 2004. – 395 с.

Подлесных Виктор Иванович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат экономических наук, профессор, mng@mail.ifmo.ru

Кузнецов Николай Владимирович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, kolek_k@list.ru

УДК 334.01

4 «РЕ-» ИЗМЕНЕНИЯ БИЗНЕСА: РЕФОРМИРОВАНИЕ, РЕОРГАНИЗАЦИЯ, РЕСТРУКТУРИЗАЦИЯ, РЕИНЖИНИРИНГ

А.В. Варзунов, О.А. Цуканова

Для повышения результативности деятельности предприятия необходима активизация его внутренних возможностей, существенное изменение стратегии и создание новой эффективной системы управления, иначе говоря – его реформирование. Выделяют следующие основные формы реформирования: реорганизация, реструктуризация и реинжиниринг. Анализ научной и публицистической экономической литературы свидетельствует о частом неправомерном использовании указанных терминов. Многие исследователи не различают для себя некоторые базовые экономические понятия и зачастую используют их как синонимы, что, без сомнения, представляется недопустимым. В настоящей работе авторы, обобщив множество теорий и концепций и систематизировав практический опыт, предпринимают попытку сформировать точный понятийный аппарат, разделить основные термины и сформулировать их определение.

Ключевые слова: реформирование, реорганизация, реструктуризация, реинжиниринг, управление изменениями.

Введение

Изменения в российской экономике за последние два десятилетия породили новые понятия – предложение, спрос, рынок, конкуренция – и новые ориентиры в деятельности предприятий – увеличение доли на рынке, прибыльность, рентабельность. Это, в свою очередь, привело к необходимости разработки стратегии развития предприятия, решающей задачу эффективного управления активами.

Для повышения результативности деятельности предприятия необходима активизация его внутренних возможностей, существенное изменение стратегии и создание новой эффективной системы управления, иначе говоря – его реформирование, предполагающее последовательные изменения, ведущие от старой формы хозяйствования к новой, соответствующей изменившимся экономическим условиям.

Исследованию проблемы реформирования деятельности хозяйствующих субъектов посвятили свои научные и публицистические труды многие российские и зарубежные авторы. Среди зарубежных исследователей следует выделить таких, как I. Ansoff, S. Booth, J. Champy, P.E. Connor, S. Fink, M. Hammer, J. Holusha, L.K. Lake, G.C. Meyers, D.D. Warrick. Значительный вклад в развитие теории реформирования внесли и российские ученые – М. Аистова, С. Валдайцев, А. Глушецкий, Е. Гришпун, С. Ильдеменов, В. Ириков, Г. Мерзликина, И. Мазур, В. Шапиро, Ю. Тельнов, Т. Короткова, И. Макарова и др. В работах названных ученых и исследователей выделяются следующие основные способы реформирования предприятия: реорганизация, реструктуризация и реинжиниринг. Все указанные понятия являются возможными путями для увеличения конкурентной силы предприятия и, в конечном счете, повышения прибыльности. В этом, впрочем, и скрывается проблема.

Анализируя научную и публицистическую экономическую литературу, зачастую приходится сталкиваться с фактом неправомерного использования некоторых терминов и категорий. До сих пор еще не сформировался достаточный понятийный аппарат, определяющий (с точностью, приемлемой для научных категорий) и разделяющий основные термины и категории экономической науки. Многие исследователи не различают для себя некоторые базовые экономические понятия и зачастую используют их как синонимы, что, без сомнения, представляется недопустимым.

В настоящей работе авторы предпринимают попытку кратко обобщить множество теорий и концепций, систематизировать практический опыт и описать указанные способы реформирования предприятия.

Понятия реформирования, реорганизации, реструктуризации, реинжиниринга

В контексте рассматриваемой проблемы уточнения требуют следующие понятия: реформирование, реорганизация, реструктуризация, реинжиниринг.

В целях определения различия между названными терминами, сходными как по звучанию, так и по значению, а также характера их взаимосвязи проведем этимологический анализ данных лингвистических конструкций. Все они образованы посредством единой аффиксальной морфемы «ре-». Данный префикс, в конструкции с самостоятельным словом, содержащим другую морфему – корень, отражает процесс изменения (возобновления) последнего.

Иначе говоря, реформирование подразумевает изменение формы, реорганизация – изменение организации, реструктуризация – изменение структуры и т.д. Следовательно, все различие между ними заключается именно в объекте производимых изменений. Рассмотрим указанные объекты.

- Форма (лат. forma) представляет собой «внешнее очертание, наружный вид» [1].
- Структура (от лат. structura – строение, расположение, порядок) – «строение, внутреннее устройство» [1]. По определению [2], это «совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т.е. сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних изменениях».
- Организация (франц. organization, от позднелат. organize – сообщаю стройный вид, устраиваю) – внутренняя упорядоченность, согласованность, взаимодействие более или менее дифференцированных и автономных частей целого, обусловленных его строением [2].

Таким образом, реформирование – это изменение (возобновление) внешнего очертания, контуров предмета. Другими словами, реформирование вообще подразумевает любое внешнее или внутреннее воздействие на предмет, вызывающее некоторое изменение его свойств (формы). Так, для предприятия реформирование будет включать в себя, по мнению авторов, действия субъекта управления организационно-правовой структурой, направленные на внешние и внутренние изменения компании с целью улучшения положения на рынке.

Реструктуризация в таком случае – это частный случай реформирования, поскольку она подразумевает все то же изменение свойств объекта за счет изменения свойств (характера, порядка, количества, качества и т. д.) его внутренних (устойчивых) связей, обеспечивающих целостность объекта и его тождественность самому себе.

Реорганизация, в свою очередь, является частным случаем как реформирования, так и реструктуризации, поскольку подразумевает изменение внутреннего строения объекта, а именно – его внутренней упорядоченности, согласованности и взаимодействия более или менее дифференцированных и автономных частей целого, что неминуемо ведет к изменению внутренних связей, структуры, свойств и формы объекта преобразований.

Несмотря на все многочисленные определения и интерпретации, термин «реорганизация» имеет вполне определенное значение, четко зафиксированное в нормативно-законодательных актах – Гражданском кодексе РФ, ч. 1, ст. 57–60 [3] и Федеральном законе «Об акционерных обществах», ст. 15–20 [4]. Согласно перечисленным законодательным актам, основными способами реорганизации предприятия, зарегистрированного как открытое акционерное общество, признаются:

- слияние – возникновение нового общества путем передачи ему всех прав и обязанностей двух или нескольких обществ с прекращением последних;
- присоединение – прекращение одного или нескольких обществ с передачей всех их прав и обязанностей другому обществу;

- разделение – прекращение общества с передачей всех его прав и обязанностей вновь создаваемым обществам;
- выделение – создание одного или нескольких обществ с передачей им части прав и обязанностей реорганизуемого общества без прекращения последнего;
- преобразование – в общество с ограниченной ответственностью, производственный кооператив, некоммерческое партнерство или иную организационно-правовую форму.
- ликвидация – прекращение общества без перехода прав и обязанностей в порядке правопреемства к другим лицам.

Следовательно, все остальные значения термина «реорганизация», используемые в любой литературе, с правовой точки зрения нелегитимны.

Таким образом, термин **реорганизация** для хозяйствующего субъекта можно, на наш взгляд, трактовать как проведение мероприятий, направленных на изменение организационно-правовой формы предприятия, слияние, поглощение либо выделение предприятий с целью роста социальной и экономической результативности деятельности компании в условиях негативного влияния внешних факторов.

Реструктуризация

Как уже отмечалось выше, с этимологической точки зрения слово «реструктуризация» означает в упрощенном понимании перестройку существующего строения объекта, в данном случае предприятия.

Реструктуризация компании – это изменение структуры компании (иными словами, порядка, расположения ее элементов), а также элементов, формирующих ее бизнес, под влиянием факторов либо внешней, либо внутренней среды. Приведем два следующих строгих определения рассматриваемого понятия.

Реструктуризация – это структурная перестройка предприятия в целях обеспечения эффективного распределения и использования всех его ресурсов, заключающаяся в создании комплекса бизнес-единиц на основе разделения, соединения, ликвидации действующих и организации новых структурных подразделений, присоединения к предприятию других предприятий, приобретения определяющей доли в уставном капитале или акций других организаций [5].

Реструктуризация – комплексное преобразование деятельности организации (предприятия, компании), состоящее в изменении структуры производства, активов, пассивов, а также системы управления с целью повышения устойчивости, доходности, конкурентоспособности, преодоления убыточности, угрозы банкротства [6].

Таким образом, реструктуризация означает перестройку распределения и использования всех его ресурсов – материальных, финансовых, трудовых, технологических, информационных.

Основной причиной стремления предприятий к реструктуризации обычно является низкая эффективность деятельности, которая выражается в неудовлетворительных финансовых показателях, в нехватке оборотных средств, в высоком уровне дебиторской и кредиторской задолженности. Таким образом, реструктуризация связана с решением задач антикризисного управления, обусловленного следующими факторами:

- невостребованностью на рынке производимой продукции и услуг вследствие их низкого качества;
- сильной конкуренцией со стороны компаний-монополистов и «продвинутых» компаний (возможно, зарубежных);

- неудовлетворительной структурой затрат, связанных с обслуживанием физически и морально устаревших производственных фондов, объектов социальной сферы, нехваткой оборотных средств.
- изменением масштабов производства;
- повышением эффективности функционирования (процессов производства и управления), применением новых технологий.

Реструктуризация, как правило, включает: совершенствование системы управления, финансово-экономической политики компании, ее операционной деятельности, системы маркетинга и сбыта, управления персоналом.

Основным способом реструктуризации выступает «изменение организационной системы путем создания комплекса бизнес-единиц на основе разделения, соединения, ликвидации (передачи) действующих и организации новых структурных подразделений, присоединения других предприятий, приобретение определяющей доли в уставном капитале или акций сторонних организаций (создание новых видов бизнеса)» [7].

Данные определения, по мнению авторов, в основном постулируют, что реструктуризация необходима в случае кризиса (при решении задач антикризисного управления), при крайне негативных результатах деятельности предприятия. Между тем в современных условиях предприятию необходимо для успешного функционирования в условиях конкуренции постоянно отыскивать новые, более эффективные способы работы на рынке, совершенствовать свою операционную эффективность, что может быть достигнуто реструктуризацией хозяйствующего субъекта.

Таким образом, на наш взгляд, наиболее точно термин **реструктуризация** можно определить как структурные изменения предприятия в целях более эффективной организации бизнес-процессов предприятия, роста операционной эффективности хозяйствующего субъекта, т.е. выполнения сходных операций лучше, чем это делают другие контрагенты на рынке.

Заметим, что реорганизация предприятия является следствием изменения функций и задач управления, вызванного реструктуризацией, и включается составной частью в реструктуризацию.

Реинжиниринг

В силу своей специфичности термин «реинжиниринг» требует отдельного рассмотрения. По определению авторов термина М. Хамера и Дж. Чампи, реинжиниринг – это «фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов для достижения существенных улучшений» в таких ключевых для современного бизнеса показателях результативности, как затраты, качество, уровень обслуживания и оперативность [8].

Под термином «фундаментальное» в данном случае подразумевается переосмысление текущих правил и положений ведения бизнеса. «Радикальное» изменение относится ко всей существующей системе, а не к отдельным ее частям. Это не поверхностные изменения, а отбрасывание всего старого и изобретение абсолютно новых процессов.

Очевидно, что, если в случае реструктуризации или реорганизации речь идет об изменении какого-либо более или менее устойчивого состояния системы (структуры или организации), то в случае реинжиниринга речь идет о процессе. Таким образом, проведенный анализ позволяет выделить три ключевых отличия в описании процессов реинжиниринга и реструктуризации.

Во-первых, объект проводимых изменений. Как уже отмечалось, в случае реструктуризации изменению подвергаются характеристики состояния системы (структура организации), в случае реинжиниринга – внутрисистемные процессы.

Второе отличие заключается в масштабах проводимых изменений. Реинжиниринг в его «классическом» определении ориентирован на полную, абсолютную замену существующих процессов («с чистого листа» либо с учетом прежнего опыта). Реструктуризация же подразумевает структурные преобразования как всей системы (в масштабах реинжиниринга), так и отдельных ее подсистем и элементов. В этом и заключается парадокс «ограниченности революционного прорыва» реинжиниринга: он призван решать идеологические проблемы, но не решает (и не должен решать) технические, оперативные задачи.

Третье отличие находит свое отражение в степени формализации процесса, а точнее – его главной цели. Так, реинжиниринг в его «классическом» определении подразумевает обязательный переход к процессуальной схеме ведения бизнеса, с отказом от функциональной структуры, с внедрением автономных междисциплинарных рабочих групп. Процесс же реструктуризации не столь формализован и предполагает достаточно широкий диапазон конечных структур.

Таким образом, по мнению авторов, реинжиниринг представляет собой процесс детального анализа бизнес-процессов в организационно-правовой структуре и их изменение с учетом передового опыта отрасли, результатов хозяйственной деятельности самого предприятия. В целом реинжиниринг также необходим для повышения эффективности деятельности предприятия. Как видно из результатов проведенного анализа, реинжиниринг и реструктуризация – это отдельные, но взаимосвязанные процессы. При этом понятие реструктуризации значительно шире, и в некоторых случаях стратегическая реструктуризация может принимать форму реинжиниринга бизнес-процессов.

Сводные результаты исследования (сформированные определения рассматриваемых понятий) приведены в таблице.

Понятие	Определение
Реформирование	Действия субъекта управления организационно-правовой структурой, направленные на внешние и внутренние изменения компании с целью улучшения положения на рынке.
Реорганизация	Проведение мероприятий, направленных на изменение организационно-правовой формы предприятия, слияние, поглощение либо выделение предприятий, с целью роста социальной и экономической результативности деятельности компании в условиях негативного влияния внешних факторов. Частный случай реформирования и реструктуризации.
Реструктуризация	Структурные изменения предприятия в целях более эффективной организации бизнес-процессов предприятия, роста операционной эффективности хозяйствующего субъекта, т.е. выполнения сходных операций лучше, чем это делают другие контрагенты на рынке. Частный случай реформирования.
Реинжиниринг	Процесс детального анализа бизнес-процессов в организационно-правовой структуре и их изменение с учетом передового опыта отрасли, результатов хозяйственной деятельности самого предприятия для повышения эффективности деятельности предприятия. Особая форма реструктуризации.

Таблица. Сформированные определения рассматриваемых понятий

Заключение

В настоящей работе авторы на основе анализа и рассмотрения множества теоретических подходов и концепций и систематизации практического опыта обобщили понятия реформирования, реорганизации, реструктуризации и реинжиниринга.

Необходимо отметить, что в условиях постоянно меняющейся внешней и внутренней среды реформирование предприятия приобретает характер объективного, целенаправленного непрерывного процесса комплексных преобразований деятельности предприятий. Вместе с тем, в рассматриваемом разделе экономической науки до сих пор не сформировался четкий понятийный аппарат, не получили научного обоснования множество теорий и концепций, не систематизировался практический опыт.

Сложность, высокая степень неопределенности результатов реформирования деятельности предприятия обуславливают необходимость дальнейшего теоретического обоснования, методологического и практического решения проблемы эффективного управления данным процессом.

Литература

1. Ожегов С.И. Словарь русского языка / Под ред. Н.Ю. Шведовой. – 17-е изд., стереотип. – М.: Русский язык, 1985. – 940 с.
2. Большой энциклопедический словарь. – М.: Аст, 2006. – 1247 с.
3. Гражданский кодекс Российской Федерации. Официальный текст. – М.: Эксмо, 2008.
4. ФЗ «Об акционерных обществах» от 26 декабря 1995 года № 208-ФЗ.
5. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. – М.: «ИНФРА-М», 1997. – 496 с.
6. Мазур И.И., Шапиро В. Д. Реструктуризация предприятий и компаний. – М.: Экономика, 2001. – 456 с.
7. Тельнов Ю.Ф. Реинжиниринг бизнес-процессов. Компонентная методология. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.
8. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2007. – 288 с.

Варзунов Андрей Викторович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, varzunov@inbox.ru

Цуканова Ольга Анатольевна – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат экономических наук, доцент, zoa1999@mail.ru

УДК 338.242.2

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ

Р.Е. Мансуров

Рассмотрены основные современные проблемы управления конкурентоспособностью и экономической эффективностью отечественных промышленных предприятий.

Ключевые слова: конкурентоспособность предприятия, экономическая эффективность, управление конкурентоспособностью.

Введение

На современном этапе экономического развития конкуренция как движущая сила вынуждает производителей постоянно искать новые пути повышения своей конкурентоспособности. Данное понятие является относительно новым для российской действительности, поэтому с точки зрения определения его экономической сущности важным является уточнение самого термина «конкурентоспособность предприятия».

Подходы к определению конкурентоспособности

Изучение существующих подходов к определению конкурентоспособности показывает неоднозначность в толковании понятий, связанных с конкурентоспособностью предприятия, наличие различных его трактовок в зависимости от освещения поставленных в них вопросов. В общем случае термин «конкурентоспособность» определяется как способность конкурировать, т.е. бороться или противостоять чему-либо. Результаты анализа ряда литературных источников позволяют сделать следующие обобщения.

- Большинство авторов не рассматривает понятие «конкурентоспособности предприятия» с точки зрения занимаемой доли рынка и конкурентоспособности продукции, выпускаемой предприятием, что не совсем точно с точки зрения экономической сущности.
- Конкурентоспособность предприятия характеризует величину и эффективность использования всех ресурсов предприятия.
- Конкурентоспособность предприятия является динамическим показателем, изменения которого зависят как от внешних, так и от внутренних факторов.
- Конкурентоспособность предприятия является относительным показателем, причем базой для сравнения служат аналогичные показатели конкурентоспособности предприятий-конкурентов либо идеальных (эталонных) предприятий.
- Конкурентоспособность продукции и предприятия являются взаимосвязанными понятиями. Хотя предприятие является опосредованным носителем свойства конкурентоспособности через свои товары или услуги, но конкурентоспособность предприятия определяется характеристиками, отличными от используемых при определении конкурентоспособности товара.
- Конкурентоспособность – это свойство объекта, характеризующееся степенью удовлетворения им конкретной потребности по сравнению с аналогичными объектами, представленными на данном рынке.
- Конкурентоспособность предприятия – это способность выдерживать конкуренцию в сравнении с аналогичными объектами на данном рынке.

- Конкурентоспособность предприятия показывает уровень развития данной фирмы по сравнению с конкурентными фирмами по степени удовлетворения потребности людей своими товарами и по эффективности производственной деятельности.
- Конкурентоспособность предприятия характеризует величину привлекательности данного предприятия для инвестора.
- Социальная среда оказывает влияние на конкурентоспособность предприятия.
- Экологическая среда оказывает влияние на конкурентоспособность предприятия.

На основе проведенного анализа возможных подходов к определению экономической сущности данных понятий было предложено авторское определение. Конкурентоспособность предприятия – это способность предприятия бороться за рынок (увеличивать, уменьшать либо сохранять занимаемую долю рынка в зависимости от стратегии предприятия). Это достигается на основе внедрения инновационной техники и технологии (дающей экологические, социальные и экономические эффекты), максимально эффективного использования резервов предприятия, достижения высокого уровня инвестиционной привлекательности, что в совокупности обеспечивает выпуск конкурентоспособной продукции.

Для случая, когда вопросы конкурентоспособности выпускаемой продукции стоят не настолько остро (например, в энергетической отрасли), конкурентоспособность предприятия – это способность предприятия противостоять внешним воздействиям, добиваясь лидерства в соответствии с поставленными стратегическими целями [1].

В понятие же управление конкурентоспособностью предприятия, по нашему мнению, следует вкладывать следующий экономический смысл: управление конкурентоспособностью предприятия – целенаправленная деятельность по формированию ряда управленческих решений, направленных на противостояние всевозможным внешним воздействиям с целью достижения лидерства в соответствии с поставленными стратегическими целями.

Управление конкурентоспособностью промышленного предприятия

В целом можно выделить несколько характерных видов управления конкурентоспособностью предприятия: производственно-экономическое управление, организационно-экономическое управление и финансово-экономическое управление [2]. Рассмотрим подробнее задачи этих видов управления конкурентоспособностью предприятия:

К основным задачам производственно-экономического управления конкурентоспособностью предприятия следует отнести:

- управление развитием производства, заключающееся во внедрении в ассортимент выпускаемой продукции новых, более совершенных изделий, повышении их качественных и потребительских характеристик, в реализации более совершенных технологий изготовления продукции (гибких перестраиваемых технологий, рациональной автоматизации, механизации, модернизации производства);
- обеспечение более эффективного использования оборудования, имеющихся производственных площадей;
- реализацию энергосберегающих мероприятий;
- обеспечение повышения производительности труда основного и вспомогательного персонала;
- снижение всех видов производственных издержек;
- планирование, учет и нормирование основных операций и хода производства всей номенклатуры выпускаемой промежуточной и конечной продукции;
- управление технологической подготовкой производства продукции (его оперативно-технологическое регулирование);

- оперативно-диспетчерское регулирование всех материальных потоков и технологических операций по всем этапам производства сырья материалов, полуфабрикатов, комплектующих по всей линии обработки, включая процессы сборки, контроля, испытаний готовой продукции, ее выхода из производственных цехов на склад готовой продукции;
- систематический контроль технического состояния оборудования (диагностирование), обеспечение его технического обслуживания и ремонта, прогнозирование его технического состояния.

К основным задачам организационно-экономического управления конкурентоспособностью предприятия относятся:

- выбор формы организации управления производственными процессами;
- выбор и формирование структуры предприятия, его организационно-экономической структуры управления;
- определение отношений и связей между структурными элементами предприятия и их взаимодействия;
- определение функций каждого элемента структуры, необходимых для организации и поддержания нормальной деятельности предприятия;
- распределение функций управления за подразделениями предприятия и сотрудниками управления;
- обеспечение необходимой координации и согласованности действий подразделений предприятий;
- регламентация должностных обязанностей персонала;
- подбор, расстановка, обучение и ротация кадров;
- контроль и оценка качества, а также эффективности функционирования подсистем управления предприятием и его подразделениями;
- формирование механизма отношений с другими организациями, поставщиками сырья, материалов, комплектующих, потребителями продукции, источниками сырья, материалов, финансирования;
- планирование мероприятий по маркетингу, рекламе и других мер для продвижения продукции к потребителю;
- планирование мероприятий, включающее важнейшие задачи предприятия на предстоящий период, которые должны быть решены предприятием, отдельными цехами и службами, с указанием ответственных исполнителей этих мероприятий по отдельным видам работ;
- обоснование источников финансирования для внедрения организационно-технических мероприятий (фонд развития производства, кредиты банков, фонд освоения новой техники, привлечение средств путем выпуска акций и др.);
- разработка мероприятий по экономическому стимулированию персонала предприятия;
- реализация организационных мероприятий, связанных с энергосбережением;
- организация на предприятии эффективной системы повышения качества продукции, увеличения производительности труда, снижения себестоимости продукции.

Основными задачами финансово-экономического управления конкурентоспособностью являются:

- повышение конкурентоспособности продукции;
- повышение конкурентоспособности предприятия;
- обоснование эффективности энергосберегающих мероприятий;
- выявление внутренних количественных взаимосвязей основных экономических элементов данного предприятия (объема выпуска продукции, переменных и посто-

- янных затрат, цены, прибыли) по каждому выпускаемому продукту и определение их влияния на обеспечение безубыточности, прибыльности предприятия, самоокупаемости и самофинансирования производства;
- обоснование целесообразного соотношения постоянных и переменных затрат в себестоимости каждого вида номенклатуры выпускаемой продукции, объема ее выпуска и цен, при которых достигается безубыточность и необходимая прибыльность их производства и сбыта;
 - обоснование условий выпуска продукции (объема продукции, затрат, цены), при которых достигается безубыточность и необходимая прибыльность производства каждого вида номенклатуры продукции;
 - обоснование сбалансирования объемов выпуска продукции различной номенклатуры, обеспечивающей наибольшую экономическую эффективность функционирования предприятия;
 - выбор наиболее рациональной по критерию экономической эффективности технологии производства продукции;
 - обоснование наиболее выгодной для предприятия кооперации и специализации производства продукции;
 - выбор наиболее целесообразного варианта оснащения предприятия машинами и оборудованием;
 - подготовка и обоснование решений по ассортименту и объему выпуска продукции с учетом имеющихся ограничений на материальные, финансовые, трудовые ресурсы, объема реализации продукции, располагаемых мощностей предприятия;
 - обоснование эффективности инвестиционных проектов по реконструкции предприятия, модернизации оборудования и обновлению выпускаемой продукции;
 - обоснование ценообразования выпускаемой продукции;
 - выявление и количественное обоснование имеющихся резервов для повышения экономической эффективности производственной деятельности предприятия;
 - разработка и экономическое обоснование путей оптимизации качества продукции;
 - систематический анализ хозяйственной деятельности и финансового состояния предприятия, определение показателей рентабельности производства и оборачиваемости капитала;
 - анализ трудоемкости каждого вида номенклатуры продукции и производительности труда, разработка предложений по снижению трудоемкости;
 - анализ использования материальных ресурсов, разработка предложений по снижению материалоемкости, энергоемкости выпускаемой продукции, снижению затрат на материальные ресурсы;
 - разработка плана развития предприятия (капитальных вложений, внедрения новой техники и технического развития);
 - планирование распределения прибыли по фондам накопления и потребления;
 - технико-экономическое обоснование и разработка перспективных и текущих планов производственной и финансовой деятельности предприятия;
 - организация перспективного, среднесрочного и текущего планирования хозяйственной деятельности;
 - организация перспективного, среднесрочного и текущего финансового планирования;
 - организация учета и контроля экономической и производственной деятельности по видам продукции и предприятию в целом;

- разработка предложений по корректировке существующих и созданию новых нормативов по материальным, финансовым и трудовым затратам на изготовление единицы производимой продукции.

Принятие решений по управлению конкурентоспособностью предприятия происходит в разных ситуациях, которые могут различаться положением лица, принимающего решение, областью его ответственности, его возможностями влиять на ресурсы, менять или корректировать цели. Тем не менее, данный процесс должен быть подчинен определенной последовательности подготовки и принятия решений, выполнение которой обеспечивает эффективность управления. Сформулируем эту последовательность.

1. Проводится анализ хозяйственного механизма функционирования предприятия в целом для выяснения узких мест в его деятельности.
2. Проводятся анализ и оценка целей предприятия, возможностей их сохранения, необходимости их корректировки.
3. В рамках рассматриваемых вариантов целей предприятия производится причинно-следственный анализ возможностей разрешения проблем предприятия при установленных ограничениях на имеющиеся ресурсы.
4. На основе выбранной для предприятия цели формируются задачи для различных направлений хозяйственной деятельности.
5. Подразделения управления предприятия и производственные подразделения разрабатывают комплекс мероприятий для решения поставленных для них задач, определяют возможности наиболее эффективного использования оборудования, производственного персонала, выделенных ресурсов.
6. С учетом поставленных руководством предприятия целей, задач служб и подразделений предприятия разрабатывается план предприятия на рассматриваемый период или проводится корректировка разработанного плана, организуется выполнение утвержденного плана.
7. Организуется систематический контроль за ходом выполнения плана, определение возникающих отклонений от плановых показателей, оценка причин и возможностей устранения этих отклонений.

С учетом основных принципов и обозначенных выше задач можно сформулировать основные требования, предъявляемые к системе управления конкурентоспособностью предприятия:

- полнота и достоверность полученной управленческой информации;
- своевременность и оперативность принятия управленческого воздействия;
- проведение аналитической работы, направленной на определение экономической эффективности различных видов деятельности предприятия;
- полная автоматизация всех видов учета.

Переходя к рассмотрению управленческих решений, направленных на повышение конкурентоспособности предприятия, следует отметить отсутствие единого мнения ученых по определению экономической сущности данного понятия. С учетом вышеизложенного, а также на основе проведенного анализа предлагается следующее определение: управленческое решение – это результат аналитической работы (прогнозирования, оптимизации, экономического обоснования при выборе альтернатив и т.д.), целью которой является формирование стратегии и тактики экономического развития предприятия для достижения высокого уровня конкурентоспособности.

В современных, динамично развивающихся рыночных условиях степень неопределенности экономического поведения предприятия достаточно высока. В связи с этим большое значение приобретают методы обоснования и анализа принимаемых управленческих решений, направленные на повышение конкурентоспособности, при этом оцениваются возможные ситуации и предлагается несколько альтернативных вариан-

тов. На рисунке представлена схема обоснования управленческих решений по повышению конкурентоспособности предприятия.



Рисунок. Схема процесса обоснования управленческих решений, направленных на повышение конкурентоспособности предприятия

Заключение

В рамках статьи предложено авторское определение понятия «управление конкурентоспособностью предприятия». Уточнены основные задачи, принципы и требования, предъявляемые к системе управления конкурентоспособностью предприятия. Предложено авторское определение понятия «управленческое решение», а также схема процесса обоснования управленческих решений, направленных на повышение конкурентоспособности предприятия.

Литература

1. Мансуров Р.Е. Об экономической сущности понятий «конкурентоспособность предприятия» и «управление конкурентоспособностью предприятия» // *Маркетинг в России и за рубежом*. – 2006. – № 2.
2. Фатхутдинов Р.А. *Управленческие решения: Учебник / 4-е изд., перераб. и доп.* – М.: Инфра-М, 2001.

Мансуров Руслан Евгеньевич

– Институт экономики управления и права (ИЭУП) (г. Казань), кандидат экономических наук, доцент, зам. директора, Russell_1@mail.ru

УДК 338.28:330.131.5

**МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ
КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПРОЕКТОВ**

А.А. Ганиева

Исследуются эффекты и последствия реализации крупных инвестиционных проектов с позиции влияния на основные макроэкономические показатели. Уточняется структура макроэкономических последствий осуществления крупномасштабных проектов путем выделения прямых и косвенных эффектов реализации, предлагается осуществление их оценки на основе агрегированной модели «затраты – выпуск».

Ключевые слова: крупномасштабные проекты, национальные проекты, макроэкономический эффект, структурные сдвиги.

Введение

Одним из способов обеспечения роста экономики является реализация системы стратегических инвестиционных проектов национального масштаба, опирающихся на активную организационную и финансовую поддержку государства. В настоящее время в российской экономике реализуется комплекс масштабных инвестиционных мероприятий, наиболее важными из которых являются национальные проекты в сферах жилищного строительства, сельского хозяйства, образования и здравоохранения, проекты в топливно-энергетическом комплексе, транспортные инфраструктурные проекты, стратегические варианты развития высокотехнологических отраслей экономики и научно-инновационной сферы, направленные на кардинальное изменение сальдо экспорта и импорта технологий и др. Согласно прогнозам, в результате реализации всей совокупности подобных стратегических проектов ежегодный дополнительный прирост ВВП может составить 1,5 процентных пункта.

**Методология исследования макроэкономических последствий осуществления
крупных инвестиционных проектов**

Исследование макроэкономических последствий и эффектов от реализации национальных проектов и других масштабных мероприятий инвестиционного характера, а также от благоприятных изменений внешнеэкономической конъюнктуры представляет несомненный научно-практический интерес. Наше исследование реализации крупномасштабных проектов основывается на методологических положениях макроэкономической теории Дж. М. Кейнса [1], комплексное понимание и применение которой крайне необходимо в современных условиях мирового финансового кризиса.

Основная теоретическая предпосылка оценки макроэкономических последствий и эффектов реализации крупных проектов и других масштабных инвестиционных мероприятий заключается в том, что любое хозяйственное мероприятие или явление, инициирующее приток дополнительных доходов в экономику, порождает прирост спроса на конечную продукцию отечественного производства, который, в свою очередь, распространяется по цепочкам межотраслевых связей, вызывая мультипликативный макроэкономический эффект косвенного характера и оказывая влияние на структуру экономики.

В течение периода осуществления инвестиционного проекта в секторе экономики, в котором реализуется комплекс инвестиционных мероприятий, т.е. в первичном секторе, формируются приросты ресурсов в конечном использовании: прирост валового накопления капитала и прирост экспорта. Валовое накопление капитала проекта, наряду с основным капиталом, состоит из пополнения запасов материальных оборотных средств за счет направления на внутренний рынок части выпуска дополнительной про-

дукции первичного сектора. Одновременно в экономике и первичном секторе образуются дополнительные доходы, равные приросту валового накопления капитала за счет конечной продукции отечественного производства. Дополнительные доходы экономики и первичного сектора в соответствии с принципами национального счетоводства распределяются на выплаты налоговых трансфертов, оплату труда наемных работников, валовую прибыль и смешанные доходы экономики. Далее из перечисленных источников формируются приросты расходов секторов экономики на конечное потребление и валовое накопление, которые, в свою очередь, определяют дополнительный конечный спрос (потребительский и инвестиционный) на продукты и услуги как отечественного, так и импортного производства. Часть указанного прироста конечного спроса возбуждает дополнительный цикл ее функционирования и формирует макроэкономический эффект косвенного характера.

Дополнительные доходы экономики в объеме прироста вновь созданной отечественной конечной продукции проявляются итерационно, многократно повторяясь на последующих шагах с постепенным затуханием, так как каждый раз в отечественное производство направляется лишь определенная часть образовавшегося прироста доходов.

Совокупный макроэкономический эффект от реализации комплекса инвестиционных мероприятий (который выражается приростом валового внутреннего продукта, связанным с осуществлением проекта) складывается из прямого эффекта и суммы косвенных эффектов, формируемых в каждом дополнительном цикле функционирования экономики и обусловленных дополнительными доходами экономики и первичного сектора. Этот эффект проявляется в текущей и краткосрочной перспективе, в течение нескольких дополнительных циклов отечественного производства, возбужденных воздействием прироста конечного спроса.

Косвенные макроэкономические эффекты реализации крупномасштабных проектов

В результате проведения масштабных инвестиционных мероприятий в экономике возникают пролонгированные макроэкономические эффекты косвенного характера, период проявления которых может быть весьма продолжительным и даже существенно превышать длительность жизненного цикла иницирующего инвестиционного проекта.

Влияние крупномасштабных проектов на структурные сдвиги в экономике реализуется как раз в результате пролонгированных эффектов межотраслевых взаимодействий. Например, в ходе реализации приоритетного национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» первичным сектором является жилищное строительство. К числу сопряженных с жилищным строительством отраслей, которых в наибольшей степени касается межотраслевой механизм мультипликативного макроэкономического эффекта, относятся промышленность строительных материалов, промышленность строительных конструкций и деталей, черная металлургия, химическая промышленность, лесная и деревообрабатывающая промышленность, энергетика, строительное-дорожное и тракторное машиностроение, а также торговые-посреднические услуги, услуги науки и научного обеспечения, услуги финансового посредничества, страхования и управления и др.

Пролонгированным эффектом является расширение фондовой базы (основного капитала) отраслей в связи с последовательной реализацией дополнительных инвестиционных возможностей секторов экономики, открывающихся в ходе осуществления комплекса инвестиционных мероприятий в первичном секторе. Процесс сопряженного с проектом увеличения основного капитала носит кумулятивный характер, способствует наращиванию национального богатства в форме основных производственных фондов и расширяет потенциал производства. Этот эффект сохраняется в течение весьма дли-

тельного времени вплоть до выбытия дополнительного основного капитала, накопленного в отраслях экономики.

Другой косвенный макроэкономический эффект от реализации комплекса инвестиционных мероприятий связан со стимулированием инвестиционной деятельности в сопряженных отраслях, обеспечивающих производство продукции для формирования основного капитала проекта. Этот эффект имеет место в случаях, когда текущий производственный потенциал сопряженных отраслей экономики к началу реализации комплекса инвестиционных мероприятий оказывается недостаточным для увеличения выпуска капитальных товаров до уровня, обеспечивающего удовлетворение всплеска конечного спроса в связи с осуществлением данного инвестиционного проекта, и обычно проявляется главным образом в среднесрочной перспективе. В случае национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» этот эффект в наибольшей мере должен проявиться в производстве строительных материалов.

Реализация любого масштабного инвестиционного мероприятия, как правило, сопровождается созданием новых рабочих мест и активной мобилизацией трудовых ресурсов для кадрового обеспечения строительства и последующей эксплуатации вводимых производственных мощностей. Это потребует адекватного развития основных подсистем инфраструктурного окружения инвестиционного проекта, что является стимулом для дополнительных сопутствующих вложений в инфраструктуру проекта и, в конечном счете, обусловит проявление еще одного пролонгированного косвенного макроэкономического эффекта.

Прогнозно-аналитическая оценка макропроектов

Основными целями государственного экономического регулирования хода реализации крупномасштабных проектов являются устранение негативных явлений и тенденций, структурных диспропорций развития хозяйственной системы общества. Главными инструментами государства служат различные варианты финансово-бюджетной, денежно-кредитной, налоговой, инвестиционной, внешнеэкономической, региональной и социальной политики. Вместе с тем в настоящее время сохраняются возможности принятия государственными органами директивных решений относительно направлений и объемов государственных инвестиций, создания бюджетных и внебюджетных фондов поддержки секторов экономики, реализации целевых программ.

Прогнозно-аналитическая оценка последствий государственных решений по регулированию экономической ситуации должна опираться на целевые ориентиры экономического роста (количественные и качественные). Так как в настоящее время экономическая ситуация в стране характеризуется повышенным уровнем инфляции, значительными размерами вывоза капитала и пока еще относительным замедлением инвестиционных процессов, потребность прогнозно-аналитической оценки макроэкономических эффектов является, по сути, перманентной. Количественная оценка прямых и косвенных макроэкономических эффектов от осуществления масштабных инвестиционных мероприятий, обеспечивающих приток дополнительных доходов в экономику, может основываться на свойствах симметричной таблицы «затраты – выпуск» В.В. Леонтьева [2], некоторая модификация которой позволит дать математическую оценку результатов реализации крупномасштабных проектов.

Информационная база количественного анализа прямых и косвенных макроэкономических последствий реализации масштабных инвестиционных мероприятий на основе многоотраслевой балансовой модели весьма обширна: наряду с основными показателями инвестиционной и производственной программ проекта в разрезе агрегиро-

ванных продуктов экономики, она охватывает матрицы коэффициентов промежуточного потребления продукции, матрицы отраслевых мультипликаторов дополнительных доходов экономики, а также векторную оценку скорости оборота денег и материальных ресурсов в прогнозной перспективе. Трудоемкость подготовки данных для проведения полной совокупности расчетов весьма высока и с практической точки зрения может быть не всегда оправдана. Процедуру оценки прямых и косвенных макроэкономических последствий можно существенно упростить, используя максимально агрегированную модификацию многоотраслевой балансовой модели, основу построения которой составляет симметричная таблица «затраты – выпуск» со скалярными блоками. Агрегирование в существенной степени снижает трудоемкость подготовки исходных данных для расчетов и позволяет с определенной степенью отразить прямые и косвенные, а также мультипликативные эффекты, возникающие в результате реализации крупномасштабных инвестиционных мероприятий.

Заключение

Исследованы методологические основы анализа и оценки влияния крупных национальных проектов и других масштабных инвестиционных мероприятий на основные макроэкономические показатели, уточнена схема расчетов макроэкономических эффектов. Предметом дальнейших исследований являются математические методы оценки последствий реализации крупномасштабных проектов для проведения прогнозно-аналитических расчетов прямых и косвенных макроэкономических эффектов от реализации национальных проектов, стратегий развития секторов экономики, масштабных инвестиционных мероприятий по регулированию темпов и пропорций экономического роста на средне- и долгосрочную перспективу.

Литература

1. Кейнс Дж. М. Общая теория занятости, процента и денег: избранное. – М.: Эксмо, 2007. – 960 с.
2. Леонтьев В.В. Межотраслевая экономика: Пер. с англ. / Автор предисл. и науч. ред. А.Г. Гранберг. – М.: ОАО «Издательство «Экономика», 1997. – 479 с.

Ганиева Алия Акрамовна – Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра Российской академии наук, стажер-исследователь, vixen_a@rambler.ru

8

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

УДК 004.657+004.652.3

**РАЗРАБОТКА ТИПОВОГО WEB-ПОРТАЛА ИННОВАЦИОННОЙ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ УНИВЕРСИТЕТА
И ВНЕДРЕНИЕ ЕГО В УСЛОВИЯХ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
УНИВЕРСИТЕТА****Ю.Л. Колесников, И.Ю. Щербакова, А.В. Куркин**

Рассмотрены методика разработки типового WEB-портала и реализация модульного портала. Представлены схемы организации открытого (свободного) и закрытого документооборота на портале.

Ключевые слова: WEB-портал, базы данных, инновационная образовательная программа, программирование PHP, MySQL.112.

Введение

Перед высшей школой Российской Федерации стоят проблемы сохранения высокого уровня образования, традиционно присущего российской образовательной системе, и дальнейшего его развития в соответствии с требованиями XXI века по формированию современного информационного общества. Эти проблемы нельзя решить без широкого внедрения информационных технологий в учебный процесс, научные исследования и управление вузами. Развитие сетевой инфраструктуры российского образования [1–3] и постепенное расширение областей применения компьютерных технологий в реальном учебном процессе определяют основной вектор развития всей системы образования.

Составными частями информационного общества являются, в том числе, различные образовательные и информационные системы и ресурсы университетов. Задачей университетов, как известно, является не только осуществление образовательной деятельности, но и их позиционирование как ведущих научных и методических центров в области своей деятельности.

Постановка задачи

Университет ИТМО является мировым лидером образования в области информационных и оптических технологий, участвует в национальных программах по подготовке кадров и модернизации системы образования. В 2007 году университет стал победителем конкурса инновационных образовательных программ вузов России на 2007–2008 годы и успешно реализовал инновационную образовательную программу (ИОП) «Инновационная система подготовки специалистов нового поколения в области информационных и оптических технологий».

Необходимым условием реализации ИОП являлось наличие WEB-портала программы, который должен был не только выполнять информационные функции, но и играть организационно-ориентирующую роль в выполнении самого проекта. Необходимо отметить, что типовые решения по построению существующих WEB-порталов образовательных учреждений во многом не отвечают требованиям, предъявляемым к ним современным информационным обществом, и задачам, стоящим перед современной системой образования и наукой, что также обуславливает актуальность выполняемой работы [4].

В рамках работы рассмотрены и проанализированы существующие порталы (сайты), посвященные инновационным образовательным программам, начавшимся в 2006 году, используемые в них программные механизмы и их функциональность. На основе анализа выбраны методики, способы и программные средства для разработки. Выполненная разработка ориентирована на использование технологии CGI, что объясняется последующим применением ее в среде Интернет и необходимостью расширенного использования сетевых возможностей. Учитывая большой объем хранимых и передаваемых данных, а также необходимость поиска, выборок и сортировок, было решено использовать базы данных, для работы с которыми необходим соответствующий язык программирования. Выбранные механизмы для разработки основаны на архитектуре клиент–сервер.

Основные требования к структуре базы данных WEB-портала определяются хранимой в ней информацией, а также требованиями, вытекающими из особенностей структуры реляционных баз данных. Объектом хранения базы данных является информация WEB-портала ИОП СПбГУ ИТМО [5] (рис. 1).

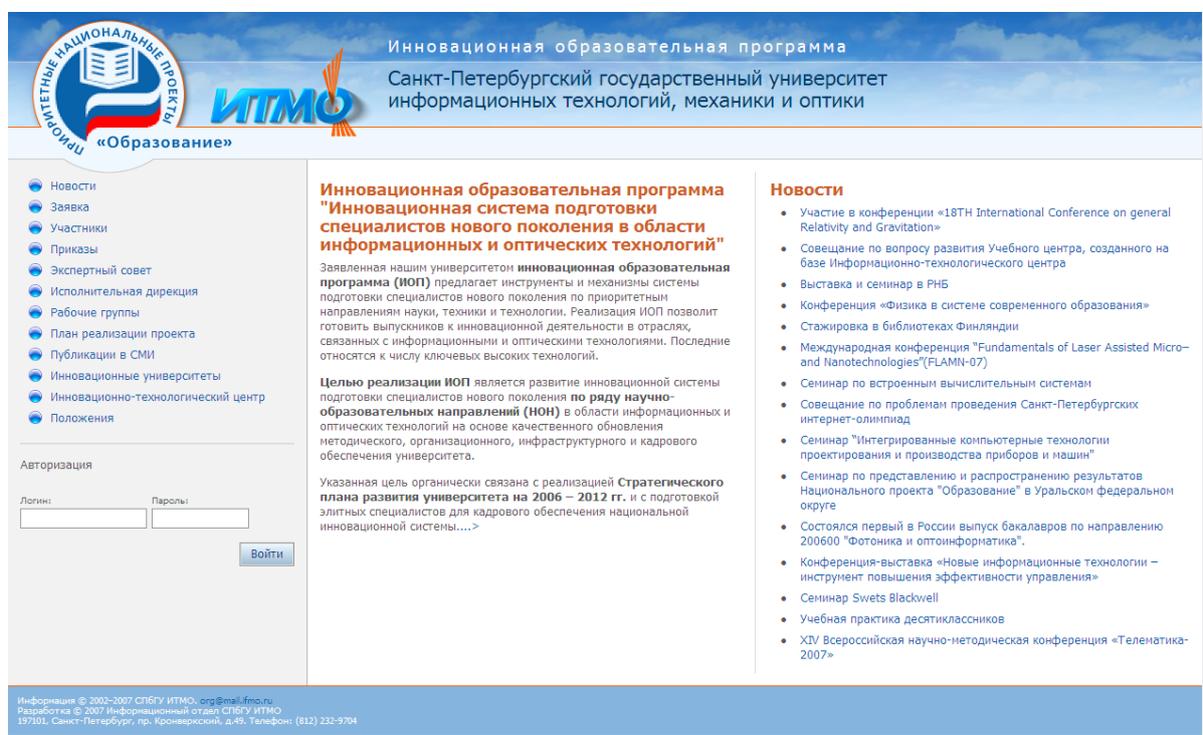


Рис. 1. Стартовая страница портала ИОП.
Основной вид представляемой информации

В качестве основных разделов WEB-портала выбраны такие разделы, как «Персоналии», «Статические разделы», «Закрытые статические разделы», «Новости», «Зарегистрированные пользователи».

Реализация проекта

Для создания WEB-портала ИОП использованы такие технологии, как PHP, HTML, CSS, JavaScript, DOM, а также база данных MySQL. Опыт показывает, что для хранения исходных данных целесообразно использовать СУБД MySQL: она обеспечивает легкость масштабирования, проста в использовании и весьма экономична. Для программирования при создании портала удобно использовать серверный язык сцена-

риев PHP. Наличие большого количества дополнительных модулей PHP, которые разрабатываются во всем мире, позволяет реализовывать неординарные решения, такие как генерация мультимедийного содержимого «на лету», всевозможные растровые изображения форматов JPG, GIF, PNG, векторный Flash, документы PDF и многое другое. Использование CSS, DOM и JavaScript позволяет масштабировать документы в зависимости от технологических платформ, используемых посетителем, а их корректное внедрение позволяет получить и отобразить информацию на экране обычного монитора, карманного компьютера и сотового телефона. В информационной системе ИОП использована модульная схема программирования на основе шаблонов, что позволяет минимизировать затраты на масштабирование и повторное использование кода, поэтому внедрение новых и обновление существующих модулей происходит безболезненно [65].

Принципиально важно, что на портале ИОП посетитель является не пассивным наблюдателем событий, а непосредственным их участником. Конечно, у портала ИОП, как у любого информационного ресурса, есть свой «сценарий» (структура, план, карта) [7], но инициатива при работе с порталом ИОП всегда принадлежит самому пользователю.



Рис. 2. Пример экономичного представления фотоматериалов для предварительного просмотра

В соответствии с концепцией создания портала ИОП были разработаны следующие основные разделы: «Новости», «Персоналии», «Заявка», «Участники», «Приказы», «Экспертный совет», «Исполнительная дирекция», «Рабочие группы», «План реализации проекта», «Публикации в СМИ», «Иновационные университеты», «Иновационно-технологический центр», «Информационные материалы по выполнению ИОП», «Скрытые раздела (Авторизация)».

Разделы «Персоналии» и «Новости» разработаны на основе технологии клиент–сервер с использованием современных информационных средств. Раздел снабжен удобной системой навигации по ее ресурсам. Система совместима с наиболее популярными браузерами. В настоящее время в базе данных портала ИОП содержатся более 130 новостей, информация более чем о 60 персоналиях, а также фотоальбом к новостям, содержащий более 1000 фотографий. Особо отметим, что фотоматериалы хранятся как в экономичном "размере, который удобен для предварительного ознакомления с фотографиями (рис. 2), так в полном формате, который обеспечивает более подробное знакомство с фотоматериалами (рис. 3).

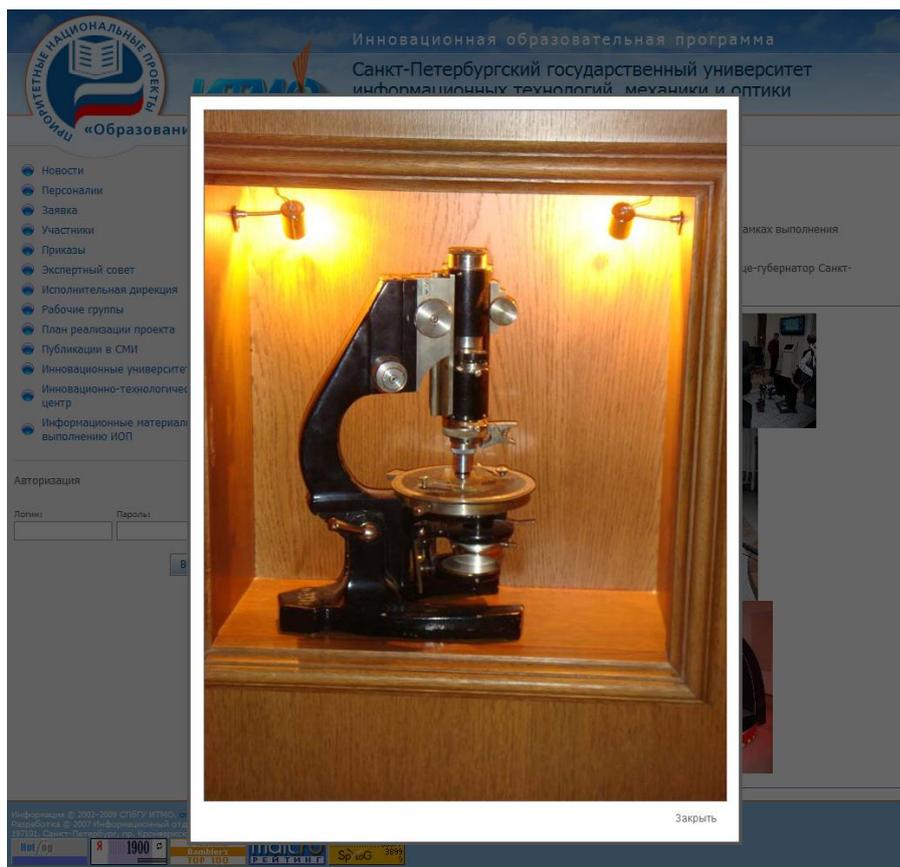


Рис. 3. Пример полноформатной фотографии раздела «Новости. Фотоальбом»: на фотографии представлен микроскоп – экспонат «Музея оптических технологий»

Документооборот

Для осуществления авторизованного и разграниченного доступа к различным разделам WEB-портала ИОП создана система авторизации и аутентификации (рис. 4), которая находится в нижнем левом углу страницы. Авторизация осуществляется путем введения логина и пароля пользователя, зарегистрированного на портале, которые хранятся в базе данных.

Одна из основных задач портала – осуществление документооборота между пользователями. В рамках реализации данного проекта были организованы два способа доступа к документам и разделам портала. Первый способ – общедоступный доступ, т.е. прямая ссылка на документ; таким способом реализовано размещение материалов курсов и документов открытого доступа. Второй способ – для авторизованных пользо-

вателей, здесь размещены документы для внутреннего документооборота. Файлы передается в виде потока, тем самым документ разбивается на потоки, и перехват данных не имеет смысла, так как только полный файл, состоящий из всех потоков, можно открыть.

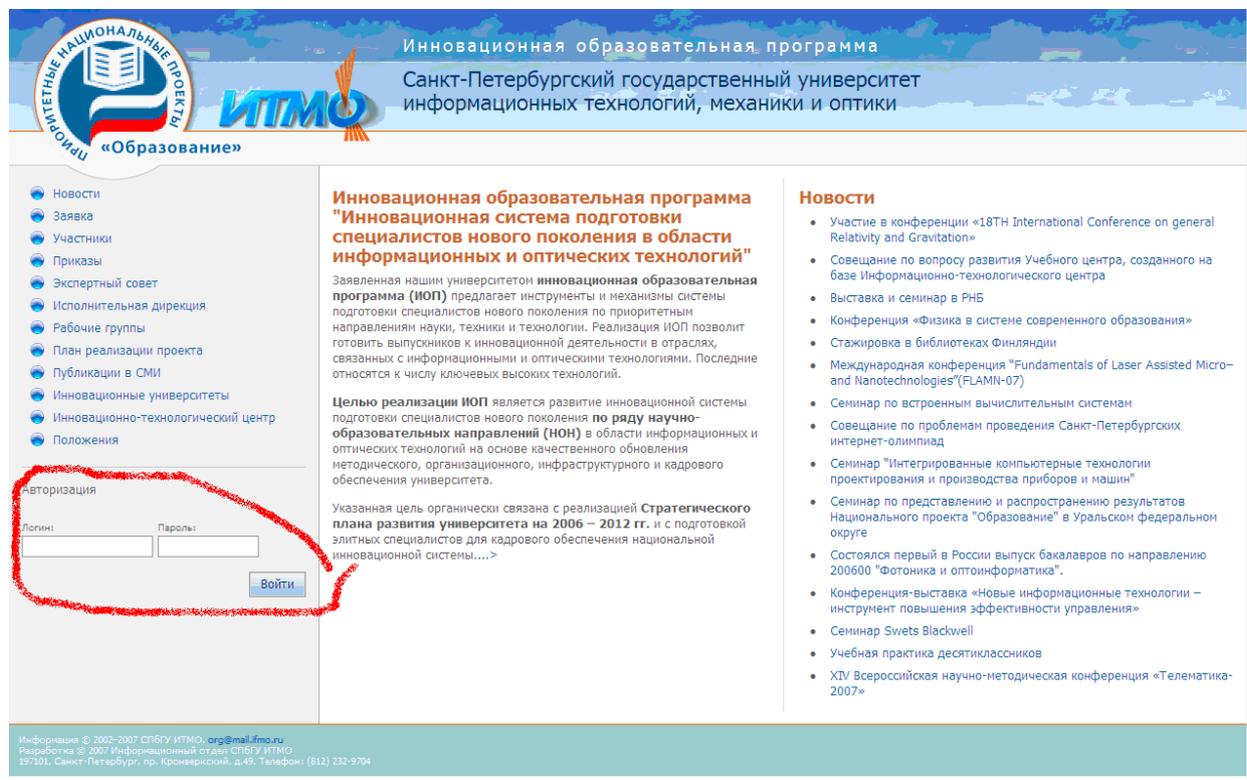


Рис. 4. Стартовая страница портала с авторизацией пользователя

Особо отметим, что важная задача портала ИОП – обеспечение работы с внешним пользователем, которому предоставляется доступ к запрашиваемым материалам с помощью дружественного пользовательского терминала. Это – видимая внешнему пользователю, «надводная» часть портала. С другой стороны, портал ИОП должен обеспечивать не только пополнение и редактирование информации разделов, но и организацию и редактирование разнообразных, в том числе перекрестных, ссылок. Это – не видимая внешнему пользователю, «подводная» часть портала. Эта часть предназначена непосредственно для административных работников и реализована в виде специализированного управляющего терминала, который дает возможность самостоятельного (без привлечения разработчиков программного обеспечения и специальных программистских навыков), планомерного, оперативного пополнения и изменения содержания портала ИОП, включая добавление новых разделов и других необходимых действий.

Заключение

В результате выполненной работы разработан WEB-портал ИОП университета, составлены базовые правила для регламентирования доступа к базам данных. Разработана структура самих баз данных, управляющих интерфейсов к ним, дизайн и требования к нему. Осуществлено программирование и компоновка модулей портала, тестирование программных компонентов WEB-портала.

Таким образом, поставленная задача по созданию портала выполнена. Дальнейшее его функционирование на протяжении последующих трех лет показало правильность выбранных технических решений и их практической реализации.

Литература

1. Федеральный образовательный портал «Российское образование» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.edu.ru/>, свободный.
2. Ефремов С.В., Ковальский М.С., Рязанцева Л.Ф., Медяева И.И. Поисковая оптимизация и реструктуризация портала по научной и инновационной деятельности // Труды Всероссийской научно-методической конференции «Телематика-2009». – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009.
3. Костенецкий П. С. Моделирование параллельных систем баз данных для вычислительных кластеров // Труды Всероссийской научной конференции «Научный сервис в сети Интернет». – Новороссийск, 2009.
4. Интернет-порталы: содержание и технологии: Сб. научных статей. В. 2. – М.: Просвещение, 2004. – 499 с.
5. Официальный портал Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ifmo.ru/>, свободный.
6. Васильев В.Н., Колесников Ю.Л., Чуфаров Е.В., Шеламова Т.В., Щербакова И.Ю. Виртуальный музей университета как средство изучения истории оптического приборостроения и оптического образования // Оптический журнал. – 2005. – Т. 72. – № 3. – С. 69–73.
7. Ожиганов А.А., Чепурной А.И. Классификация связей между частями веб-приложения и его описание с использованием модели конечных автоматов // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2009. – № 1(59). – С. 100–106.

<i>Колесников Юрий Леонидович</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор физ.-мат. наук, профессор, проректор, kolesnikov@mail.ifmo.ru
<i>Щербакова Ирина Юрьевна</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, начальник управления образовательных программ, mig@mail.ifmo.ru
<i>Куркин Андрей Владимирович</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, инженер, соискатель, kurkin@mail.ifmo.ru

SUMMARY

1. OPTICAL AND OPTICAL ELECTRONIC SYSTEMS. OPTICAL TECHNOLOGIES

GENERALIZED COMPUTER MODEL STRUCTURE OF OPTICAL ELECTRONIC SYSTEMS

I. Torshina, Yu. Yakushenkov

A structure of optical electronic system generalized computer model is described (OES CM). Some characteristic features and communications of the model parts are described.

Keywords: modeling, optical electronic system, a structure of optical electronic systems generalized computer model.

Irina Torshina - Moscow State University of Geodesy and Cartography, Associate professor, Ph.D., Associate professor, torshinai@yandex.ru

Yuri Yakushenkov - Moscow State University of Geodesy and Cartography, Dean, D.Sc., Professor, yakush@miigaik.ru

INACCURACY STUDY OF MARKS CONGRUENCE UNDER LATERAL PICKUPS

S. Latyev, E. Smirnova

The article deals with the lateral pickups inaccuracy dependence from observation conditions: color filters type, illumination, optical system aberrations, congruence direction. Some conclusions were made on the basis of the carried researches and recommendations for inaccuracy decrease were given.

Keywords: lateral pickup, b-line mark, inaccuracy induction, dispersion polygon, aberration, contrast, illumination, positions-sensitive receiver.

Svyatoslav Latyev - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Dean, Professor, D.Sc., latyev@grv.ifmo.ru

Elena Smirnova - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, smirnova-elen@yandex.ru

UNIT FOR EXPERIMENTAL OBSERVATION OF CHEMILUMINESCENT SPECTRUMS

V. Chelibanov, G. Ishanin, L. Isaev

Arrangement of light powerful device for analog form registration of chemiluminescent spectrums with high level of sensitivity and response time is described in the article. Chemiluminescent spectrums for oxidation of oxy benzene acid, hydrazide of undecylenic acid and amino ftal acid are obtained in heterogeneous conditions.

Keywords: chemiluminescence, light powerful device, interference wedge filter, mulichannel spectrometer, CCD-matrix, chemiluminescence spectrum.

Vladimir Chelibanov - JSC "OPTEC", General Director, Ph. D., chelibanov@mail.ru

Gennady Ishanin - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Deputy Department head, Ph. D., Professor, ishanin@mail.ru

Leonid Isaev - JSC "OPTEC", Sales Director, Postgraduate, ecm-optec@peterlink.ru

2. PHOTONICS AND OPTICAL INFORMATICS

FLUORESCENCE LIFETIME OF CdSe/ZnS QUANTUM DOTS AND THEIR COMPLEXES WITH ORGANIC MOLECULES IN THIN POLYMER FILMS

E. Ushakova, A. Orlova, A. Baranov

The influence of laser light on fluorescence intensity and lifetime of CdSe/ZnS QDs and their complexes with organic molecules (PAN) in polymer matrix is discussed. The process of photo-induced dissociation of assemblies and self-fluorescence of QDs can occur in these films. Fluorescence intensity and lifetime dependence on laser power and laser energy are investigated. Possible application of QD/PAN assemblies as fluorescence nano-sensor is considered.

Keywords: CdSe/ZnS quantum dots, QD- organic molecule assemblies, photo-induced dissociation, fluorescence sensor.

Elena Ushakova - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Student, linkin_spb@list.ru

Anna Orlova - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, senior researcher, udifa@mail.ru

Alexander Baranov - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Head of section, a_v_baranov@yahoo.com

3. UNITS AND DEVICES OF TECHNICAL SYSTEMS

METHOD OF THE CRACK LOCATION DEFINITION AND THERMAL CONNECTION QUALITY CONTROL ON THE BASIS OF MAGNETIC MEASUREMENTS

A. Petlenko, A. Korobeynikov, P. Sergushin

The metric characteristics definition method of conducting objects for the automated systems carrying out electric welding works is considered. The analysis is lead for usage of geomagnetic anomalies allocation methods for problems of the crack location definition and thermal connection quality control during electric welding.

Keywords: magnetometry, fault detection, conformal reflection, electric welding.

Alexander Petlenko - Saint Petersburg Branch Organization of the Russian Academy of Sciences "Institute of Earth Magnetism, Ionosphere and Radio waves named after N.V. Pushkov RAS", Scientific researcher, Petlenko.58@mail.ru

Anatoliy Korobeynikov - Saint Petersburg Branch Organization of the Russian Academy of Sciences "Institute of Earth Magnetism, Ionosphere and Radio waves named after N.V. Pushkov RAS", Deputy director, D. Sc., Professor, Korobeynikov_A_G@mail.ru

Pavel Sergushin - Saint Petersburg Branch Organization of the Russian Academy of Sciences "Institute of Earth Magnetism, Ionosphere and Radio waves named after N.V. Pushkov RAS", Junior scientific researcher, Pavel.sergushin@gmail.com

MODELING AND IMPROVING THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF SPINDLE UNITS BASED ON HYDROSTATIC BEARINGS

M. Bundur, V. Prokopenko, I. Chernov

The subject of investigation is dynamic performance of radial hydrostatic bearings (HSB) of main spindle of modern high-production metal-cutting equipment. The possibilities for vibrostability improvement are considered by the radial skew of spindle axis in HSB. The developed method description of the optimal parameters of correcting RC-circuits definition is given. The transients and response functions are computed and analyzed for different operating modes of HSB.

Keywords: automated control system, hydrostatic bearing unit, spindle bearing, vibrostability, dynamic behavior, correcting RC-circuit.

Michael Bundur - Saint Petersburg State Polytechnic University, Department Head, Ph.D., Associate professor, bundur@gak.spb.su

Vyacheslav Prokopenko - Saint Petersburg State Polytechnic University, Tutor, Ph.D., Associate professor, prokopenko@gak.spb.su

Ivan Chernov - Saint Petersburg State Polytechnic University, Postgraduate, chernov@gak.spb.su

DECISION-MAKING INFORMATION SUPPORT SOFTWARE FOR TYPICAL FLIGHT PATH ASSESSMENT

V. Efanov, L. Neugodnikova

The imitating model of a flying apparatus spatial movement is suggested, destined for time-fuel valuation of typical flight paths in autopilot's memory. The "Compara" software was developed; it allows us to calculate all base flight paths parameters, needed for making a decision about the most rational air route, taking into account particular flying apparatus aerodynamic configurations.

Keywords: typical flight path, time-fuel assessment, aerodynamics.

Vladimir Efanov - Ufa State Aviation Technical University, Department Head, D. Sc., Professor, efanov@mail.rb.ru

Lyubov Neugodnikova - Ufa State Aviation Technical University, applicant, Grifon_love@mail.ru

4. MICROELECTRONICS

THE INFLUENCE OF YLP - LASER RADIATION ON THE CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF THE SILICON-SILICON DIOXIDE SYSTEM

R. Khaletskiy, Pham Quang Tung

The paper presents the results of the experiment concerning irradiation of thermally oxidized silicon wafer by pulsed fiber YLP-laser with 1.06 microns wavelength and different power density. It is shown that defects appear in the SiO₂ film under laser irradiation responsible for the increase of a negative charge in the dielectric and the conductivity of SiO₂ for certain values of the shutter bias voltage.

Keywords: structure defect, laser irradiation, negative charge, conductivity of silicon dioxide.

Roman Khaletskiy - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate professor, Ph.D., halecky@yandex.ru

Pham Quang Tung - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, quang_tung@yahoo.com

MULTIUNIT DETECTORS ON THE BASIS OF LEAD SELENIDE FOR THE SPECTRUM AREA OF 2 - 5 MICRONS

N. Tropina

Research results of photo-electric characteristics of the multiunit photovoltaic detectors received and developed in scientific research institute "Giricond" on the basis of polycrystalline PbSe films and firm solutions on its basis are presented for the first time in the article. Workability of such detectors with narrow-band wedge interference filters as a photosensitive element in new generation spectral-analytical equipment is considered. Calculation of the multiunit detector sensitive element optimum size for restoration without distortions of analyzed radiation spectrum is given.

Keywords: lead selenide, multiunit detector, the spectral analysis, wedge interference filter.

Nataliya Tropina - Scientific Research Institute "GIRICOND", applicant, Mazina_ne@mail.ru

5. MATERIALS SCIENCE AND NANOTECHNOLOGIES

THE STUDY OF THE COVERS OPTICAL PROPERTIES BASED ON GIDROGENIOS CARBONEUM MODIFIED BY METAL NANOPARTICLES

Y. Nagibin, G. Nikolaychuk, V. Trofimov, K. Sekarin

A possibility of correlation establishment between optical and radio waves properties of thin films covers based on gidrogenios carboneum with ferromagnetic nanoparticles is presented.

Keywords: radio absorption, dusting, nanoparticles.

Yuri Nagibin - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate professor, Ph.D., Associate professor, nagibin77@mail.ru

Galina Nikolaychuk - Public Corporation "Scientific Research Institute Ferrit-domen", leading scientific researcher, Ph.D., niko@domen.ru

Vladimir Trofimov - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate professor, Ph.D., Associate professor, troftu@mail.ru

Konstantin Sekarin - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, Sekarius@mail.ru

DISPERSIVE ALUMINIUM FILLING MATERIAL INFLUENCE ON THE POLYPROPYLENE STRUCTURE AND PROPERTIES

E. Fomicheva, D. Temnov, A. Smirnov, B. Fedorov

Electret properties of composite polymer materials on the basis of polypropylene were investigated. Investigations were done by methods of thermostimulated and isothermal relaxation of potential and X-ray diffraction analysis. It is shown that aluminium powder adding in pure polymer improves electret stability of original polymer. By a low-angled X-ray dispersion method it was shown that aluminium surface possesses clearly defined fractal properties. Fractal dimensions values indicate that aluminium surface fractions are rough.

Keywords: electret, polypropylene, composite materials, potential relaxation, aluminium oxide, low-angled X-ray dispersion, fractals, fractal properties of surfaces.

Elena Fomicheva - Russian State Pedagogical University named after A.I.Herzen (Herzen University), Postgraduate, fee83@yandex.ru

Dmitry Temnov - Russian State Pedagogical University named after A.I.Herzen (Herzen University), Associate professor, Ph.D., Associate professor, detem@yandex.ru

Alexander Smirnov - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate professor, Ph.D., Associate professor, smirnav@phd.ifmo.ru

Boris Fedorov - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Professor, D. Sc., Professor, borisfedorov@phd.ifmo.ru

6. COMPUTER SYSTEMS AND INFORMATION TECHNOLOGIES

MODEL CHECKING AUTOMATA-BASED PROGRAMS USING REDUCED TRANSITION GRAPH CONSTRUCTION

S. Velder, A. Shalyto

This article is concentrated on techniques of converting automata-based program models to Kripke models designed for checking properties related to system behavior. The definition of these properties is considered by means of temporal logic formulas. We propose an efficient technique of such converting and property stating that allows construction of small Kripke models and sufficiently fast checking of such models.

Keywords: model checking, temporal logic, automata-based programming.

Sergey Velder - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, velder@rain.ifmo.ru

Anatoly Shalyto - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department Head, Ph.D., Professor, shalyto@mail.ifmo.ru

THE SEMANTIC WEB AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

I. Bessmertny

The paper discusses a problem of creation an artificial intelligence simulating human brainwork. A method of quantitative assessment both natural and artificial intelligence is suggested and required amount of knowledge base is evaluated. An idea of using the Semantic Web as a knowledge base for global artificial intelligence is proposed and implementation problems of the intelligent agent are discussed.

Keywords: artificial intelligence, Semantic Web, intelligent agent.

Igor Bessmertny - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate Professor, Ph.D., Associate Professor, igor_bessmertny@hotmail.com

A MULTI-AGENT TECHNOLOGY FOR VIRTUAL BUSINESS PLATFORMS FORMATION IN THE SHARED INFO-COMMUNICATION ENVIRONMENT OF INNOVATIONS DEVELOPMENT

A. Masloboev

The multi-agent technology for information support of regional innovation business has been developed. The method for problem-oriented innovation structures formation based on generalization of innovation subject's business supplies is proposed. The method is based on software agents clustering in the semantic space, which is represented as knowledge domain conceptual model, and provides virtual business platforms formation in the shared info-communication space of business subjects' interactions. A multi-agent information technology for virtual business platforms formation in the virtual environment of innovations development has been designed.

Keywords: multi-agent technology, information system, innovation business, simulation, virtual business environment.

Andrey Masloboev - Establishment of Russian Academy of Sciences Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes of the Kola Science Center RAS, scientific researcher, Ph.D., Associate professor, masloboev@iimm.kolasc.net.ru

7. ECONOMICS AND FINANCES. MANAGEMENT

BUSINESS ORGANIZATION SUSTAINABLE DEVELOPMENT IMPLEMENTATION ON THE BASIS OF CONTROLLING AND SELF-ORGANIZATION MECHANISMS INTERRELATION

V. Podlesnykh, N. Kuznetsov

Modern approach to the organization and management is represented in the article, which is quite different from traditional ideas about organization and managerial processes. Wide range of questions about organization and management, modern theory and practice has been described; concept of functioning category and business organizations development, controlling and self-organization mechanisms has been given; influence of creative labor component on enterprise organization and working efficiency has been shown. Role of institutional factor and liability approach to any event, process from the side of its organization has been established. Controlling and self-organization mechanisms content, effectiveness of there joint effect on adaptation and business organization development have been established. Directions of achieving a correct balance between management and self-organization, and its influence on efficiency have been considered.

Keywords: sustainable development, business organization, arrangement, self-organization, management, self-management, controlling mechanism, self-organization mechanism, controlling and self-organization mechanisms interrelation.

Victor Podlesnykh - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Professor, Ph.D., Professor, mng@mail.ifmo.ru

Nikolai Kuznetsov - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, assistant lecturer, postgraduate, kolek_k@list.ru

4 "RE-'S " OF CHANGING BUSINESS: REFORMING, REORGANIZATION, RESTRUCTURING, REENGINEERING

A. Varzunov, O. Tsukanova

Effectiveness increase of an enterprise depends on such essential factors as activization of its own potential, radical change of the strategy and establishment of the new effective management system, in other words, its reformation. Among the basic reformation forms they mark the following: reorganization, restructuring and reengineering. Analysis of scientific and journalistic economic literature shows the frequent unsteady use of the above mentioned terms. Many experts do not differ some basic economic terms and often use them as synonyms, which is obviously unacceptable. The authors, having generalized the variety of theories and conceptions and classified practical skills, try to form an adequate classification, to differ basic terms and define them.

Keywords: reforming, reorganization, restructuring, reengineering, change management.

Andrey Varzunov - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, varzunov@inbox.ru

Olga Tsukanova - Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate professor, Ph. D, Associate professor, zoa1999@mail.ru

MODERN STATE OF THE ENTERPRISE COMPETITIVENESS CONTROL PROBLEMS

R. Mansurov

The basic modern problems of competitiveness control and economic efficiency of domestic industrial enterprises are reviewed in the present article.

Keywords: enterprise competitiveness, economic efficiency, competitiveness control.

Ruslan Mansurov - Institute of Managerial Economics and Law (IMEL) (Kazan), Associate professor, Ph. D, Associate professor, Russell_1@mail.ru

MACROECONOMIC EFFECTS OF LARGE-SCALE PROJECTS REALIZATION

A. Ganieva

This article is devoted to the effects and consequences of large investment projects realization and its influence to the main macroeconomic indexes. Structure of macroeconomic consequences is specified by dividing in direct and indirect effects of realization. Effect estimation is suggested on the base of aggregate model «inputs-outputs».

Keywords: large-scale projects, national projects, macroeconomic effect, structural displacement.

Aliya Ganieva – Socio-Economic Research Institute, Ufa Branch of Russian Academy of Sciences, trainee-researcher, vixen_a@rambler.ru

8. NEW TECHNOLOGIES IN EDUCATION

TYPICAL WEB-PORTAL CREATION OF THE UNIVERSITY INNOVATIVE EDUCATIONAL PROGRAM AND ITS INSTALLATION IN THE UNIVERSITY NETWORK INFRASTRUCTURE

Yu. Kolesnikov, I. Shcherbakova, A. Kurkin

Development techniques of a typical WEB-portal creation and realization methods of a module portal are considered. The open (free) access and closed document circulation circuits on the portal are presented.

Keywords: WEB-portal, databases, innovative educational program, programming PHP, MySQL.

Yuri Kolesnikov – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Vice President for Academic and Administrative Work, Professor, D. Sc., Professor, kolesnikov@mail.ifmo.ru

Irina Shcherbakova – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Head of educational programs department, mir@mail.ifmo.ru

Andrey Kurkin – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Applicant, Kurkin@mail.ifmo.ru

Подписано к печати 23.10.2009 Тираж 350 экз. Заказ № 12(63)

Отпечатано в учреждении «Университетские телекоммуникации»
Адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи
и массовых коммуникаций, свидетельство ПИ № ФС77-33466 от 10.10.2008 г.

Подписной индекс 47 197 по каталогу агентства Роспечать
(Газеты. Журналы)

© Санкт-Петербургский государственный университет
информационных технологий, механики и оптики, 2009